

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta



Konstrukce 3D tiskárny
Diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor práce: Bc. Nikola Meisnerová

Praha 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Nikola Meisnerová

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Konstrukce 3D tiskárny

Název anglicky

3D printer construction

Cíle práce

- * shromáždit informace o konstrukci malých 3D tiskáren
- * navrhnout, vyrobit, sestavit a zprovoznit 3D tiskárnu
- * provést technicko-ekonomické zhodnocení

Metodika

- * současný stav řešeného problému (literární rešerše)
- * cíl práce a metody jejího zpracování
- * výsledky „experimentu“ a jejich diskuse
- * závěry a přínos práce

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran

Klíčová slova

aditivní technologie; 3D tiskárna; plasty; technicko-ekonomické zhodnocení

Doporučené zdroje informací

- BENIAK, J.: Systém rapid prototyping. Vydavatelství STU 2015. 134 s.
- BERMAN, B.: 3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons, 2012, 55 (2). s. 155-162.
- COOPER, K. G.: Rapid Prototyping Technology: Selection and Application. Taylor & Francis Inc. 2001. 248 s.
- GALLIMORE, J. J., BROWN, M. E.: Visualization of 3-D Computer-Aided Design Objects. International Journal of Human-Computer Interaction, 1993, 5 (4). s. 361-382.
- HOPKINSON, N., HAGUE, R., DICKENS, P.: Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age. John Wiley & Sons 2006. 304 s.
- CHUA, CH. K., LEONG, K. F., LIM, Ch. S.: Rapid Prototyping. Principles and Applications. 3rd Edition. WSPC 2010. 518 s.
- CHUA, CH. K., LEONG, K. F.: 3D Printing and Additive Manufacturing. Principles and Applications. Fifth Edition. World Scientific Publishing Co Pte Ltd. 2014. 540 s.
- KHOO, Z. X., TEOH, J. E. M., LIU, Y. et al.: 3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing. Virtual and Physical Prototyping, 2015, 10 (3). s. 103-122.
- OROPALLO, W., PIEGL, L. A.: Ten challenges in 3D printing. Engineering with Computers, 2016, 32 (1). s. 135-148.
- RAYNA, T., STRIUKOVA, L.: From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 102. s. 214-224.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2019

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2019

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Konstrukce 3D tiskárny vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědoma, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne _____

Podpis _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala profesoru Ing. Milanu Brožkovi, CSc. jako vedoucímu mé práce za dodání zajímavých informací a spolupráci na mé práci. Ing. Vojtěchu Liškovi, který mi vytiskl veškeré potřebné díly na stavbu. Dále firmě ELI-PRO s.r.o., která projekt kompletně zafinancovala. Svému otci, který mi pomáhal se stavbou a úpravou použitých komponent.

Obsah

1	Úvod	1
2	Stavba 3D tiskárny	2
3	Popis tiskárny	3
3.1	Stupně rozlišení	3
3.2	Rám.....	4
3.2.1	Typová stavba rámu	4
3.3	Tisková deska.....	5
3.4	Řízení lineárního pohybu.....	6
3.5	Extrudér	8
3.6	Elektronika.....	9
3.6.1	RAMBo.....	9
3.6.2	Raspberry Pi 3.....	10
3.6.3	MKS Base V1.4.....	10
4	FDM – Fused Deposition Modeling	11
5	Vlastní stavba	12
5.1	Postup přípravy:	12
5.2	Postup stavby:	12
5.3	Postup nahrání firmware do tiskárny	13
6	Nakoupený materiál	14
6.1	Elektronika.....	14
6.1.1	Základní deska Arduino Mega2560	14
6.1.2	RAMPS 1.4 REPRAP PRŮŠA MENDEL.....	15
6.1.3	Motor driver A4988.....	16
6.1.4	LCD displej a ovladač pro 3D tiskárny.....	16
6.1.5	Vyhřívaná podložka	17
6.1.6	Termistorové teplotní čidlo pro podložku.....	17
6.1.7	Arduino koncový doraz (endstop)	17
6.1.8	3D Touch autolevel senzor, snímač podložky	18
6.1.9	Extruder MakerBot MK8.....	19
6.1.10	Krokový motor Nema 17	20
6.1.11	Zdroj 350 W – 12 V	20
6.2	Ostatní materiál.....	21
6.2.1	Duralové profily.....	21
6.2.2	Pojezdové tyče.....	21

6.2.3	Řemenice GT2 16 zubů pro připojení na motor	22
6.2.4	Řemenice GT2 16 zubů s ložiskem	22
6.2.5	Řemen GT2	23
6.2.6	Ložisko LM8UU	23
6.2.7	Nerezová „T“ spojka profilů.....	23
6.2.8	Korková podložka	24
6.2.9	Duralová deska	24
7	Tištěné díly	24
7.1	ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)	26
7.2	PET-G	27
8	Stavba základny	28
8.1	Změna barvy profilu	30
8.2	Postup stavby	30
9	Stavba rámu.....	32
9.1	Stavba rámu.....	34
9.2	Spojení rámu a základny.....	34
10	Montáž tiskové desky	36
10.1	Odměření poloh tištěných dílů na uchycení ložisek.....	38
10.2	Odměření polohy plastového dílu na uchycení řemene	39
11	Stavba extrudéru	40
11.1	Stavba soustavy extrudéru	43
12	Dokončení mechanické části	44
12.1	Montáž koncových spínačů	45
12.2	Ventilátor tiskové hlavy.....	47
12.3	Displej	48
13	Zapojení elektroniky	50
13.1	Zapojení a uchycení zdroje	50
13.2	Kříž pro kabelové trasy	51
13.3	Displejový kabel.....	51
13.4	Vyvedení kabelů ze spodu tiskárny	52
13.5	Kabeláž od extrudéru	53
13.6	Vyhřívaná deska	54
13.7	Úložné pouzdro na základní desku a větrák.....	55
13.8	Zapojení na základní desku.....	57
14	Spuštění tiskárny	61
15	Tisk „krok za krokem“	68

16	Ekonomicko-technické zhodnocení.....	71
17	Závěr	73
18	Zdroje.....	74
19	Seznam obrázků a tabulek.....	81
20	Seznam rovnic	84

Anotační list

Jméno autora: Bc. Nikola Meisnerová

Název diplomové práce: Konstrukce 3D tiskárny

Anglický název: 3D Printer Constructon

Akademický rok: 2019/2020

Obor studia: Obchod a podnikání s technikou, Technická fakulta

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Bibliografické údaje: Počet stran: 73

Počet obrázků: 87

Abstrakt:

Diplomová práce popisuje stavbu 3D tiskárny. V prvních kapitolách je popsána stavba teoreticky, kde jsou uvedeny možnosti stavby. Záleží na úsudku konstruktéra, jakou tiskárnu postaví, jsou zde uvedeny možnosti volby pro elektroniku a ostatní materiál. V další části je znázorněna samotná stavba tiskárny. Začíná se stavbou základny, která je následně spojena s vrchní částí rámu. Poté následuje montáž tiskové desky, kdy je zapotřebí správně umístit komponenty na řemen a pojezdové tyče, aby nedošlo k tomu, že do sebe budou díly narážet. Dalším krokem je stavba extrudéru a celkově pojezdové osy X. Dále je třeba přidělat ostatní mechanické části tiskárny. V poslední fázi stavby, kdy jsou veškeré díly umístěny na svém místě, je na řadě natahání kabeláže a připojení všech konektorů na základní desku. Posledním krokem je úprava firmware, který ovládá tiskárnu, jeho nahrání a spuštění tisku.

Abstract:

This diploma thesis describes the construction of a 3D printer. The first chapters describe the construction theoretically, where the possibilities of construction are presented. It is up to the designer to decide which kind of a printer to build, so there are options for electronics and other materials. The next section shows the actual construction of the printer. It begins with the construction of the base, which is then connected to the top of the frame. This is followed by the mounting of the printing bed, where the components had to be positioned correctly for the belt and the travel rods to prevent the parts from hitting each other. This was followed by the construction of the extruder and the overall X-axis. In the last phase of the construction, where all parts are placed correctly, the cabling has been stretched and all connectors have been connected to the motherboard. The last step was to modify the firmware that controls the printer, load it, and start printing.

Cíle a metodika

Cíle práce

- shromáždit informace o konstrukci malých 3D tiskáren
- navrhnout, vyrobit, sestavit a zprovoznit 3D tiskárnu
- provést ekonomicko-technické zhodnocení

Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše)
- cíl práce a metody jejího zpracování
- výsledky „experimentu“ a jejich diskuse
- závěry a přínos práce

1 Úvod

Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci autorky, která se zabývala teoretickými poznatky o 3D tisku. Po zvážení náročnosti, proveditelnosti a konzultacích s vedoucím práce a firmou, která by byla ochotna hradit náklady, byla vypsána tato diplomová práce, ve které se reálně staví 3D tiskárna.

Práce nejdříve zmiňuje základní a obecné předpoklady pro stavbu tiskárny a následně i samotnou stavbu. Začíná se výběrem a nákupem materiálu, kde jsou veškeré díly popsány včetně uvedených fotografií. Hlavní parametry jsou uvedeny jak z pohledu elektroniky, tak i ostatního materiálu. Dále je popsána stavba mechanické části, kde jsou uvedeny jednotlivé části podle toho, jak byly reálně vytvářeny. Podle účelu jednotlivých dílů jsou sestrojeny části pevné, či hladce pohyblivé. Poté následuje přesun k připojení elektroniky, tedy k natažení kabeláže a zapojení na základní desku. Dalším krokem je nahrání firmware Marlin do tiskárny, který je zapotřebí upravit na specifické rozměry tiskárny, jež je nutné změřit nebo vypočítat. Za použití softwarů v počítači se připojí tiskárna, a po odzkoušení lze tisknout.

Poslední kapitolou je ekonomicko-technické zhodnocení, což je kapitola o způsobu nákupu materiálu a diskuzi, zda se vyplatí danou tiskárnu stavět.

Přestože se nabízí řešení jednodušší, a to nakoupit již sestavenou tiskárnu či skládačku a popsat ji, tiskárna využitá v této práci byla celistvě sestavena z nakoupených součástí.

2 Stavba 3D tiskárny

Jako první je zcela nutné si ujasnit, jaký typ tiskárny se bude stavět. Je rozdíl mezi Delta tiskárnou a kartézskou tiskárnou. Momentálně jsou na trhu nejvíce rozšířené tiskárny typu FDM, tisknoucí plast. Tohoto typu je i tiskárna, kterou popisuje tato práce.

Důvod je prostý: pro sestavení celé funkční tiskárny je k dispozici nejvíce potřebných materiálů, což je při vymýšlení postupu a konstrukce významnou výhodou.

Při sestavování tiskárny je nutná ucelená představa, co se od tiskárny očekává, jak velká bude tiskárna a její tiskový prostor, z jakého materiálu bude postavena, jestli bude celokovová nebo vytvořena RepRap technologií. Dané konkrétní požadavky poté vyžadují schopnosti konstruktéra, aby tiskárna byla sestavena a naprogramována správně a umožnila funkční tisk.

Nutné je podotknout, že kompletní stavba 3D tiskárny není laciná záležitost a vyžaduje pečlivou přípravu a zručnost.

3 Popis tiskárny [1]

Tiskárna je komplexní produkt, skládající se z několika důležitých součástí.

3.1 Stupně rozlišení

Všechny 3D tiskárny se vyznačují dvěma odlišnými typy:

- Layer Z – výškové rozlišení
- XY – poziční rozlišení

Layer Z

Objekty se stejnou velikostí mohou vznikat v různých rozlišeních. Všechny míry se uvádějí v mikrometrech. Rozlišení obvykle odpovídá 1/5 milimetru, což je 200 mikrometrů.

Čím menší je výška vrstvy, tím vyšší kvalitu výtisku lze získat. Nižší hodnota v mikrometrech také zajišťuje, že tiskové linie na objektu budou méně viditelné. Vrstvy budou umístěny hustěji u sebe, tudíž bude model obsahovat víc vrstev, než jak by tomu bylo s vyšší výškou. Zároveň se tím ale prodlužuje doba tisku, objekt s výškou vrstvy 150 mikrometrů se bude tisknout dvakrát delší dobu, než ten samý objekt s výškou vrstvy 300 mikrometrů.

XY

Určuje přesnost tiskárny vykreslovat jednotlivou vrstvu, při pohledu shora. U tiskáren typu FDM se nejčastěji využívá tryska o průměru 0,4 mm, tedy 400 mikrometrů. Na okrajích každé vrstvy je na prvky vymezeno přibližně 250 mikrometrů.

3.2 Rám

Rám je část tiskárny, která zaujme obvykle jako první. Ačkoliv zde rozhodně neplatí pravidlo, čím hezčí rám, tím kvalitnější tiskárna. Zdání v těchto případech může opravdu klamat. Je velmi časté, že rám je také vyroben pomocí 3D tisku, přesněji jeho část, která spojuje jednotlivé profily k sobě. Při poruše není nic jednoduššího než si rám znovu vyrobit a sestavit z profilů a tištěných dílů.

Od rámu je požadována dlouhodobá strukturní stabilita. Při tisku dochází k posunům součástí tiskárny a po tisku, když se objekt sundává, se tiskárna může zachvět. Při manipulaci s tiskárnou by měl být brán zřetel na tuhost rámu, odvíjející se od materiálu, ze kterého je rám vytvořen.

3.2.1 Typová stavba rámu

U kusového rámu, tedy takového, který je vyroben z jednoho kusu, odpadá nutnost spojovat profily dohromady. Takto stavěný rám se musí nechat na zakázku vyrobit, aby měl přesné parametry a daly se do něj zasadit pojezdové a trapézové tyče, které pak tvoří spodní část rámu. Samotný rám je pak vyroben převážně ze slitiny hliníku (dural), ale může být například i ze dřeva, poté však nebude dosahovat takové tuhosti, jako rám duralový. Jednokusový rám využívá převážně výrobce tiskáren Prusa Research nebo ANYCUBIC, konkrétně se jedná o rám obráceného „T“.

Další možností jsou samostatně nařezané duralové profily, kde se nejčastěji setkáváme s profilem HS – 30 nebo HS – 20, který je velmi výhodný v tom, že není nutné při stavbě rámu do profilu vrtat, ale využijí se „zdířky“ do kterých se matice pouze vsune. Avšak co se týče právě těchto matic, jsou potřeba speciální matice, aby nedošlo při šroubování k tomu, že se bude matice pouze protáčet.

Pokud se skládají profily dohromady, lze vytvořit různé tvary tiskáren. Klasický typ vypadá jako obrácené „T“, kdy se rám skládá ze sedmi duralových dílů. Momentálně se také velmi rozmáhá jiný typ stavby, pojmenovávaný jako „cube“. Jak již z anglického názvu vyplývá, celý rám vypadá jako krychle. Výrobci i uživatelé tvrdí, že takto postavený rám má větší stabilitu, což je pravda, ale přibývají další konstrukční požadavky, aby vše bylo ve stejné rovině a drželo pohromadě, jinak se nastavují krokové motory a v těchto případech se obvykle pohybuje pojezdová deska směrem

vzhůru a soustava extrudéru je pořád ve stejné výšce. Výrobci takto stavěných tiskáren jsou Rebel, RebeliX, Ender či Anet.

Jednou z posledních využívaných možností je, že se použijí pouze pojezdové a trapézové tyče. Celý rám tak drží pouze na smontování těchto tyčí dohromady, kde není žádný rám ze slitiny hliníku jako základna. Každopádně takto stavěné tiskárny byly předchůdcem těm, co známe nyní. Většina výrobců takto začínala a pak rám postupně zdokonalovala a začaly se využívat již zmíněné duralové profily.

3.3 Tisková deska

Jedná se o místo vzniku 3D modelu. Desky se mohou lišit materiálem, je pak na uživateli, jakou desku si zvolí jako ideální. V praxi se ještě doplňují o akrylové tabule, ocelové pláty s folií či sklo. Deska ovšem významně ovlivňuje samotný proces tisku, proto by se při volbě tiskárny měla pečlivě vybírat.

Všechny tiskárny typu FDM vyžadují, aby tisková deska bylo rovnoběžná s rovinou pohybu extrudéru. Pokud by tomu tak nebylo, tisk by se buď vůbec nedařilo dokončit, nebo by byl velmi nesouměrný.

Tisková deska může být s vyhříváním či bez něj. Vyhřívání desky zajišťuje topné těleso, což umožňuje tisknout z širší škály materiálů. Není však nezbytné, aby byla deska vyhřívána, i bez vyhřívání se dá tisknout pomocí nejrůznějších materiálů.

Důležité ovšem je umět tiskovou desku připravit tak, aby se na ni výtisk přichytil. Pokud je deska vyhřívána, vrstva materiálu se chytá snáze a není nutné ji předem tolik zajišťovat. Adhezi výtisku k tiskové desce lze zvýšit několika způsoby. Jako první lze zmínit malířskou pásku. Uchycením pásky na horní stranu tiskové plochy a důkladným přitlačením k desce se dá zajistit spolehlivé přichycení výtisku. Pokud se však páska přilepí špatně, může dojít k odpadnutí modelu spolu s páskou.

Mezi nejvyužívanější a nejlevnější metodu patří bílé lepidlo v tubě. Nevýhodou je, že po několika výtiscích se musí tisková deska otřít vlhkým hadříkem a zbavit se tak zbytků a nečistot. Pokud se dá deska vyjmout, není to až taková komplikace. Pokud je deska na pevno přidělaná, musí se očišťovat opravdu obezřetně, aby nedošlo k namočení elektronických součástí pod deskou.

Další metodou je nalepení kaptonové pásky. Jedná se o pásku, která je odolná vysokým teplotám a vyznačuje se dostatečnou přilnavostí pro materiály. Tato páska se používá obvykle v kombinaci s vyhřívanou deskou, kde zvyšuje adhezi nejčastěji pro materiál ABS či PET-G.

Nutné je dodat, že se tiskne na desku, která je na to přizpůsobená, a tudíž ještě pod (ne)vyhřívanou deskou je nutná nějaká duralová deska, která umožňuje pohyb. Do desky, na kterou se tiskne, se samozřejmě nenavrtávají ložiska, která by zajišťovala posun po hladkých pojezdových tyčích.

3.4 Řízení lineárního pohybu

Žádná tiskárna se neobejde bez pohyblivých součástí, které zajišťují tisk. Existují dva typy pohyblivých systémů. Oba systémy poskytují velmi kvalitní tisk, avšak každý zajišťuje celý proces odlišným způsobem.

Systémy:

- Kartézské tiskárny
- Delta tiskárny

Kartézské tiskárny

Tyto systémy se objevily ve spotřebitelské kategorii jako první. Jejich pohyb je založen na třech osách – X, Y, Z. Osa X zajišťuje pohyb doleva a doprava, na ose Y probíhá pohyb dopředu a dozadu a osa Z umožňuje pohyb nahoru a dolů.

Označení se mohou i lišit, někdy je pohyb doprava a doleva označován jako osa Y, záleží na nastavení konkrétní tiskárny. Důležité ale je, že všechny kartézské tiskárny pracují ve stejném souřadnicovém systému X, Y, Z. V rovině XY vytvoří jednu vrstvu, následně dojde k posunutí soustavy extrudéru o určitý počet mikrometrů v ose Z, kde znovu začnou v rovině XY tvořit vrstvu novou.

Delta tiskárny

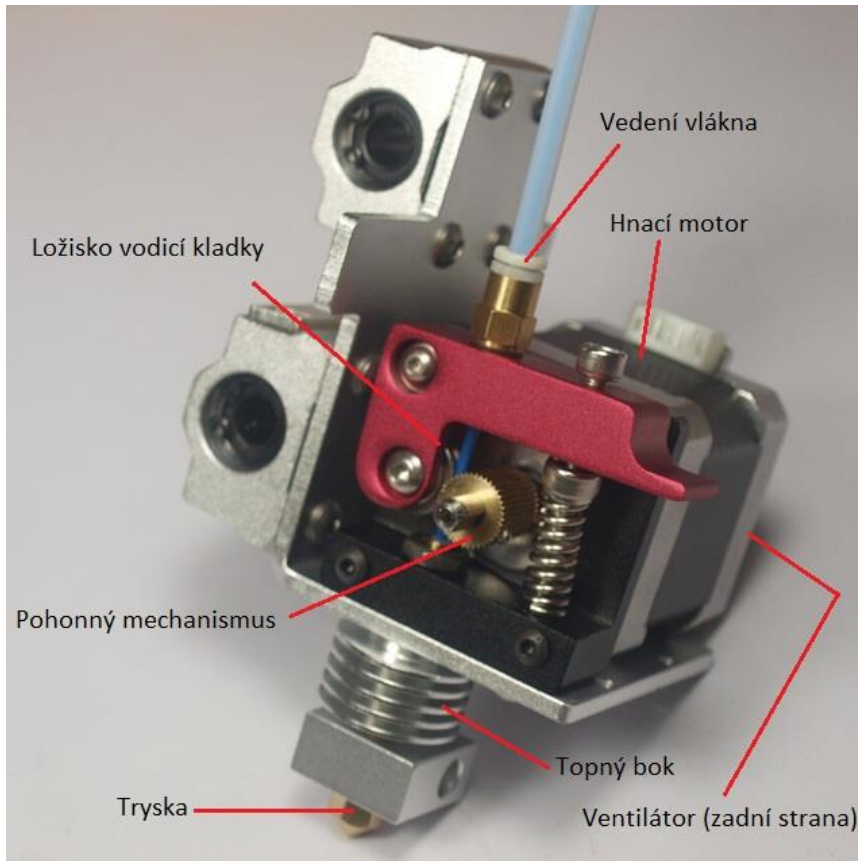
Delta tiskárny využívají odlišný způsob, než kartézské tiskárny. Mechanismy tiskárny se označují jako „zvednout a umístit“. Často mají využití na montážních linkách. Namísto lineárního systému kartézské soustavy se zde pracuje na systému „plovoucí“ soustavy extrudéru, kterou zajišťují tři ramena připojená k lineárním kolejnicím a řemenicím. Ramena tak posunují soustavou extrudéru v různých směrech.

Delta tiskárny překonávají možnosti kartézského systému. V kartézském systému mají tiskárny pouze omezenou výšku Z na maximální výšku vodicího šroubu, který umožňuje zvedání či spouštění tiskové desky nebo soustavy extrudéru. Druhou výhodou je rychlejší tisk, jelikož extrudér byl navrhován na minimalizaci hmotnosti, zatímco kartézské tiskárny mívají komplexnější mechanismus podávání a zahřívání vlákna.

I zde se lze setkat s nevýhodami. Zaprvé mohou tiskárny tisknout jen na kruhovou desku, protože ramena táhnoucí extrudér se pohybují pouze v tomto směru. Na okrajích tak dochází k nepřesnostem či kolísání, jelikož jedno z ramen se musí vytáhnout až do své maximální délky. Druhá nevýhoda souvisí s použitím bovdenového extrudéru. Tento typ extrudéru zachycuje vlákno ozubenými koly a poté jej dále posunuje vodicí trubičkou z větší vzdálenosti. Většina vláken nemá s tímto tažením potíže, ovšem u pružných vláken může nastat problém, že se ohyb těchto vláken může zvětšovat a docházet tak ke tlačení vlákna nerovnoměrně na topný bok, což vede k nepravidelnému vytlačování materiálu.

3.5 Extrudér

Extrudér může být charakterizován jako sada součástí, které podávají vlákno, zahřívají jej k teplotě potřebné k bodu tání a následně zajišťují vytlačování materiálu tryskou na tiskovou desku.



Obr. 1 Popis extrudéru [37]

Popis dílů (Obr. 1):

- Pohonný mechanismus slouží k uchopení vlákna,
- Hnací motor extrudéru pohání mechanismus vlákna,
- Kanál vlákna slouží pro vedení vlákna,
- Vodící kladka tlačí vlákno na pohonný mechanismus,
- Topný blok taví vlákno; skládá se z izolačního obalu, kazety topného tělesa a teplotního senzoru,
- Skrz trysku protéká roztavené vlákno na tiskovou desku,
- Chladicí ventilátor ochlazuje trysku.

Zde je pouze základní popis, každá tiskárna má na svém extrudéru určitou odlišnost. Některé mají uzavřenou soustavu extrudéru, součásti jsou ukryté v jedné jednotce, která je vyměnitelná jen v celku. Častější ovšem je, že tiskárny mají otevřený extrudér, kde si uživatel může jednotlivé části obměňovat a upgradovat tak celou soustavu.

Při koupi extrudéru se dá koupit celý kus, který je rovnou připraven k použití, anebo se dá koupit po částech a uživatel si jej pak sestaví dohromady.

Průměr trysek není konstantní, ale aby byl brán za „standartní“, měl by být od 0,2 mm do 0,8 mm. Od tohoto rozměru se pak odvíjí tloušťka řádky vlákna. Jemnější tryska zvládne vykreslit povrchové detaily a vytvořit tenčí stěny.

3.6 Elektronika

Pro správný chod tiskárny je mít základní desku, na kterou se nahraje potřebný firmware a desku, která se zasadí do desky základní a na ní se připojí zbylé elektronické součásti (pokud to není součástí základní desky), pro chod jednotlivých komponent. Na sestavené tiskárně je použito Arduino Mega2560 a RAMPS 1.4 (viz kapitoly 6.1.1. a 6.1.2). Každopádně většina desek, které jsou ještě používány, jsou i tak založeny na verzi desky od Arduino.

3.6.1 RAMBo [2]

RAMBo je zkratka RepRap Arduino-compatible Mother Board. Jedná se o základní desku pro ovládání tiskárny, která obsahuje kompletní elektroniku v sobě, takže není nutné připojovat další desku pro chod tiskárny. Založená na Atmega2560 a Atmega32u2 procesorech. Předchozí verze byla Rumba+, která se stále často u tiskáren vyskytuje. Cena je však výrazně vyšší a šplhá se k 3 500 Kč, což je o dost dražší v porovnání s Arduino Mega2560.

RAMBo obsahuje:

- 5 driverů motoru A4982 s krokováním 1/16,
- dva výstupy pro extruder,
- vstupy pro 4 termistory,
- digitální potenciometry krokování,
- USB výstup.

3.6.2 Raspberry Pi 3 [3] [4]

Jednodeskový mikropočítač RASPBERRY Pi 3 je pokračovatelem úspěšných počítačů založených na platformě ARM.

Disponuje 64bitový procesorem se čtyřmi jádry Cortex-A53 s frekvencí 1,2 GHz, který zajistí nárůst výkonu zhruba o polovinu oproti předchozím verzím. Pracuje s 1 GB operační pamětí a grafickým čipem VideoCore IV s taktem 300 MHz.

Pi 3 je plně kompatibilní s předchozími deskami, zajišťuje tak bezproblémové fungování starých projektů z dřívější verze. Má čtveřici portů USB 2.0 a bezdrátová rozhraní WiFi 802.11n a Bluetooth 4.1. Pro ukládání dat je zde k dispozici podpora microSD karet a pro napájení se doporučuje 2,5 A adaptér.

Pro tuto desku se využívá firmware Octopi nebo firmware Klipper.

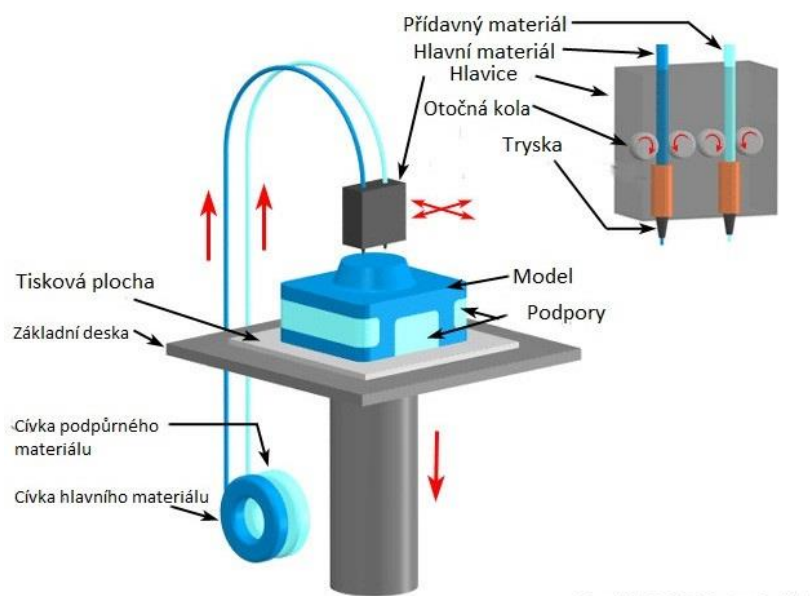
3.6.3 MKS Base V1.4 [5]

Opět základní deska, která zahrnuje i RAMPS 1.4, ale není nutné ji připojovat, tato deska by měla zvládat vše v jednom. Shromáždí všechny funkce na jedné desce, která vyřešila problém s kombinací rozhraní Ramps 1.4. Pomocí speciálního napájecího čipu podporuje napájení 12 – 24 V pro vyřešení problému přeměny napětí Ramps na čipovou horečku.

4 FDM – Fused Deposition Modeling [1]

Stavěná tiskárna je typu FDM, která je momentálně nejvyužívanější u menších tiskáren.

Společnost Stratasys si ji nechala patentovat v roce 1992. Metoda byla u zrodu celého hnutí RepRap technologie. Pracuje na principu, který se vyznačuje postupným a přímým nanášením materiálu z tiskové hlavičky (extrudéru) na podložku (Obr. 2). Princip tedy spočívá v natavování termoplastického materiálu, který je navinut na cívce, aby se bez problému mohl materiál posouvat. Materiál se pomocí kladek dostává do vyhřívané trysky, která jej nataví na předem stanovenou teplotu a následně je tryskou sunut na podložku. Metoda někdy vyžaduje stavbu podpor, jelikož extruder jezdí přesně jen v místech, kde má být konečný produkt a nedělá tak zbytečné vrstvy plastu mimo model. Takže pokud nechceme, aby se model v některých místech propadl, je nutné tam dodat podpory. Podpory se dají nastavit v programu, takže s nimi bude tiskárna počítat a nanášet tam i přebytečné vrstvy, které budou sloužit k tomu, aby se model nezbortil. Některé tiskárny mají druhou hlavičku, kterou využívají právě pro stavbu podpor, vytvářených z jiného materiálu, než výsledný projekt.



Obr. 2 FDM metoda [33]

Tisková hlavice se v tomto případě pohybuje v rovině X, Y. Existují tiskárny využívající i osu Z, kde dochází k pohybu podložky směrem vzhůru k hlavici, která tak opisuje jen osu X. Hlavice se pohybuje v osách, dokud nedokončí jednu vrstvu a následně se přesune do počáteční pozice, aby začala pracovat na další, přičemž extruder jezdí kolmo k nanesené vrstvě, aby se vyplnila všechna místa.

Tiskárny s touto technologií jsou díky své příznivé ceně rozšířené a jsou dobře dostupné. Značné množství firem si pořizuje tiskárnu, aby na ni mohli zkoušet své prototypy, které svými vlastnostmi připomínají konečný produkt. Tato technologie nabízí velké množství plastových materiálů v základu s PLA, ABS či PET-G.

5 Vlastní stavba

Postupů, jak stavět tiskárnu, existuje mnoho. Tento postup byl zpětně sepsán po stavbě.

5.1 Postup přípravy:

- Připravit nákresy a vyměřit tiskový prostor,
- Vymezit a obstarat materiál na stavbu mechanických částí,
- Zajistit elektroniku, která bude tiskárnu ovládat a pohybovat motory, soustavou extrudéru a tiskovou deskou,
- Připravit si díly na tisk, které budou spojovat jednotlivé nakoupené součásti a dají tiskárně funkční podobu,
- Zajistit osobu, která bude schopna a ochotna vytisknout sehnané či navržené součásti, pokud konstruktér nemá další 3D tiskárnu,
- Začít objednávat materiál a vytvářet stavebnici.

5.2 Postup stavby:

- Vzít si připravené náčrty a materiál a začít s kompletací podle toho, na jakou část díly patří,
- Stavba základny,
- Stavba pohybující se tiskové plochy,
- Stavba pohybující se části extrudéru,
- Postavení zbytku rámu a zasazení všech potřebných částí do sebe,

- Zapojení elektroniky do základní desky,
- Zprovoznit elektroniku a nastavit parametry.

5.3 Postup nahrání firmware do tiskárny

- Napsat nebo stáhnout již vytvořený firmware. Sepsání je opravdu složitá věc, samostatný přepis firmware Marlin je již tak náročné, že není možné se v kódech vyznat bez předchozího kurzu programování.
- Stáhnout si takový program, který bude komunikovat se základní deskou. V tomto případě, kdy máme desku Arduino Mega2560 bylo potřeba stáhnout program Arduino IDE, který je zdarma dostupný na internetových stránkách firmy.
- Otevřít stažený firmware v programu Arduino IDE, pomocí funkcí programu zjistit, zda je kódový text v pořádku a nejsou tam chyby.
- Přepsat parametry tiskárny do kódu.

6 Nakoupený materiál

Nakoupený materiál je rozdělen do dvou částí; elektroniku potřebnou na chod tiskárny a ostatní materiál sloužící jako kostra tiskárny.

6.1 Elektronika

Zde je základní výčet elektroniky, která je použita na tiskárně + množství a cena součástí.

6.1.1 Základní deska Arduino Mega2560 [6]

- 1x Cena 761 Kč

Arduino Mega2560 (Obr. 3) je modul, který ovládá chod všech elektronických prvků tiskárny. Komunikace s počítačem je za pomoci USB rozhraní. Pomocí mikroprocesoru řídí pohyb krokových motorů, reguluje vytápění extruderu a podložky, spínání ventilátoru a dále obsluhuje periferie jako LCD displej a SD kartu.

Mikroprocesor je považován za jádro celé desky a nese název ATmega2560. Obsahuje 54 vstupně / výstupních digitálních pinů, 15 může být použito pro PWM (Pulse Width Modulation). Dále obsahuje 16 analogových vstupů, 16 MHz krystalový oscilátor, USB konektor, napájecí konektor, ICSP konektor, skrz který dochází k programování ATmega2560 a tlačítko RESET.



Obr. 3 Arduino Mega2560 [6]

Arduino je možno napájet přes USB konektor nebo skrz externí napájecí zdroj. Při připojení baterie lze svody umístit na pin Vin a na GND (ground = země). Deska se

využívá při napájecím napětí v rozsahu 6 až 20 V. Při napájecím napětí nižším než 7 V je možné, že 5 V pin bude dodávat menší napětí a deska se stane nestabilní. Při napětí vyšším než 12 V se bude regulátor napětí přehřívat a může způsobit poškození desky. Z čehož vyplývá, že doporučený rozsah napájecího napětí je 7 až 12 V.

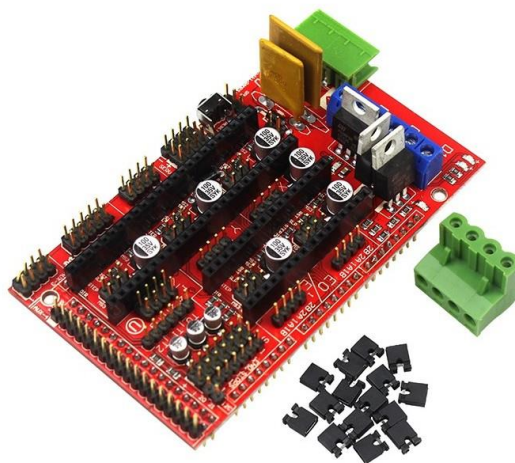
Deska obsahuje čtyři napájecí piny. Pin Vin slouží k připojení externího napájecího napětí. Když je deska napájena pomocí napájecího konektoru, je možné napájecí napětí odebrat z tohoto pinu. Na výstupu z regulovaného stabilizátoru napětí je 5 V pin. 3V3 pin je výstup z dalšího regulovaného stabilizátoru napětí o hodnotě 3,3 V. Poslední pin je zemnicí GND.

6.1.2 RAMPS 1.4 REPRAP PRŮŠA MENDEL [7]

- 1x cena 325 Kč

RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) je součást typu „all in one“, tudíž se na jednu součást dají zapojit veškeré součásti pro chod 3D tiskárny. Nejdříve se ale musí připojit na základní desku Arduino Mega2560, aby RAMPS 1.4 (Obr. 4) mohla být funkční. Obsahuje piny pro připojení driverů pro krokové motory, vyhřívání desky, teplotní čidla na vyhřívanou desku a extrudér, zapojení endstopů a zapojení zbylých kabelů extrudéru.

Vše se na desku dá pohodlně poskládat a je tak zaručena snadná údržba a výměna nefunkčních dílů.

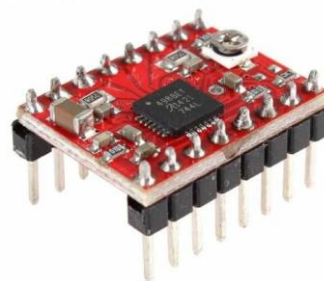


Obr. 4 RAMPS 1.4 [34]

6.1.3 Motor driver A4988 [8]

- 5x cena za kus 78 Kč

Doplněk k RAMPS 1.4, výkonové drivery pro krokové motory, bez kterých nelze nastavit točení krokových motorů. Pro každý krokový motor je nutné mít samostatný driver (Obr. 5). Driver je určen pro bipolární krokové motory do 2 A. Disponuje ochranou proti zkratu, nastavitelným proudem, ochranou proti přehřátí a ochranou proti podpětí. Součástí balení je také chladič, sloužící pro zamezení zmíněnému přehřátí.



Obr. 5 Motor driver [8]

6.1.4 LCD displej a ovladač pro 3D tiskárny [9]

- 1x cena 612 Kč

Pro chod tiskárny je nutné opatřit LCD displej, na kterém se budou ručně nastavovat hodnoty, pokud nebude stačit nastavení z počítače. LCD displej je grafický inteligentní controller (Obr. 6). Vybraný model obsahuje: čtečku SD, rotační enkodér a 128 x 64 dot matrix LCD displej. Čtečka SD karet není nutnou výbavou, avšak není na škodu ji mít, protože se nemusí před každým tiskem připojovat počítač, stačí použít SD kartu.

Po připojení tohoto panelu k platformě Ramps pro tisk není nutný počítač. Dále podporuje akce jako je důležitá kalibrace os.



Obr. 6 LCD displej [9]

Sada ke koupení všech výše zmíněných součástí: cena 1 725 Kč

6.1.5 Vyhřívaná podložka [10]

- 1x cena 507 Kč

Vyhřívaná podložka je velmi důležitou součástí 3D tiskárny. Většinu materiálů bez vyhřívané podložky nelze vytisknout, ačkoliv jde tisknout i bez vyhřívané podložky, ale přilnavost některých materiálů (ABS) je pak nedostatečná a dochází k odlupování výtvoru.

Tisková podložka MK3 (Obr. 7) je vyrobena ze slitiny hliníku o tloušťce 3 mm, který velmi dobře vede teplo. Můžete ji připojit na napětí 12 V i 24 V. Rozměry podložky jsou 215 x 215 mm



Obr. 7 Vyhřívaná podložka [10]

6.1.6 Termistorové teplotní čidlo pro podložku [11]

- 1x cena 39 Kč

Abychom mohli regulovat teplotu podložky a nedošlo k přehřátí, je nutné zapojit termistorové čidlo. Vyhřívaná deska má ve středu desky otvor na čidlo. Termistor je se žáruvzdorným kabelem a skleněným zakončením zapouzdřeném pro dlouhodobou stabilitu a spolehlivost.

Čidlo má široký rozsah teplot: - 40 °C až 270 °C.

6.1.7 Arduino koncový doraz (endstop) [12]

- 2x cena 1ks 68 Kč

Koncový doraz je vstupní modul pro Arduino. Tento modul obsahuje páčkový spínač, který slouží k detekci stisku (Obr. 8). Koncovým dorazem je nutno opatřit každou osu. Na osu Z, která pohybuje extrudérem je vybrán 3D Touch autolevel senzor (snímač podložky), který je přesnější než klasický endstop.

Na modulu se také nachází pár dalších součástí pro zjednodušení zapojení s Arduinem a indikační LED dioda. Tato LED dioda se rozsvítí vždy při sepnutém stavu.

Napájecí napětí je vzhledem k použité LED diodě doporučeno v rozsahu 3,3 až 5 V. Proudový odběr při rozepnutém stavu je nulový, při sepnutém stavu se pohybuje okolo 5 mA díky LED diodě na modulu. Na modulu se také nachází dva montážní otvory s průměrem 3 mm pro jednoduchou montáž.



Obr. 8 Arduino koncový doraz [12]

6.1.8 3D Touch autolevel senzor, snímač podložky [13]

- 1x cena 499 Kč

3D Touch (Obr. 9) se skládá z Atmel ATtiny13A, solenoidu a pohyblivého dotykového kolíku.

3D Touch lze snadno nainstalovat. Nastavení ve firmwaru je obtížnější, i když se používá standardní komunikační protokol stejně jako ostatní senzory.

Snímač podložky provede vždy autotest: Při každém zapnutí napájení provede senzor dvojitý test, aby vše fungovalo tak, jak má. V případě problému při autotestu nebo při práci se rozbliká kontrolka LED.

Senzor má vysokou přesnost měření v hodnotě 0,005 mm. Díky této přesnosti je tisková hlava v přesně nastavené výšce – nezávisle na teplotě podložky nebo přesnosti kalibrace.

V klidovém stavu, kdy je „kolík“ senzoru v krajní poloze (vysunut nebo zasunut) neprotéká solenoidem žádný proud. Proud v klidovém stavu je tak menší než 15 mA.



Obr. 9 3D Touch [35]

Odběr při pohybu detekčního kolíku je 300 mA po dobu cca 100 ms. Nižší spotřeba proudu zabraňuje přehřívání senzoru.

3D Touch měří dotek pouze mechanickým dotykem. Proto přesnost měření není závislá na materiálu, tvaru ani barvě podložky.

6.1.9 Extrudér MakerBot MK8 [14]

- 1x cena 1 099 Kč

Pokud jde o extrudér, tak jsou vždy dvě možnosti; buď se dá koupit už celý postavený extrudér, což je tento případ, anebo se dá postavit ze samostatně nakoupených součástí.

Kompletní extrudér MK8 (Obr. 10) byl původně k 3D tiskárně MakerBot, avšak je to extrudér, který se dá použít na jakoukoliv tiskárnu. Výhodou je, že extrudér je již kompletně sestavený a dá se tedy rovnou přimontovat a zapojit.

V základním provedení je použita výhřevná patrona na 12 V a tryska 0,4 mm. Dá se ale přestavit i na 24 V a zaměnit trysku 0,4 mm za jinou: 0,2; 0,3; 0,5 mm, což udělá výrobce na žádost. Posun struny ozubeným kolečkem s průměrem přes zuby 11 mm.

Parametry:

- Krokový motor NEMA17 0,52 Nm,
- Průvlak M6 s teflonovou trubičkou 40 mm,
- Duralový blok pro trysku,
- Izolace duralového bloku,
- Tryska 0,4 mm,
- Duralový chladič,
- Ventilátor o průměru 40 mm a napětí 12 V
- Vyhřívání trysky 12 V a 40 W
- Teplotní čidlo



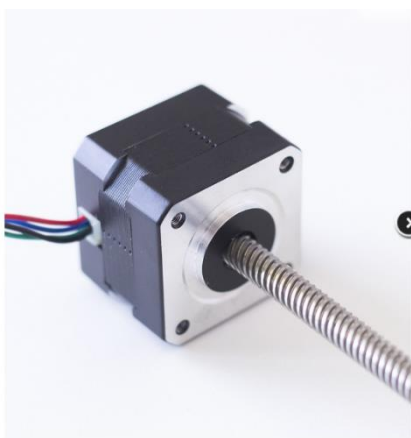
Obr. 10 Extruder MakerBot MK8 [14]

6.1.10 Krokový motor Nema 17 [15]

- 2x cena 1ks = 349 Kč
- 2x krokový motor s trapézovou tyčí cena 1ks = 1026 Kč

Pro tiskárnu jsou využity motory Nema 17 a je zapotřebí 4 kusů + ještě jeden motor, obsahující extrudér. Jeden motor zajišťuje pohyb tiskové podložky po ose Y, druhý motor pohybuje extrudérem na řemenu po ose X a dva motory jsou zapotřebí pro pohyb osy extrudéru nahoru a dolů osou Z. Dva motory (Obr. 11) musí být opatřeny trapézovou tyčí se stoupáním 8 mm (Obr. 12) a délkou minimálně 320 mm, po kterých se pohybuje již zmíněná osa s extrudérem.

Krokový motor Nema 17 je určen pro 3D tiskárny a menší CNC stroje. Nabízí přesnost 200 kroků na otáčku a na svůj rozměr velký moment 0,52 Nm.



Obr. 11 Krokový motor Nema 17 [15]



Obr. 12 Trapézová tyč s maticí [15]

6.1.11 Zdroj 350 W – 12 V [16]

- 1x cena 880 Kč

Tiskárnu je nutné opatřit zdrojem, který ji bude napájet. Na trhu je mnoho zdrojů lišící se napětím a výkonem, je nutné zjistit, jaké napětí se může dodávat, aby se nezničila základní deska a ostatní elektronika.

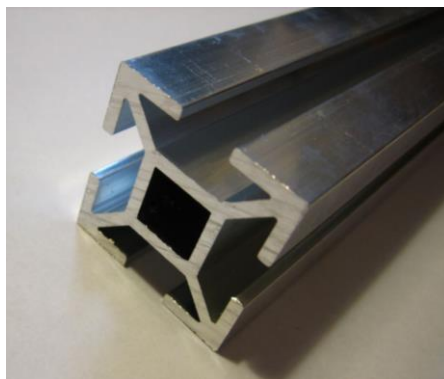
Zde byl vybrán výkonný průmyslový zdroj o výkonu 350 W vhodný pro 3D tiskárny. Zdroj je opatřen tepelnou pojistkou, pojistkou proti zkratu a pojistkou proti přetížení.

6.2 Ostatní materiál

Zde je vypsán zbylý materiál, který byl na tiskárně použit.

6.2.1 Duralové profily [17] [18]

- 2x 330 mm rám
- 1x 340 mm rám
- 2x 320 mm základna
- 2x 340 mm základna
- 7 ks (sada) cena 620 Kč



Obr. 13 Duralový profil HS 30 [36]

Důležité je se podívat, zda jsou profily (Obr. 13) jen čistě uříznuté nebo už mají nějakou povrchovou úpravu. Tyto profily jsou

eloxované. Elox, neboli anodická oxidace, je elektrolytický proces, který vytváří ochranné oxidové vrstvy na povrchu hliníkových součástí. Tloušťka vrstvy, stejně jako její zabarvení, záleží na podkladové slitině hliníku a provozních podmínkách eloxování.

Vytvořená oxidová vrstva zlepšuje funkční vlastnosti podkladové slitiny, zvyšuje především korozní odolnost, tvrdost a ořezuvzdornost eloxovaných dílů.

6.2.2 Pojezdové tyče [19]

- Průměr tyče 8 mm
- 2x extrudér 355 mm
- 2x rám 325 mm
- 2x základna 365 mm
- 6 ks (sada) cena 746 Kč



Obr. 14 Pojezdové tyče 8 mm [19]

6.2.3 Řemenice GT2 16 zubů pro připojení na motor [20]

- 1x extrudér
- 1x základna
- 2ks cena 1ks 72 Kč

Řemenice GT2 (Obr. 15) o vnitřním průměru 5 mm (pasuje na hřídele krokových motorků) disponuje 16 zuby. Je určena pro ozubený řemen GT2 se šířkou řemene 6 mm.

Rozteč mezi zuby je 2 mm, vnější průměr přes zuby je 9,7 mm a celkový průměr je 13 mm. Pojistění řemenice dvěma šrouby M3, aby nedocházelo k protáčení.



Obr. 15 Řemenice GT2 16 zubů [20]

6.2.4 Řemenice GT2 16 zubů s ložiskem [21]

- 1x extrudér
- 1x základna
- 2ks cena 1ks 79 Kč

Řemenice je určena také pro ozubený řemen GT2 se šířkou řemene 6 mm. Řemenice má 16 zubů a vnitřní otvor o průměru 3 mm (Obr. 16). Důležitou součástí je zabudované ložisko.

Další specifikace jsou stejné jako řemenice pro připojení na motor.



Obr. 16 Řemenice GT2 s ložiskem [21]

6.2.5 Řemen GT2 [22]

- 1x extrudér
- 1x základna
- 2 m cena 1m 89 Kč

Řemen musí být takový, aby pasoval do výše zmíněných řemenic. Šířka tedy odpovídá 6 mm.

6.2.6 Ložisko LM8UU [23]

- 8x extrudér
- 4x tisková deska
- 12x cena 1ks 36 Kč

Lineární valivé pouzdro typ LM8UU (Obr. 17) obsahuje 4 řady kuliček a je určeno pro vodící tyče s průměrem 8 mm. Délka ložiska je 24 mm s vnějším průměrem 15 mm.

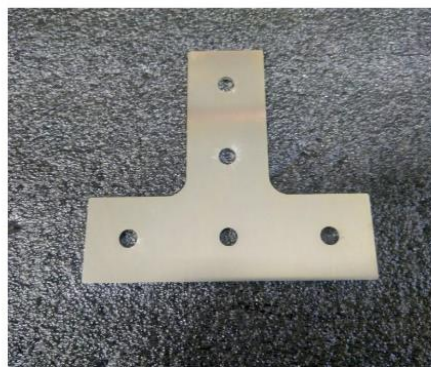


Obr. 17 Ložisko LM8UU [23]

6.2.7 Nerezová „T“ spojka profilů [24]

- 4x cena 1ks 35Kč

Tato spojka (Obr. 18) slouží k tomu, aby se mohla základna propojit se zbytkem rámu a držel tak pohromadě. Uchytení na pět šroubů zajistí, že horní část rámu nebude mít tendenci se vychylovat.



Obr. 18 Nerezová „T“ spojka [24]

6.2.8 Korková podložka [25]

- 1x cena 69 Kč

Korková izolace je určena k umístění pod vyhřívanou desku 3D tiskárny k lepšímu rozvodu tepla a pro dosažení vyšší teploty výhřevu. Při správném užití dochází k daleko rychlejšímu nástupu teplot a dosažení minimálně o 10 °C více. Případně je možné umístit více podložek, aby se účinnost ještě zvýšila. Korková podložka ale není nutnou součástí, je to jen doplněk navíc. V tomto případě se tam podložka nevešla celá, je pouze v místech, kam se vejde.

6.2.9 Duralová deska

- 1x nutno nechat vyříznout 220 x 220 mm a tloušťka 3 mm
- 1x cena 500 Kč



Obr. 19 Duralová deska s vyhřívanou podložkou

7 Tištěné díly

V této době už není nutné si díly navrhovat, existují webové stránky, kde se dají již navržené modely stáhnout. Stránky, kde se dají modely pořídit, jsou například Thingiverse, Exchange 3D.com, Artist-3D.com nebo MyMiniFactory.

Hledání na těchto stránkách není úplně jednoduché, je nutné dodržovat přesnou formulaci. Na většině portálů je nutné psát vše v angličtině a hledat jaký díl bude odpovídat daným požadavkům. Na tyto stránky může každý uživatel vkládat vlastní STL soubory a dávat je k dispozici k volnému stáhnutí. Důležité je, aby díly pasovaly do rámu tiskárny a aby měly správnou velikost třeba na pojezdové tyče nebo motory.

Po stažení dílu, který je vytvořený v nějakém 3D programu jako je AutoCad 3D, Inventor, SolidWorks nebo Fusion360, je nutné dát pozor na to, zda je díl rovnou připraven na tisk. Někdy je potřeba ho otočit, aby byla spodní tisková část větší a nedošlo k prohnutí. Další problém může nastat ve velikosti modelu, pokud je větší než tisková plocha nebo ho nelze vytisknout jako jeden kus, je nutné model rozříznout a vytisknout na vícero dílů a ty pak spojit dohromady. Samozřejmě pokud jsou to díly, které drží tiskárnu pohromadě, vždy je lepší je tisknout jako jeden celek.

Po vytištění ještě není hotovo, jelikož tisk je jen jedna část, pak se musí ještě díly opracovat. Pokud se tisklo s podporami, je nutné je odlámat. Dále vznikají malé „vlásečnice“ které se musí odstříhat. Vlasečnice vznikají při přejezdech ve vzduchu, kdy z trysky vytéká ještě malé množství filamentu, ten se zachytí a při přejezdu vznikne vlásek. Dále se dá využít horkovzdušné pistole, která zataví zbytky volného filamentu.

Po této úpravě je potřeba zajistit, aby jej bylo možné otvorem na šroub zašroubovat bez problémů. Použitím ručního závitníku byly dodělány potřebné závitě (Obr. 20). Pokud se jedná o díry na šrouby M3 a M4, používá se stojanový vrták.



Obr. 20 Úprava otvoru na šroub

Díly na 3D tiskárnu se tisknou pouze z ABS nebo PET-G, protože mají vysokou teplotní odolnost, stálost a jsou pevné. Díly na stavěné tiskárně jsou tištěné z PET-G, protože dle recenzí uživatelů tiskáren je o něco pevnější, než ABS.

Veškeré díly byly staženy na webových stránkách Thingiverse: www.thingiverse.com. Tisk byl prováděn na tiskárně Prusa i3 MK 2.5 Multimaterial v. 2.0. s tryskou 0,4 mm.

Tištěno bylo materiálem PET-G 1,75 mm, infill (výplň) 95 %. Tisk dílů nevyžadoval tiskové podpory. Teplota podložky na první / další vrstvy – 85 / 90 °C, teplota extruderu na první / další vrstvy – 230 / 240 °C. Doba tisku byla cca 96 hodin čistého času a spotřebováno bylo 1 kg filamentu.

7.1 ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) [1]

Spolu s PLA je jedním z nejpoužívanějších materiálů pro tisk na 3D tiskárnách vůbec. Tisk není tak snadný, ale díky své teplotní odolnosti je vhodný právě pro tisk součástí, které budou následně vystaveny teplu a u kterých se očekává, že se po zahřátí nezhroutí. ABS dokáže odolávat teplotám až do 100 °C, aniž by došlo k větší ztrátě na pevnosti.

Vyznačuje se tedy velmi dobrou pevností a houževnatostí, odolností vůči nárazům a tlakovým rázům. V neposlední řadě také zamezuje šíření trhlin nebo otěru.

Díky velmi nízké tepelné vodivosti není nutná další izolace. Lesklého povrchu a nepropustnosti plast dosahuje díky obsahu styrenu.

Při porovnání s ostatními materiály má však nevýhodu týkající se tepelné roztažnosti. Při tisku tak vlivem zmenšujícího se objemu při chlazení dochází k deformaci objektů, a je tedy nutné mít vyhřívanou podložku, aby se zamezilo škodám na výtisku.

Doporučená tisková teplota by se měla pohybovat v rozmezí 210 – 230 °C a teplota podložky 90 – 100 °C.

7.2 PET-G [1]

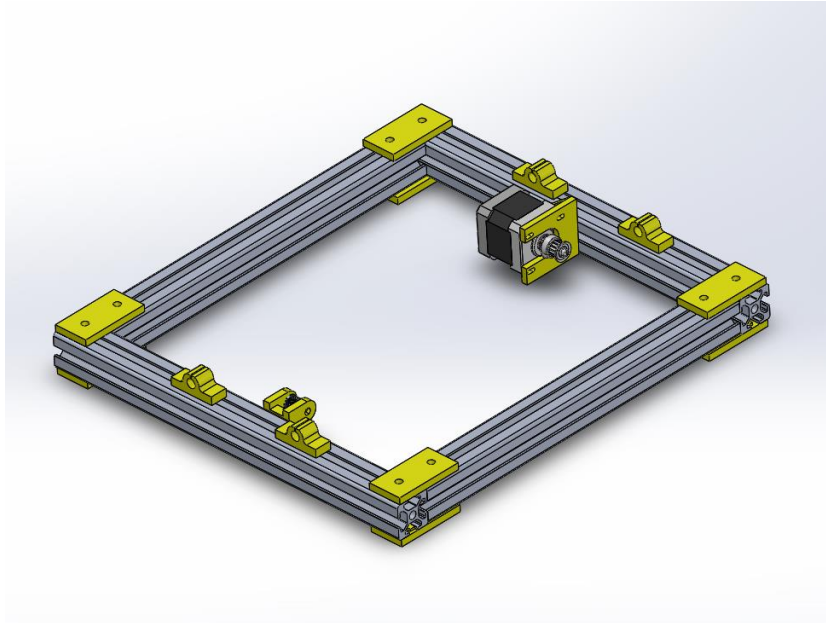
Jedná se o modifikaci materiálu PET (Polyethylene terephthalate) s příměsí glycinu. Tento materiál je odolnější vůči kyselinám a dalším rozpouštědlům. K dalším přednostem patří i vynikající tepelná odolnost. PET-G dokáže odolávat teplotám okolo 100 °C a na kratší dobu i teplotám vyšším, při čemž si ale stále zachovává svou pevnost a stálost. Materiál je pozoruhodný i tím, že zvládá odolávat jak vysokým, tak i nízkým teplotám. Můžeme tedy výtisk používat i v mrazu.

PET-G je ideální pro tisk velkých a velmi pevných objektů, takže se využívá pro tisknutí průmyslových součástí. Lze ho po tisku velmi dobře obrábět, není problém následně výrobek dořezat, obrousit, nalakovat či jinak dokončit.

Nevýhodou tohoto materiálu je pomalý tisk. Materiál relativně pomalu měkne, a tak se prodlužuje i doba tisku.

Doporučená teplota pro tisk je 200 – 230 °C s podložkou nahřátou na 70 °C.

8 Stavba základny



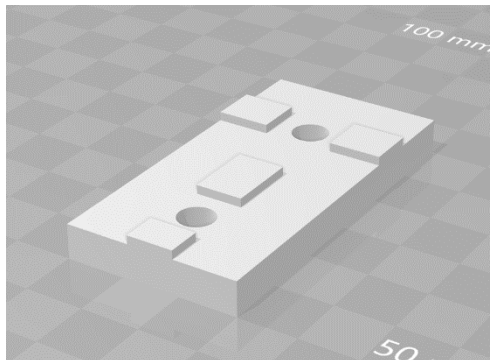
Obr. 21 Základna ve 3D

Nakoupený materiál

- Duralové profily
 - 2x 340 mm
 - 2x 320 mm
- Pojezdové tyče 2x
- Krokový motor Nema17 1x
- Řemenice GT2 16 zubů na krokový motor 1x
- Řemenice GT2 16 zubů s ložiskem 1x
- Řemen GT2 1 m
- Šrouby
 - M6 x 12 mm 24x
 - M3 x 12 mm 4x – přidělení motoru
 - M3 x 25 mm + matice s plastovým kroužkem – uchycení řemenice s ložiskem
- Podložky M6 16x
- Speciální matice do profilu HS 30 – 40x

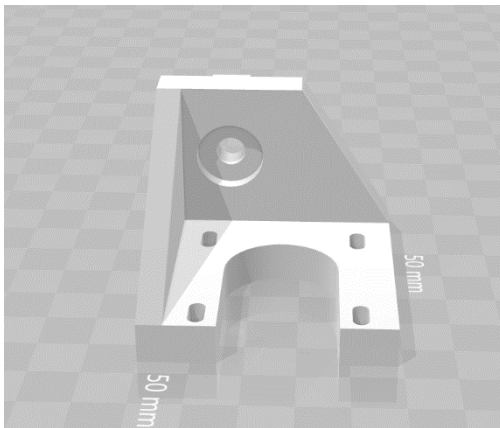
Tištěné díly

- vazba rohu (Obr. 22) 8x

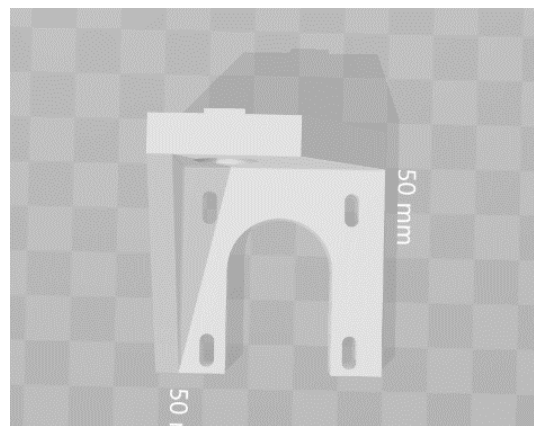


Obr. 22 Vazba rohu – Autor: David Trcka

- Držák motoru (Obr. 23, Obr. 24) 1x

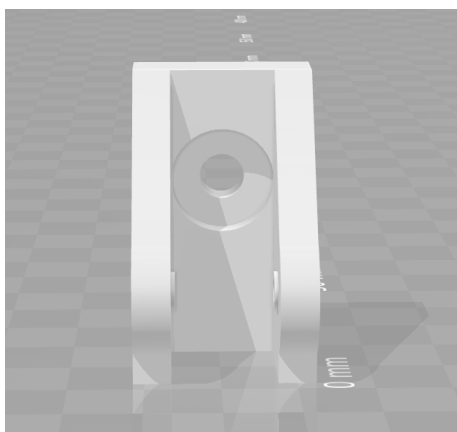


Obr. 23 Držák motoru (1) – Autor: Rebel RepRap

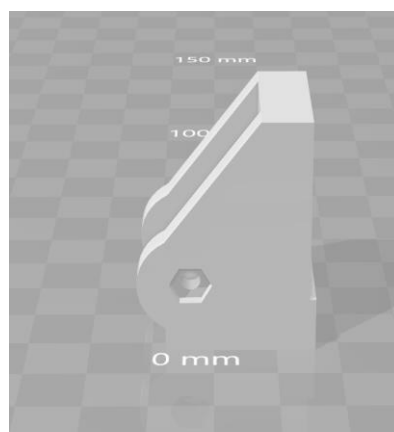


Obr. 24 Držák motoru (2) – Autor: Rebel RepRap

- Držák řemenice (Obr. 25, Obr. 26) 1x

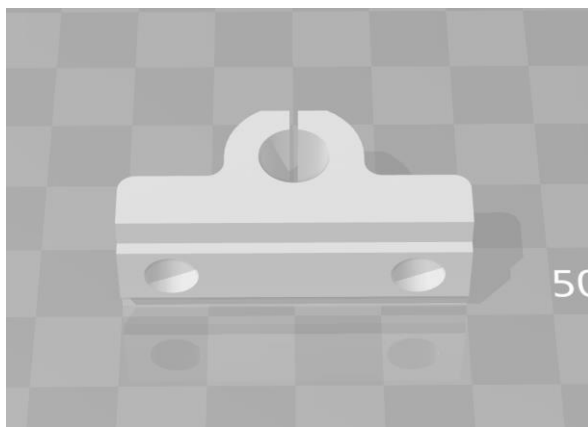


Obr. 25 Držák řemenice (1) – Autor: Rebel RepRap



Obr. 26 Držák řemenice (2) – Autor: Rebel RepRap

- Uchycení tyče 8 mm (Obr. 27) 4x



Obr. 27 Uchycení tyče – Autor: Rebel RepRap

8.1 Změna barvy profilu

Při tomto kroku se objevily nemalé potíže. Jelikož se do konstrukce nehodily duralové profily stříbrné barvy, byl proveden nástřik černým sprejem na hliník. Bylo nutné tedy vzít smirkový papír a lehce narušit povrchovou vrstvu, aby se barva měla na čem přichytit.

Po vyzkoušení několika různých barev nejlépe držela černá vysokoteplotní barva.

8.2 Postup stavby

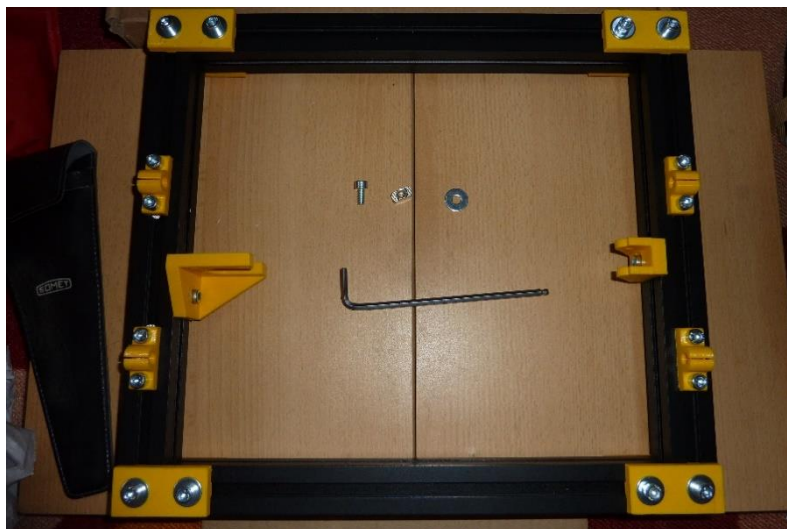
Nejdříve se pracuje s profily, mezi delší dva kusy se vloží dva kratší (přesné rozměry jsou uvedeny v zadání kapitoly). Připraví se 16 krát podložky, matice a šrouby a vezmou se vazby rohů, které jsou vytištěné. Plastové vazby (Obr. 22) se připevní do profilu, aby lícovaly kraje profilů. Matice jsou speciální v tom, že se dají do profilu vložit jak drážkou ze strany nebo vrchem a při šroubování se matice v profilu otočí a zůstane pevná a nehrozí protáčení při montáži. Připevňují se jak z vrchní části, tak ze spodní a konstrukce tím pádem bude držet pospolu.

Když jsou spojené profily, vezme se vytištěný díl pro přidělení motoru (Obr. 23), který bude pohánět řemen. Potřeba je jeden šroub a matice, které se přidělají na jeden z delších profilů v poloze podle toho, jak bude vycentrovaná pojezdová deska. Po zasazení motoru a přidělení řemenice GT2 se odměří, v jaké vzdálenosti bude na protichůdné straně přidělána druhá řemenice GT2 s ložiskem. Druhá řemenice bude zasazená do vytištěného dílu – plastový držák (Obr. 25). Řemen se momentálně ještě

napnout nemůže, protože je potřeba ho uchytit do držadla přidělaného na spodu pojezdové desky.

Držák řemenice byl příliš velký a řemenice se mohla pohybovat ze strany na stranu. Abychom došli k vycentrování, byla nejdříve využita podložka, která se dala z obou stran. Toto řešení ovšem selhalo, jelikož podložky byly natolik velké, že zabraňovaly ložisku, aby se otáčelo. Vyřešeno to bylo násadou od lízátká, které mělo vnitřní průměr násady 3 mm. Z každé strany se tedy uřízl kousek, který systém vycentroval, ale zároveň nebránil otáčení řemenice.

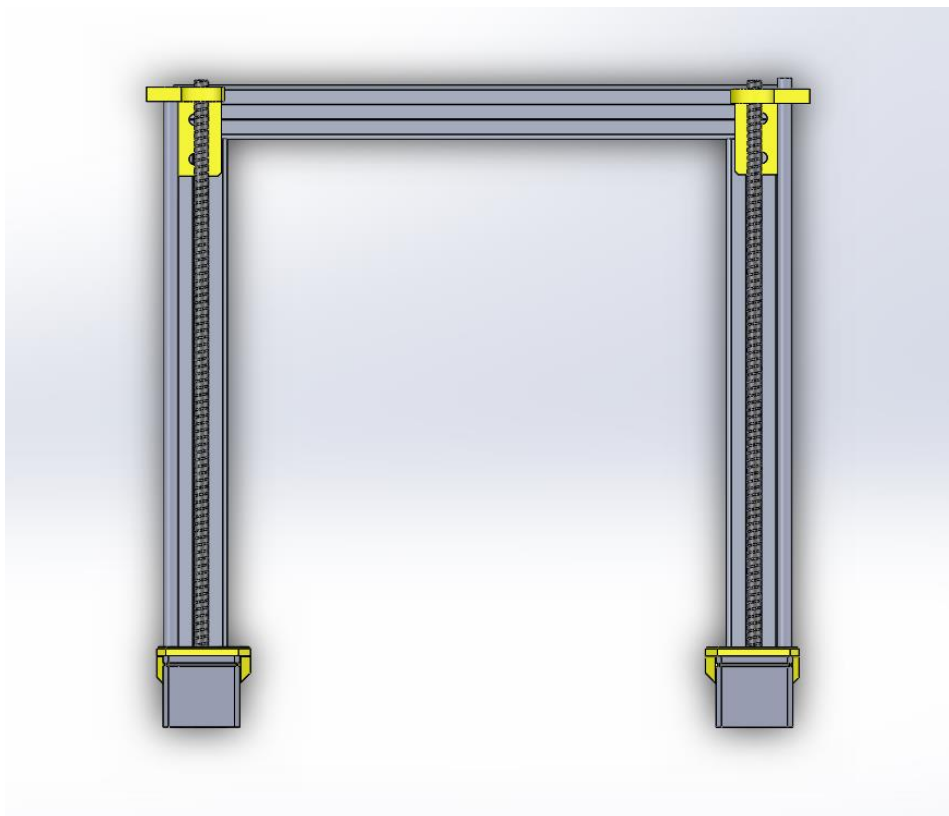
Poslední částí je připevnit uchycení na tyč 8 mm (Obr. 27). Čtyři uchycení (dvě pro každou tyč) zajišťují, aby bylo kam na pevně uložit pojezdové tyče, po kterých se hýbe tisková deska. Každá část je přidělaná do rámu pomocí dvou šroubů a matic. Přidělávají se na vrchní části dvou delších profilů. Vzdálenost od stran se určuje pomocí velikosti pojezdové desky tak, aby nebyly tyče zbytečně moc na krajích nebo ve středu desky.



Obr. 28 Sestavená základna

Časová náročnost: 1 hodina.

9 Stavba rámu



Obr. 29 Rám ve 3D

Koupené díly:

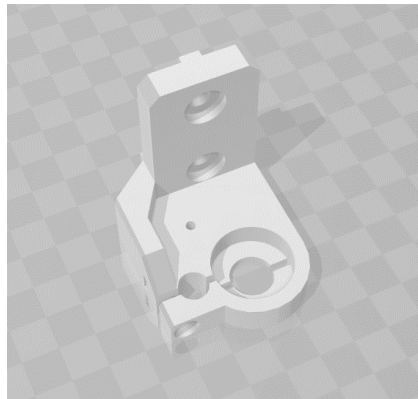
- Duralové profily
 - 2x 330 mm
 - 1x 340 mm
- Pojezdové tyče 2x
- Krokový motor s trapézovou tyčí a maticí 2x
- Šrouby M6 12 mm 16x
- Šrouby M6 15 mm 6x
- Matice do profilu HS 30 32x

Tištěné díly

- Uchycení motoru a tyčí horní část – 1x pravý (Obr. 31)+ 1x levý (Obr. 30)

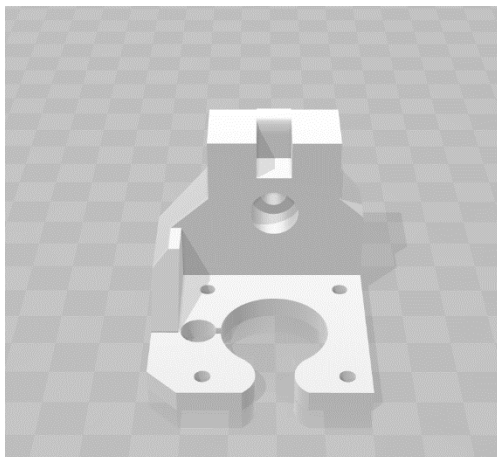


Obr. 30 Uchycení motoru horní levé Autor: David Trcka

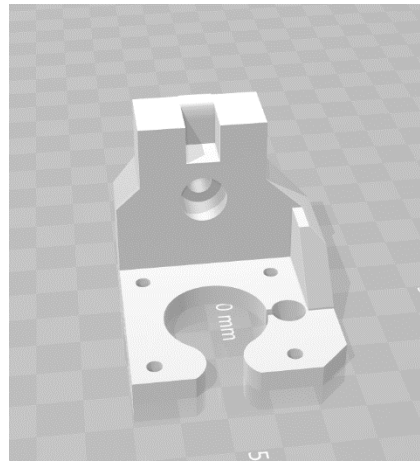


Obr. 31 Uchycení motoru horní pravé Autor: David Trcka

- Uchycení motoru a tyčí spodní část – 1x pravý (Obr. 32) + 1x levý (Obr. 33)

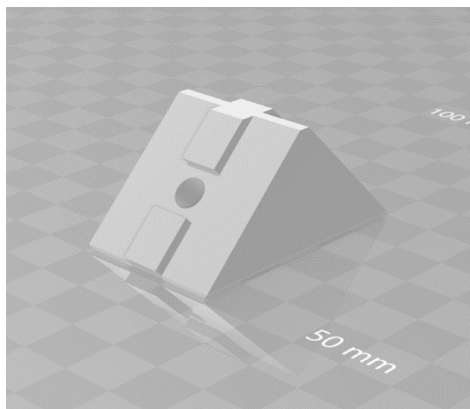


Obr. 32 Uchycení motoru spodní pravé Autor: David Trcka



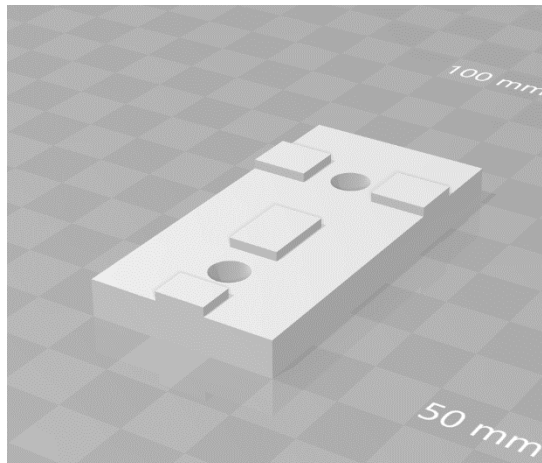
Obr. 33 Uchycení motoru spodní levé Autor: David Trcka

- Spojení profilů (Obr. 34) 2x



Obr. 34 Spojení profilů – Autor: David Trcka

- Vazba rohu (Obr. 35) 6x



Obr. 35 Vazba rohu – Autor: David Trcka

9.1 Stavba rámu

Vezmou se tři profily o zadaných rozměrech a na dva stejně dlouhé se položí jeden, který je delší. Rozměr musí být stejný, aby byly zajištěny stejně velké plochy pro tisk.

Z jedné strany se profily spojí vazbou rohu (Obr. 35), opět stejný postup jako u spojování základny. Na druhou stranu se do profilů zasadí horní díly pro uchycení motoru a tyčí (Obr. 30, Obr. 31). Tyto dvě části se spojují šrouby M6 x 12 mm a upevňují se do profilu stejně jako vazby rohů. V tomto případě mají i podobnou funkci, jelikož jinak by rám nedržel pohromadě na pevně a mohlo by dojít ke zborcení celého rámu tiskárny.

Do spodní části dvou profilů, které nejsou nijak připojené dohromady, se namontují spodní díly pro uchycení motoru (Obr. 32, Obr. 33). Je dobré nejdříve vyzkoušet, do jaké výšky zasahuje motor sám o sobě. Tyto části se musí spojit většími šrouby, jelikož výtisk je širší, proto se zde využijí šrouby M6 x 15 mm. V této fázi je sestaven samotná rámová konstrukce, kterou je nutné ještě připojit k základně, aby tak tiskárna dostala celkový tvar.

9.2 Spojení rámu a základny

Připravený rám postavíme na základnu a odměříme si 100 mm od zadní strany základny, což je část, kde je připevněn motor. Je důležité dát pozor na to, aby při postavení rámu tvořil se základnou pravý úhel, ať nedojde k tomu, že díly k sobě nebudou přiléhat. Zde se použijí „T“ spojky ze strany vnější i vnitřní. Pro následně

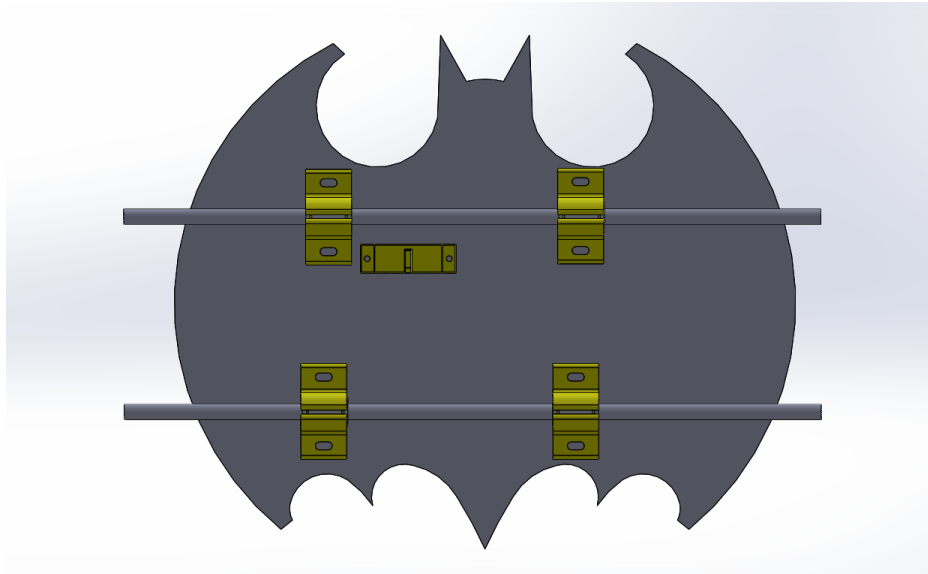
upevnění se ještě využijí dva tištěné díly spojení profilu (Obr. 34). Tyto díly jsou opět houževnatější, proto je potřeba zvolit šroub M6 15 mm a díly do obou částí přidělat. A po dokončení již drží rám a základna pospolu jako jeden celek (Obr. 36). Krokové motory a pojezdové tyče v tuto chvíli ještě neupevňujeme, prvně je nutné sestavit soustavu extrudéru, která se na tyto tyče nasadí.

Časová náročnost: 30 minut.



Obr. 36 Spojení základny s rámem

10 Montáž tiskové desky



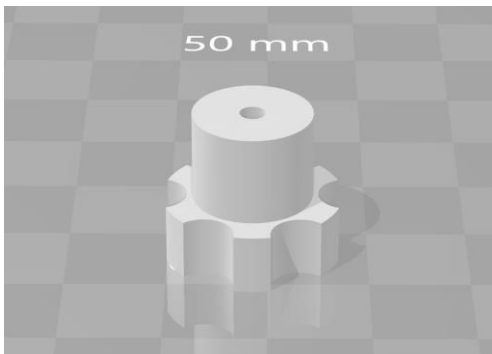
Obr. 37 Pojezdová deska 3D

Koupené díly

- Duralová deska 1x
- Korková podložka 1x
- Vyhřívaná deska 1x
- Termistorové čidlo 1x
- Ložisko LM8UU 4x
- Šrouby
 - M4 x 15 mm 8x + podložky – uchycení ložisek
 - M3 x 23 mm 4x – distanc stolku hliníkové desky a vyhřívané podložky
 - M3 x 10 mm 2x + podložky – uchycení řemene

Tištěné díly

- Distanc stolku duralové desky a vyhřívané podložky (Obr. 38, Obr. 39) 4x

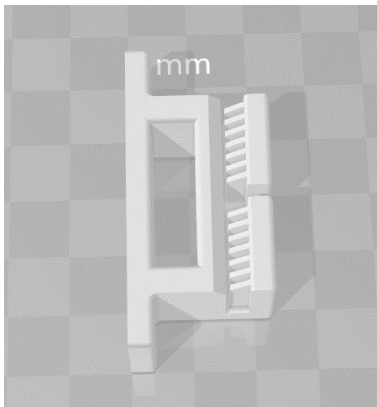


Obr. 38 Distanční díl (1) – Autor: Rebel RepRap

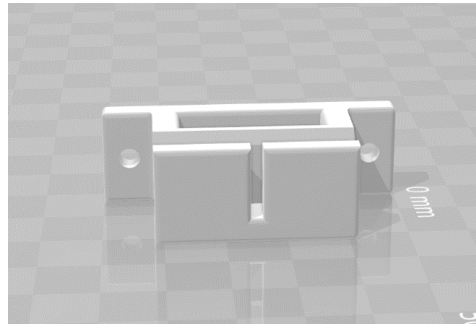


Obr. 39 Distanční díl (2) – Autor: Rebel RepRap

- Uchycení řemene (Obr. 40, Obr. 41) 1x

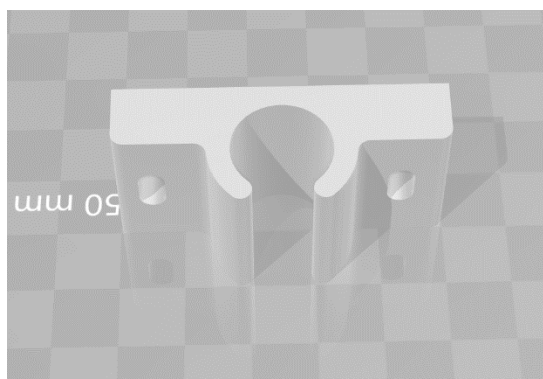


Obr. 40 Uchycení řemene (1)
Autor: Ming Liu



Obr. 41 Uchycení řemene (2) – Autor: Ming Liu

- Uchycení ložisek LM8UU (Obr. 42) 4x



Obr. 42 Uchycení ložiska – Autor: Rebel RepRap

10.1 Odměření poloh tištěných dílů na uchycení ložisek

Co se týče desky, dá se koupit buď již celá a předem vyvrtaná deska, na kterou se jen namontují tištěné díly a deska je ihned použitelná. V tomto případě byla vyříznuta vlastní deska z 5 mm tlusté hliníkové slitiny, kvůli osobitému vzhledu.

Pokud se deska řeže a nemá obvyklý tvar, je nutné ji vyvážit a kousek po kousku vyvrtat. Ještě je důležité zmínit, že pro prvotní návrh desky se musí počítat s tím, aby byla velikostně použitelná, což zahrnuje, aby se na ni dala dát vyhřívaná deska a celkově se vešla do tiskárny.

Postup měření je následující. Nejdříve je nutné si ujasnit, kde bude přední a kde zadní část desky, tudíž jak bude posazena na pojezdových tyčích. Dále je nutné mít postavený rám a vědět, kde bude základní poloha extrudéru a kam až se deska bude posouvat. Na duralovou desku se položí pro orientaci vyhřívaná deska a posouvá se dopředu a dozadu pro zjištění krajních poloh, kam se až ideálně deska musí nebo by se minimálně měla přibližně dostat.

Pomocí vytvořených kolmic na desce by mělo být možné položit díly v ideální poloze pro pohyb bez zadrhování. Také se musí počítat s velikostí motoru, aby se vešel mezi tištěné díly a deska mohla dojet do konce.

Když jsou díly odměřené, musí se vyvrtat patřičné díry na šrouby a následně do nich vyvrtat závit, aby nebylo nutné dávat na druhou stranu matici. Po změření děr posuvným měřítkem bylo zjištěno, že zde se musí použít šroub M4. Díry se musí přesně vyvrtat, vytvořit závit a vyčistit.

Při montáži plastových dílů (Obr. 42) je zde vytvořen i prostor pro lehkou manipulaci a posun, jelikož díry na šrouby mají oválný tvar a dá se tam šroubem posunovat tak, aby byly středy ložisek v jedné rovině a tyč jimi tak hladce projížděla.

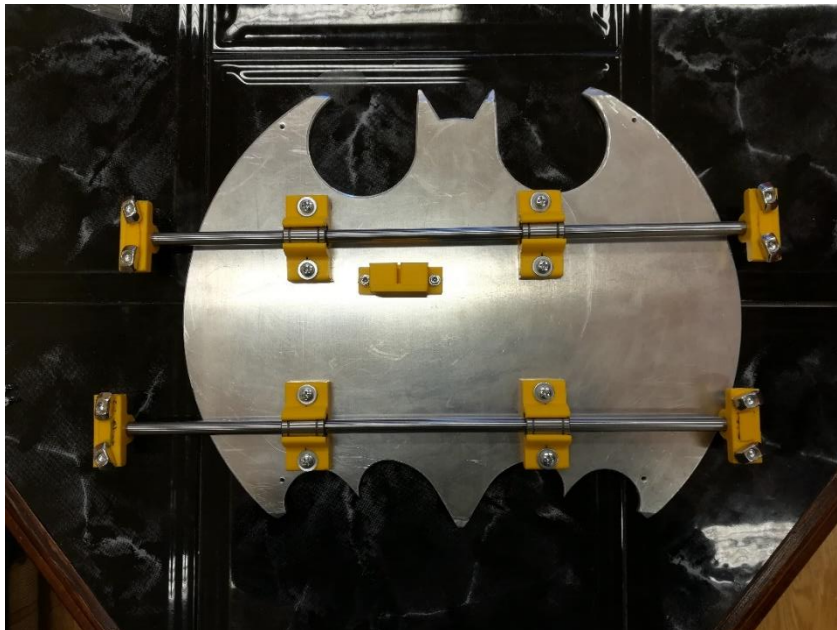
Po této montáži se na konce tyčí nasadí plastové díly pro uchycení tyčí, které jsou připraveny v rámu od montáže základny. Vzdálenost se následně zarovná tak, aby od pravé strany k uchycení tyče byla vzdálenost 80 mm, v této poloze pak nic nepřekáželo a pohyb desky byl plynulý.

10.2 Odměření polohy plastového dílu na uchycení řemene

V této fázi je nutné mít sestavené všechny předchozí části, jelikož je nutné přimontovat desku do základny. Také se zde bude pracovat s držákem na motor, s motorem a řemenicí a s uchycením řemenice na protější straně.

Když se vše zasadí do základny, musí se nejdříve posunout již přítomné plastové díly, do takové polohy, aby když dojede deska na konec, se motor vešel mezi obě tyče. Po natažení řemenu se pak při napnutí získá linie, na které musí díl na uchycení řemene (Obr. 40) ležet. Pak se již pouze posune tak, aby nenarážel do dílů na obou stranách, a označí se díry na vyvrtání.

Zde jsou použity šrouby M3, tudíž závit musí být totožný.

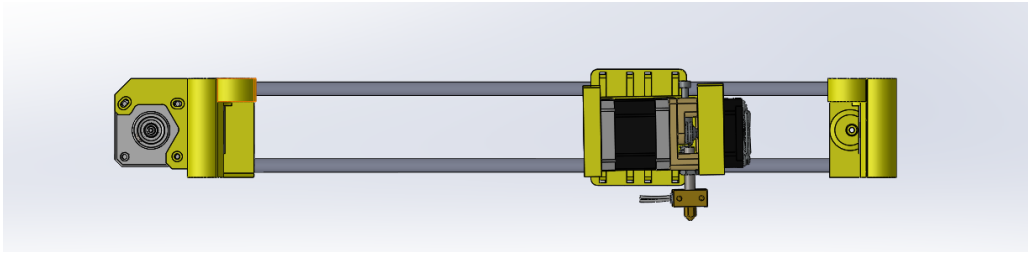


Obr. 43 Sestavená pojezdová deska

Po sestavení se změř velikost tiskové podložky a vyvrtají se patřičné závity M3 do duralové pojezdové desky, kam se pak umístí distanc stolku duralové desky a vyhřívané podložky (Obr. 38).

Časová náročnost: 5 hodin.

11 Stavba extrudéru



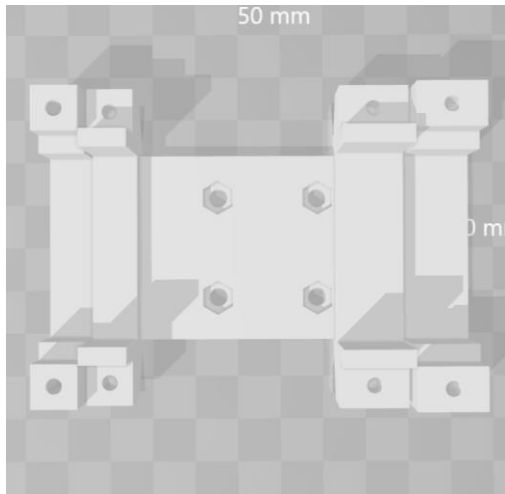
Obr. 44 Soustava extrudéru 3D

Koupené díly

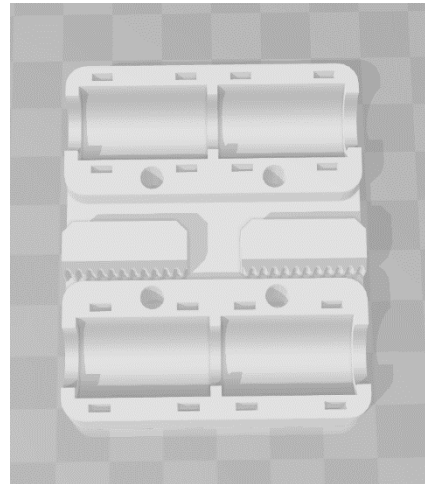
- Extrudér MakerBot MK8
- Pojezdové tyče 2x
- Krokový motor Nema17 1x
- Řemenice GT2 16 zubů na krokový motor 1x
- Řemenice GT2 16 zubů s ložiskem 1x
- Řemen GT2 1 m
- Ložisko LM8UU 8x
- Šrouby:
 - M3 x 50 mm 4x – osazení motoru
 - M4 x 30 mm 4x – přidělení osazeného motoru na pojezdové tyče
 - M3 x 15 mm 2x – uchycení pojezdových tyčí do pravé strany
 - M3 x 20 mm 4x – uchycení motoru v části tištěného dílu pro levou část
 - M3 x 15 mm 1x + matice s plastovým kroužkem – uchycení řemenice s ložiskem

Tištěné díly

- Konstrukce na držení extrudéru (Obr. 45) – nutno složit 1x
- Uchytení extrudéru na pojezdové tyče a řemen (Obr. 46) 2x

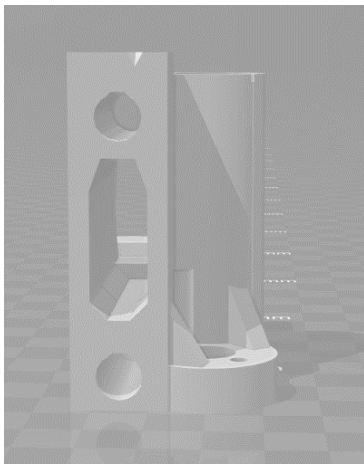


Obr. 45 Konstrukce na držení extrudéru
Autor: inornate

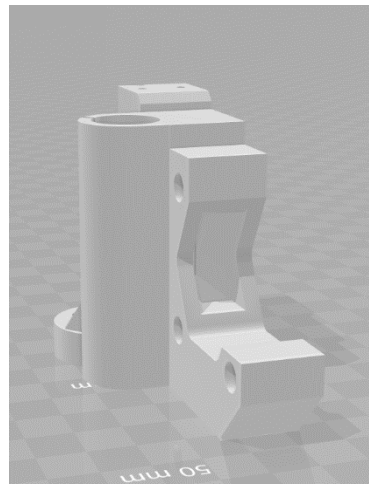


Obr. 46 Uchytení na pojezdové tyče
Autor: eMotion Tech

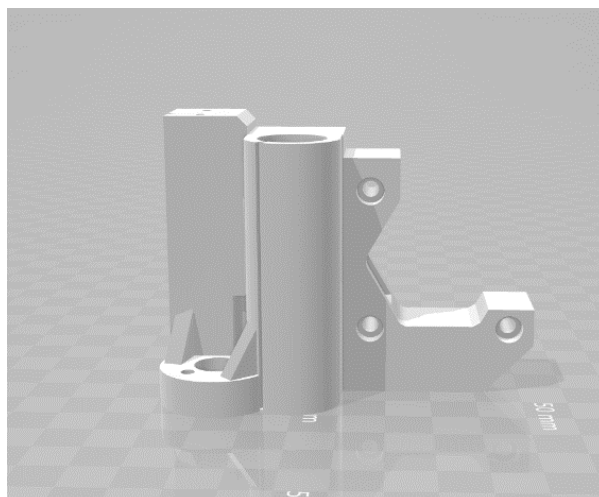
- Pojezd soustavy po tyčích u rámu – levá strana (Obr. 47, Obr. 48, Obr. 49) 1x



Obr. 47 Pojezd soustavy levá strana (1)
Autor: Joseph Tisch

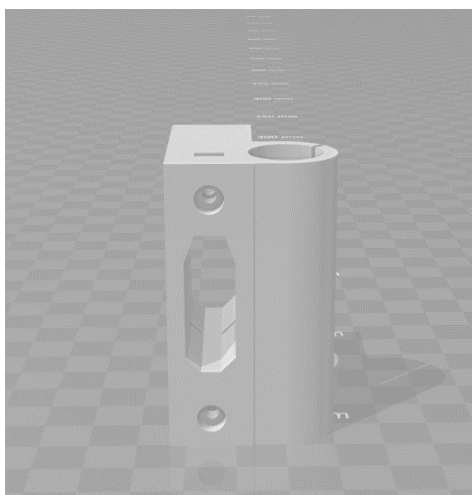


Obr. 48 Pojezd soustavy levá strana (2)
Autor: Joseph Tisch

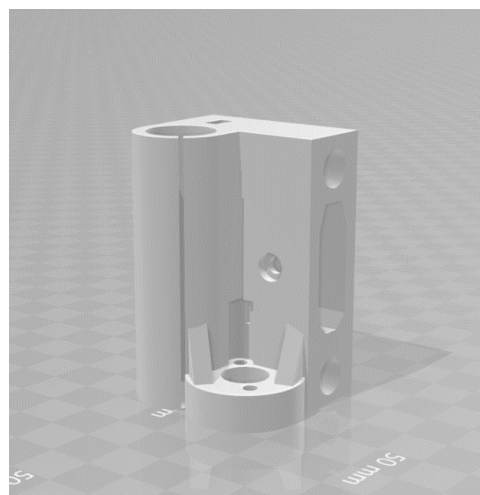


Obr. 49 Pojezd soustavy levá strana (3) – Autor: Joseph Tisch

- Pojezd soustavy po tyčích u rámu – pravá strana (Obr. 50, Obr. 51) 1x



Obr. 50 Pojezd soustavy pravá strana (1)
Autor: Joseph Tisch



Obr. 51 Pojezd soustavy pravá strana (2)
Autor: Joseph Tisch

Díl pro uchycení extrudéru (Obr. 46) na pojezdové tyče a řemen je zde vyroben ve dvou kusech, ale navržen byl pouze pro jednu část a druhá strana je otevřená. Pro zamezení pronikání nečistot, byl díl vyroben dvakrát, což znamenalo, že vystouplá část pro uchycení řemene se musela na jednom dílu ubrousit. Poté ještě z druhého dílu odebrat z celé plochy cca 2 mm, aby po uzavření ložiska byla zacvaknutá ve všech částech.

11.1 Stavba soustavy extrudéru

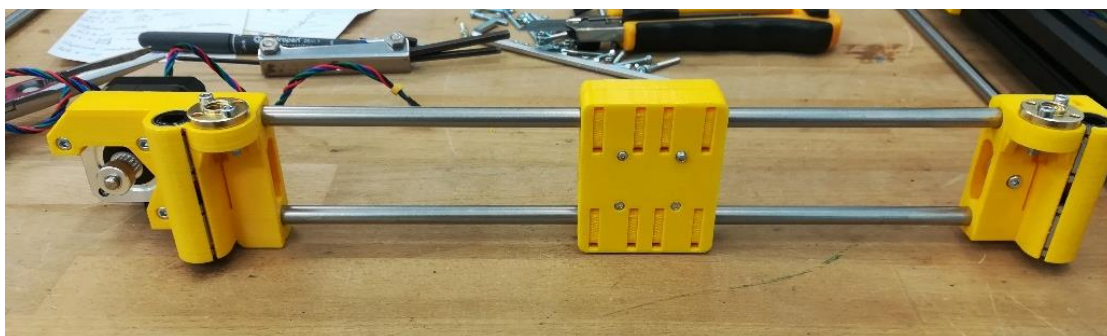
Na pravé straně uchycení na tyče (Obr. 50) jsou připravené díry na uchycení tyčí pro posun extrudéru doprava a doleva. Tyče ovšem nemají závit, tudíž je nutné je v ose vyvrtat, aby se daly následně do plastového dílu přišroubovat. Do obou postranních dílů se dají dvě ložiska na každou stranu pro tyče, které budou zajišťovat pohyb extrudéru nahoru a dolů. Dále jsou tam otvory na trapézové matice, které se musí taktéž přišroubovat. Matice by měla mít takový průměr, aby v ní mohla jezdit trapézová tyč od motoru a také aby se dala zasadit do plastového dílu. Při zakoupení stejné sady motorů, která je zde uvedena, tak matice nesedí, nevejdou se do plastového dílu a celkově jsou objemnější. Řešením by bylo buď koupit nové dvě matice o vnějším průměru 22 mm, nebo díl převrtat.

Do dílu, které byly upravovány na řemen a ložiska, se zasadí ložiska včetně pojezdových tyčí a celé se to přišroubuje na držák extrudéru.

Do levé části (Obr. 47) se musí přišroubovat krokový motor s řemenicí, který bude pomocí řemene posouvat extrudérem. Do pravého dílu se vloží protikus k motoru, což je řemenice s ložiskem.

Poslední částí je zasazení extrudéru do držáku. V tuto chvíli je soustava hotová a může se nasadit na trapézové a pojezdové tyče upevněné na rámu (Obr. 52).

Časová náročnost: 5 hodin.



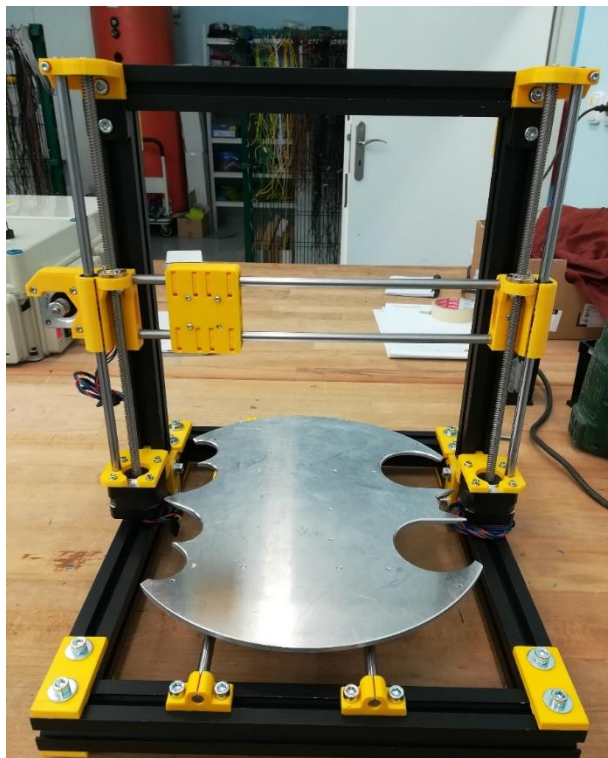
Obr. 52 Složená soustava extrudéru

12 Dokončení mechanické části

V této fázi je hotová soustava extrudéru a spojený rám se základnou. Nejdříve nasadíme soustavu extrudéru na trapézové tyče a zasadíme k rámu. Do horního plastového dílu, kde končí trapézová tyč, se musí vložit ložisko, ve kterém bude držena trapézová tyč, a přitom s ní bude možné volně pohybovat. Při postavení motoru ke spodnímu plastovému dílu je nutné ho také upevnit. Připevní se čtyřmi šrouby M3 x 12 mm + podložky, aby se motor nikam nepohyboval. To samé se udělá na druhé straně.

Seshora se ještě zasunou pojezdové tyče, které projdou soustavou extrudéru v místech, kde jsou dvě ložiska. Slouží zde hlavně jako opora trapézovým tyčím, aby se soustava hladce pohybovala nahoru a dolů. V horní části uchycení pojezdových tyčí je připraven otvor na šroub M3 x 20 mm a matici, aby se celý horní díl stáhl a nevypadlo ložisko nebo se nepohybovala tyč.

Nyní je důležité dotáhnout všechny šrouby, zjistit, jestli někde nedochází k drhnutí. Hlavně je nutné dávat pozor na to, že díly jsou pořád z plastu a mohou se zlomit a pokud díly nebyly tištěny vždy vícekrát, může nastat problém, který se musí vyřešit pevnějším dílem.



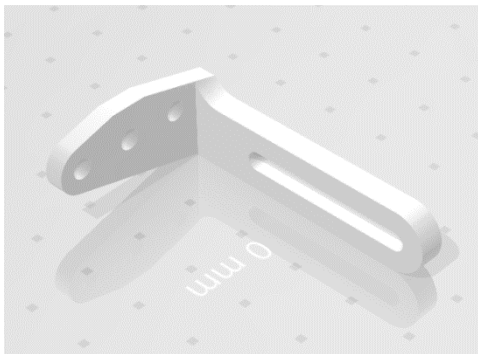
Obr. 53 Sestavená 3D tiskárna bez elektroniky

12.1 Montáž koncových spínačů

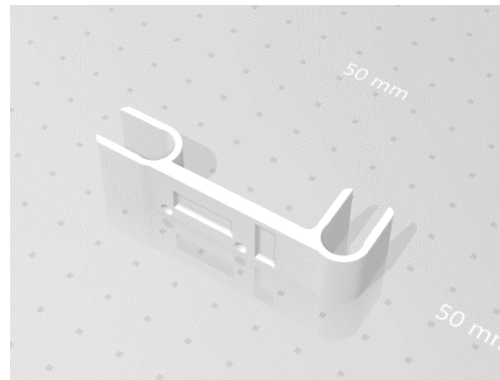
Koupené díly:

- Arduino koncový spínač 2x
- 3D Touch Auto leveling sensor
- Šrouby
 - M3 x 8 mm 2x – pojezd extrudéru na ose X
 - M3 x 12 mm – pojezd Y přichycení do rámu
 - M3 x 15 mm – spojení držáku na ose Y
 - M3 x 10 mm – přichycení držáku 3D Touch Sensoru k extrudéru
 - M3 x 5 mm 5x – uchycení spínačů do držáku
 - M6 x 10 mm + podložka a matička – přidělení držáku osy Y do rámu

Tištěné díly:

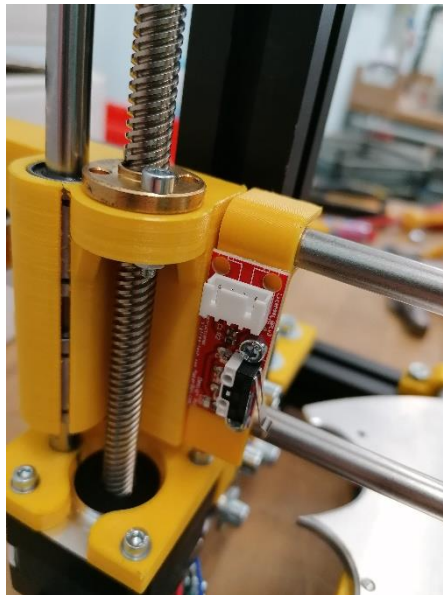


Obr. 54 Uchycení 3D Touch Sensoru Autor: Nys Tao



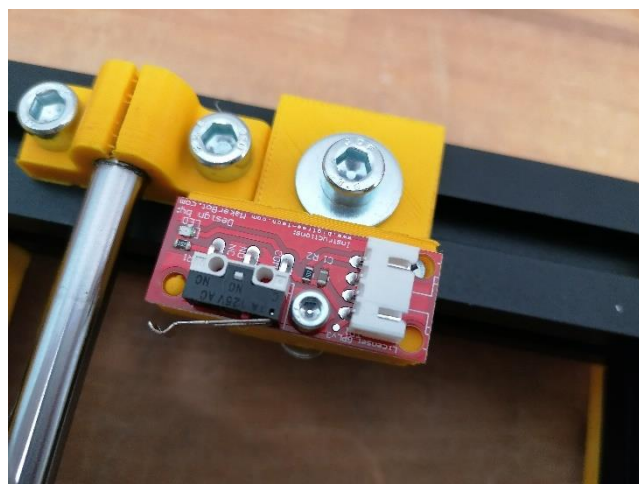
Obr. 55 Uchycení Koncového spínače X Autor: Bruno Dantas

Uchycení prvního snímače na osu X, kde se pohybuje hlavice extrudéru, byla jednoduchá, jelikož se spínač namontoval do držáku (Obr. 55). Využily se k tomu dva šrouby M3 a následně se zasadil mezi pojezdové tyče.



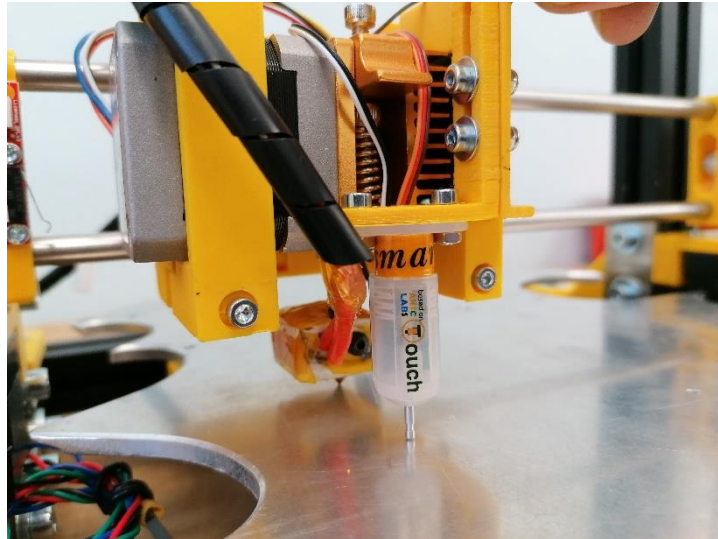
Obr. 56 Uchycení spínače na ose X

Vytisknutý držák pro koncový spínač na ose Y nebyl optimální. Nedal se namontovat do rámu tak, aby plnil svou funkci. Proto došlo ke spojení dvou nevyužitých vytištěných součástí – vazba rohu a část vytištěného držáku na snímač. Po spojení těchto částí se dal spínač umístit vedle motoru tak, aby cvaknul při dojetí desky do maximální polohy. Do rámu je díl přidělán šroubem M6 a ke spojení částí dílů je použitý šroub M3 (Obr. 57).



Obr. 57 Koncový spínač na ose Y

Místo klasického snímače na ose Z byl využit 3D Touch Auto Leveling Sensor. Tento sensor byl přidělaný do jemu určenému držáku (Obr. 54). Následně se musel vytvořit uchycovací prvek pro připojení držáku se senzorem na vytištěnou část držáku na extrudér. Na tuto část byl využit pravoúhlý držák motoru, který byl vytisknutý, jako záložní na osu Y. Sensor má nastavovací držák, aby se mohl co nejlépe vyrovnat s hrotem trysky na extrudéru (Obr. 58). Na montáž byly použity šrouby M3 zmíněné výše.



Obr. 58 Uchycení 3D Touch Sensoru

Časová náročnost: 8 hodin.

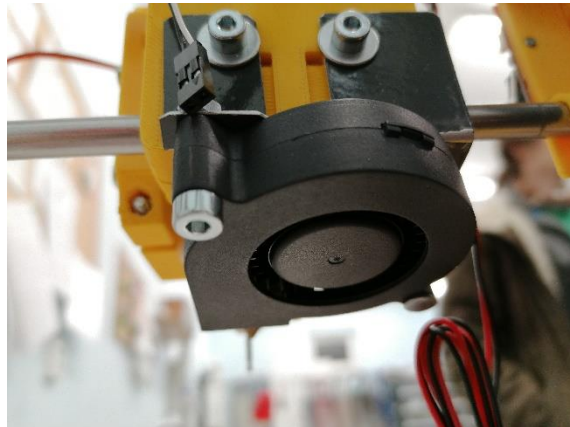
12.2 Ventilátor tiskové hlavy

Koupené díly:

- Ventilátor 12V
- Šroub M4 x 20 mm + podložka a matice 2x
- Dva plechové díly

Pro kvalitnější tisk je dobré mít i chlazení trysky tiskové hlavičky a výtisku. To zde zajišťuje přídatný ventilátor. Při tisku plastových dílů s tímto ventilátorem nebylo počítáno, proto jeho držák je z hliníkového plechu. Jelikož z přední části extrudéru je 3D Touch Sensor, tento ventilátor bude z druhé strany uchycení soustavy extrudéru k pojezdovým tyčím. Plechové díly byly ušity a zahnuty podle potřebného položení ventilátoru, každý plech byl jinak velký, a byly do nich vyvrtány otvory na

uchycení ventilátoru (Obr. 59). K přidělení se využilo již existující spojení částí extrudéru držících na pojezdových tyčích, pouze byly přidány podložky.



Obr. 59 Uchycení ventilátoru

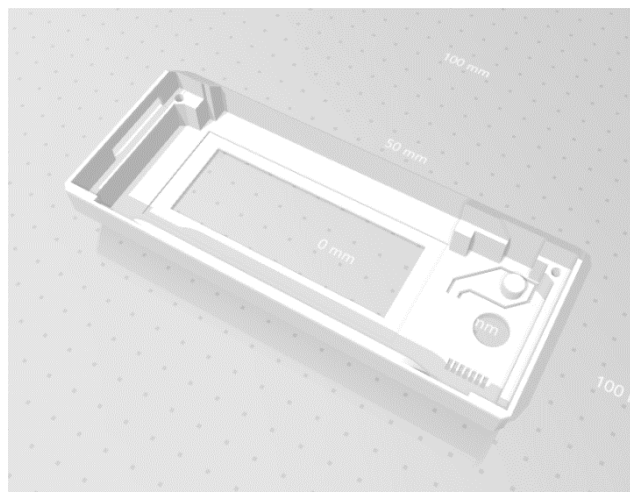
Časová náročnost: 3 hodiny

12.3 Displej

Koupené díly:

- LCD Displej + slot na paměťovou kartu
- Šrouby M4 x 30 mm 2x

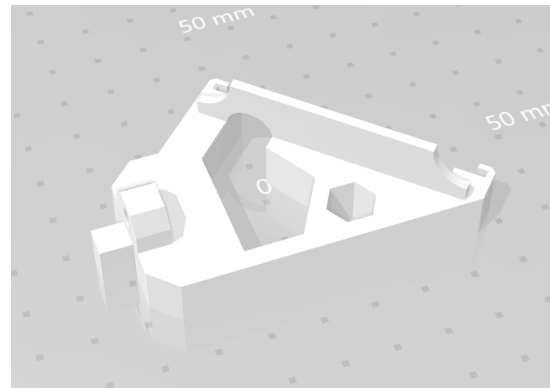
Tištěné díly:



Obr. 60 Kryt na LCD Displej - Autor: Michael McClinton

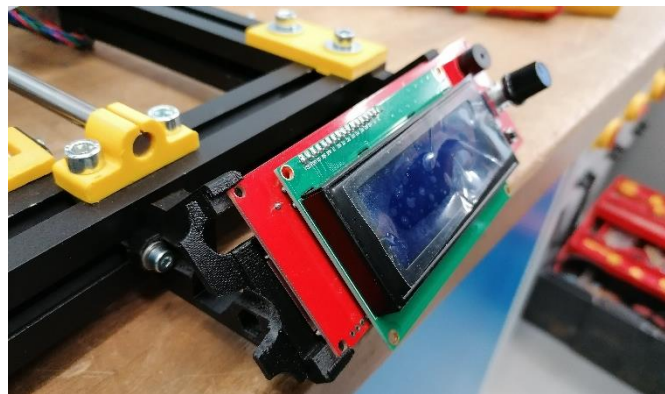


Obr. 61 Uchycení tištěného spoje do rámu – Pravá strana – Autor: Michael McClinton



Obr. 62 Uchycení tištěného spoje – Levá strana – Autor: Michael McClinton

Do základny musely být vyvrtány dva závity, jelikož tištěné díly (Obr. 61, Obr. 62) mají část na přišroubování ve velikosti M4 a matice, která drží v profilu základny, je pouze M6. Při převrtání dílu z M4 na M6 by došlo k jeho zničení, byla zvolena varianta, kde je uchycení tištěného spoje s LCD panelem přišroubované na pevno do základny. Zde to znamenalo odměřit si díry na držáky a provrtat profil skrz a následně vytvořit M4 závit. Následně se nasadil kryt displeje (Obr. 60) a kompletní displej se na pevno přimontoval (Obr. 63).



Obr. 63 Přimontovaný displej

Časová náročnost: 30 minut

13 Zapojení elektroniky

Každý motor, spínač, displej či zdroj mají své kabelové připojení, aby celá soustava mohla fungovat. Všechna kabeláž je zapojena na Ramps 1.4, která je na naprogramované Arduino Mega desce.

V první části je důležité udělat rozložení, kde bude hlavní úložný prostor pro základní desku, kam bude natahaná veškerá kabeláž. Každý kabelový svazek je obmotán svazkovací spirálou, kvůli vytvoření kabelové ochrany.

13.1 Zapojení a uchycení zdroje

Zdroj (Obr. 64) je přichycen třemi duralovými držáky pod pojezdovou deskou. V této poloze je ukrytý, a nikde nepřekáží. Kabel, který jde přímo do zásuvky, je veden skrz profil základny. Na konci, který jde do zdroje, se kabel očistil od izolace a rozdělil na tři kabely, které byly uvnitř. Hnědý kabel, který představuje fázi, byl upraven tak, že na něj byla vytvořena pojistka. Tato pojistka funguje na principu, že při přetížení se mezičlánek vypálí a nedojde ke zničení zdroje.

Napájecí kabel je přidělán na ke zdroji, ale ne přímo na něj, byl zde vytvořen ocelový plát, který vytváří mezeru, aby nedocházelo k nechtěnému přehřívání napájecího kabelu.

Napájecí kabel obsahuje hnědý kabel – fáze, modrý kabel – nula, zelený kabel – zem. Toto jsou vstupní kabely do zdroje, které mají průměr 0,7 mm, což zde stačí, jelikož na vstupu jsou 4 A. Na výstupu jsou dva červené a dva modré kabely, o větším průměru 2,5 mm, jelikož na výstupu je 29 A.

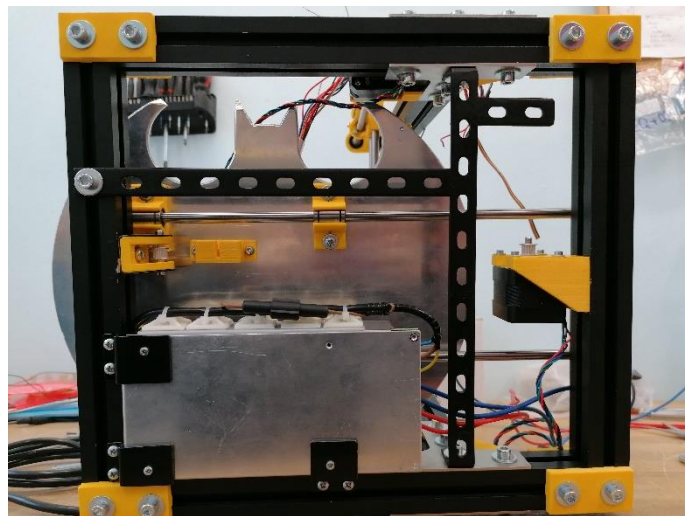


Obr. 64 Zdroj

Časová náročnost: 3 hodiny

13.2 Kříž pro kabelové trasy

Jelikož od všech motorů, koncových spínačů a displeje vedou kabely, je potřeba je provést pod základnou, aby nikde nepřekážely při posuvu pojezdové desky. Pro tento účel byl vytvořen kříž z oceli (Obr. 65), aby se neprohnul a kabely na to šlo přidělat. Došlo ke svaření čtyř dílů, které se odměřily přesně podle umístění dílů, od kterých je potřeba táhnout kabely. Jednotlivé části se byly svařeny metodou MAG s přídavným drátem o průměru 0,8 mm.



Obr. 65 Kříž pro kabelové trasy

Po vytvoření kabelové ochrany pomocí spirály jsou jednotlivé svazky přidělaný na vytvořený kříž a vedeny na jedno místo.

Časová náročnost: 1 hodina

13.3 Displejový kabel

Plochý kabel, který vedl k displeji, byl dodaný s výrobkem. Problém byl v tom, že byl krátký, a nedal se protáhnout až k základní desce. Jelikož koncový prvek na kabelu je do plochého žilového kabelu zaříznutý, nelze ho prodloužit a je potřeba udělat úplně nový. K displeji vedou dva kabely, kde každý má deset žil. Deseti žilnaté kabely se neprodávají, koupil se kabel, který má dvacet žil a částečně se na koncích rozdělil, ale zbytek kabele zůstal v celku a byl rozdělený opět až na konci. Na každý konec se přidělala nová koncovka podle původního kabelu.



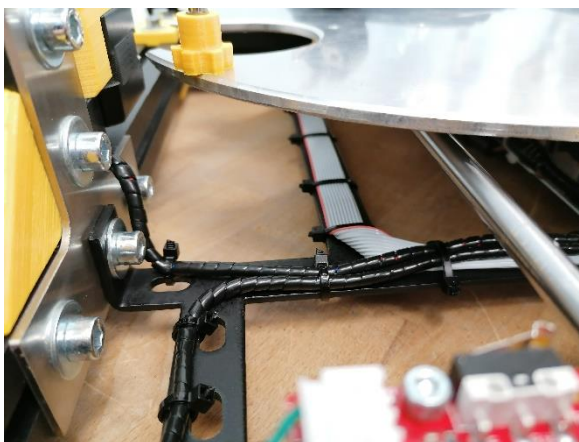
Obr. 66 Kabely na displej

Po vytvoření nových kabelů (Obr. 66) již bylo možné ho připevnit na kříž pro kabely a dovedl se se všemi ostatními kabely až k základní desce.

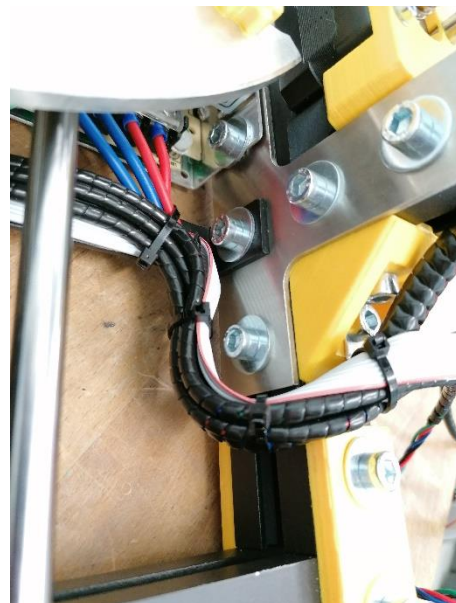
Časová náročnost: 30 minut.

13.4 Vyvedení kabelů ze spodu tiskárny

Jak již bylo popsáno výše, kabely jsou vedeny na vytvořeném kříži a směřují k základní desce (Obr. 67), která se nachází v zadní části rámu za motorem osy X na pravé straně. Kabely jsou ve svazcích vyvedeny (Obr. 68) až ke hraně profilu základny, odkud jdou podélně vzhůru na rám. Důležité bylo dát pozor na to, aby kabely nezasahovaly o pojezdovou desku, když se bude posouvat, aby nedošlo ke zničení kabelů.



Obr. 67 Vedení kabeláže



Obr. 68 Vyvedení kabeláže

Časová náročnost: 2 hodiny

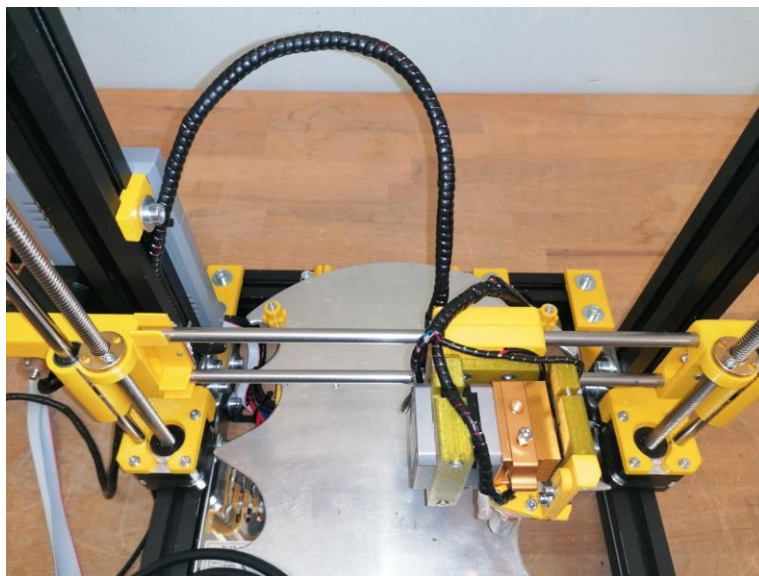
13.5 Kabeláž od extrudéru

Od soustavy extrudéru vede jeden velký kabelový svazek (Obr. 69), který je připojen na základní desku. Jsou zde kabely od motoru, který slouží jako podavač vlákna. Tyto kabely jsou čtyři a jsou stejné jako kabely vedoucí od ostatních motorů. Tyto kabely od všech krokových motorů jsou přímo jejich součástí a nedají se sundávat.

Další čtyři kabely vedou z trysky, která je izolována ještě žáruvzdornou pěnou a páskou. Dva kabely od termistoru a dva pro vyhřívání trysky.

Do svazku jsou ještě přidány po dvou kabelech od každého ventilátoru. Jedna dvojice je od ventilátoru, který slouží k chlazení motoru a celého extrudéru. Druhá dvojice kabelů je od přídavného ventilátoru, který slouží k chlazení tiskové hlavy a výtisku.

Poslední kabely, které tam jsou uloženy, jsou od 3D Touch Auto leveling sensoru. Z této sondy vede pět kabelů, rozdělených do dvojice a trojice, které se pak zapojují na různé piny Ramps 1.4.



Obr. 69 Kabeláž od extrudéru

Časová náročnost: 3 hodiny.

13.6 Vyhřívání deska

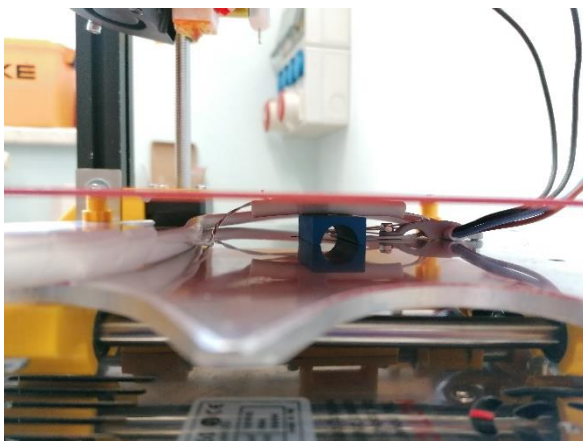
Nejdříve se na střed tiskové desky vyvede termistorové čidlo, které je navrženo tak, že snímá vysoké teploty. Termistor je speciálně vyrobený, aby byl nehořlavý a nedošlo tak ke spálení kabelu.

Napájení vyhřívání desky je pomocí čtyř žilnatého kabelu, který má silikonový obal, aby mohl odolávat vysokým teplotám. Na většině tiskáren, které jsou na internetu dostupné, jsou na desku přivedeny pouze dvoužilové kabely. Problém je v tom, že deska odebírá proud 15 A při 12 V stejnosměrného napětí a kabely, které byly odpozorovány, nemůžou být na tyto proudy stavěné. Pro zamezení nějakého problému byl využit čtyř žilový kabel a byly vytvořeny dvě dvojice kabelů (Obr. 70). Jedna žíla je o průměru 0,75 mm, spojením dvou dostaneme 1,5 mm, což zvládne napětí do 16 A, a to je dostatečné pro odběr desky.

Po spojení dvou žil dohromady se protáhnou kabely otvory na desce a pomocí pájky se přidělají k desce (Obr. 71). Důležité je, aby se pájka dostala všude okolo drátků, jinak nebude zajištěno přemostění a nebude fungovat.

Pro termistorové čidlo byla využita speciální podložka, která se využívá jako izolace do rozvaděčů, umístěných v podmínkách s možností výbuchu. Napájecí kabel a kabel od termistorového čidla vedou mezi pojezdovou plochou a tiskovou deskou ve smyčce, která se otevírá a zavírá podle posouvání desky, ale zabraňuje vysunutí kabelu mimo prostor desky. Kabely jsou pak vyvedeny stranou a pomocí lišty přichyceny k rámu a nasměrovány k základní desce.

Samotná deska funguje na principu jednoho velkého propojeného obvodu, který je podobný obvodu využívaného při vyhřívání oken aut. Proud postupuje po spirále a ta zahřívá desku. Pokud je deska zapojená a nahřívá se, u připájených kabelů na desce svítí diody, signalizující aktivní stav.



Obr. 70 Vedení termistorového čidla a napájecích kabelů



Obr. 71 Připájené napájecí kabely

Časová náročnost: 5 hodin.

13.7 Úložné pouzdro na základní desku a větrák

Pro uložení veškeré elektroniky byl pořízen malý elektrikařský rozvaděč, tedy hlavně jeho skříň. Toto pouzdro má rozměry 150 x 82 x 60 mm a je velikostně dělané tak, aby se tam vešla základní deska a na volno všechny kabely, které na ni jsou připojené, a zároveň bylo vše ukryto.

Pouzdro je ze dvou částí, přičemž zadní je pevně přidělána k rámu (Obr. 72) a druhá část je sundavací. K rámu je přidělána šesti šrouby, pro které se do rámu vyvrtalo šest závitů. Využité šrouby jsou M3 x 6 mm.

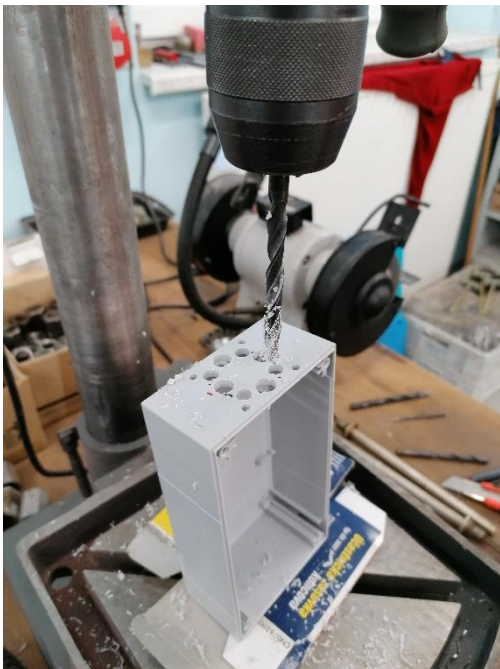
Zadní část pouzdra byla ještě upravená. Bylo potřeba vyvrtat díry, kterými budou do pouzdra přivedeny veškeré kabely. Většina kabeláže byla vyvedena spodem, tudíž i do pouzdra půjdou tímto směrem a v horní části je vybroušen pouze jeden vstup na napájecí kabel.



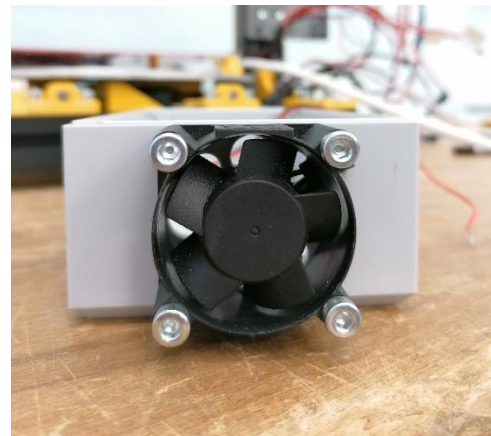
Obr. 72 Pouzdro na základní desku

Jelikož na desce bude hodně procesorů a deska bude velmi zatížená, mohlo by dojít k přehřívání. Celé pouzdro sice na sobě má několik větracích mezer, avšak malý větrák bude efektivnější a bude dodávat více vzduchu.

Větrák byl umístěn na druhou část pouzdra, které není přiděláno na pevně k rámu (Obr. 74). Dále byl umístěn ze spodní části, aby nepřekážel, ale zároveň mohl nasávat vzduch. Nejdříve bylo nutné vyměřit díry na přivrtání a kabel, který bude připojen na zdroj základní desky. Pak se vyvrtaly otvory (Obr. 73), několik děr, aby vzduch mohl proudit dovnitř, ale nevybrala se celá plocha větráku, aby nedošlo k tomu, že se nějaký kabel dostane do větráku a poškodí se. Pro přidělení byly použity čtyři šrouby M4 x 25 mm.



Obr. 73 Vrtání otvorů pro větrák



Obr. 74 Namontovaný větrák na pouzdro

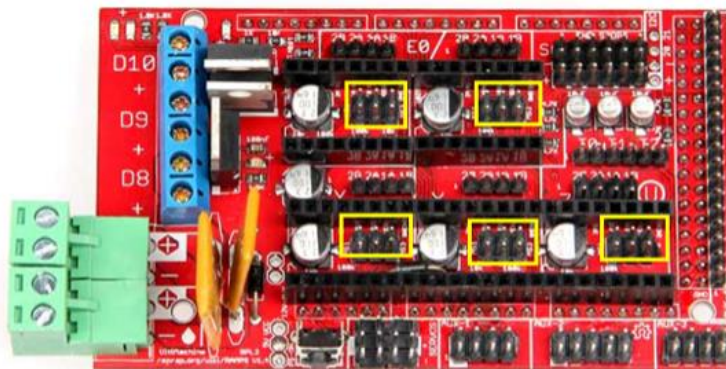
Časová náročnost: 2,5 hodiny.

Po dokončení veškerých prací byly nataženy řemeny a následovalo zapojení kabeláže na základní desku.

13.8 Zapojení na základní desku [26] [27]

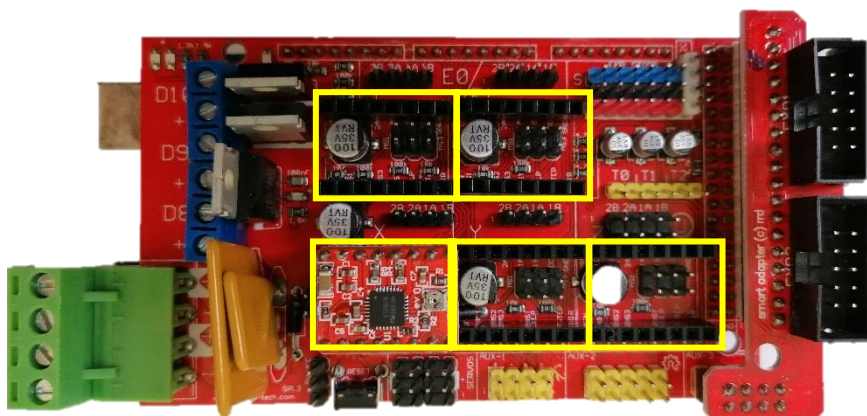
Základní deska je tvořena spojením dvou tištěných spojů. Základem je Ramps 1.4, která je na naprogramované Arduino Mega desce.

Nejdříve se na vyznačená místa na desce Ramps 1.4 (Obr. 75) dají propojky, kterých je potřeba celkem 15.



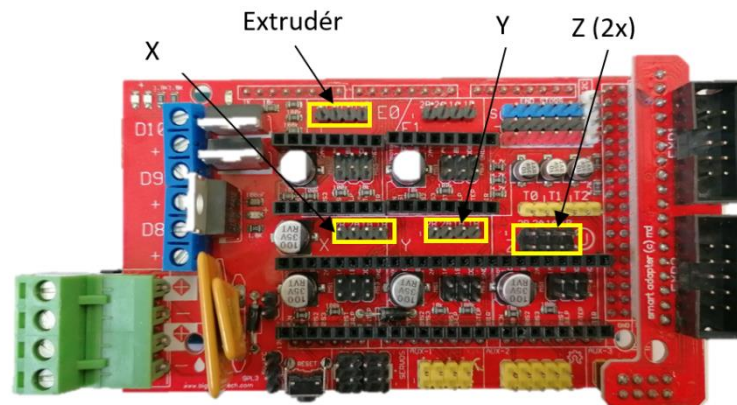
Obr. 75 Označená místa na propojky – žlutá pole

Dalším krokem je zapojení driverů pro krokové motory, včetně chladičů (Obr. 76). Důležité je dát si pozor, aby umístění chladiče bylo takové, že bude ležet jen na mikroprocesoru a nebude se dotýkat ostatních částí driveru. Při zapojení driverů je nutné se podívat, kterému pinu náleží zem a kde je zem na Ramps 1.4, aby nedošlo k opačnému zapojení driverů. Driver pasuje na obě strany a nelze tedy podle toho zjistit, jestli je zapojený správně, proto se musí zkontrolovat aby GND (země) desky byla spojena s GND driveru. Pro každý motor musí být vlastní driver, tudíž jich je zapojených pět (motor extrudéru se taky musí započítat). [28]



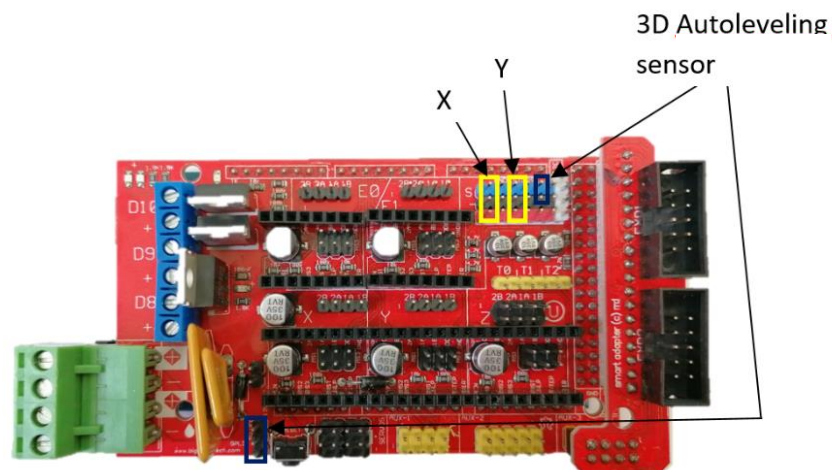
Obr. 76 Označená místa na drivery (jeden je již umístěn) – žlutá pole

Po připojení driverů je možné zapojit všechny krokové motory. Od každého motoru vede svazek kabelů s koncovkou, na čtyři piny. Černý kabel značí zem a ta je připojena prvním pinu zprava (Obr. 77).



Obr. 77 Označená místa na krokové motory dle os – žlutá pole

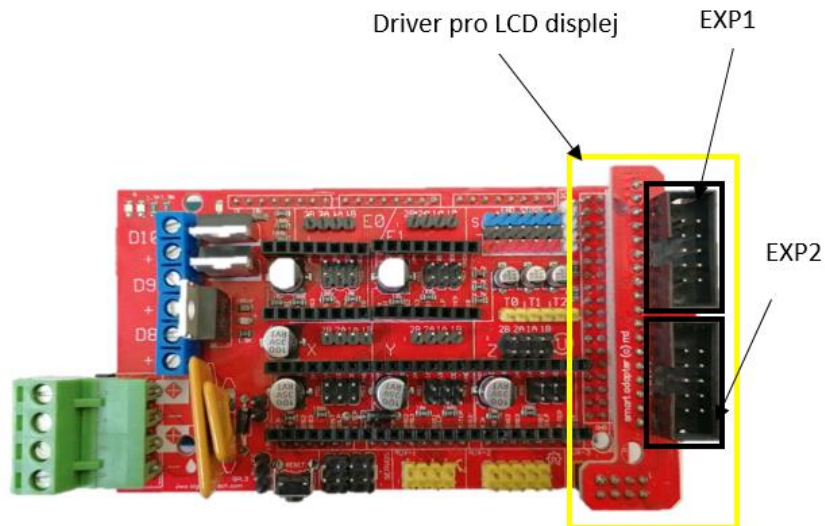
Po zapojení motorů lze zapojit koncové spínače a 3D Touch Autolevel sensor (Obr. 78). 3D Touch má jiné zapojení, kde dvou pinová černobílá (černá – zem, bílá – S pin modré barvy) část jde na stejné místo jako ostatní koncové spínače a pak tři pinovou část, která se připojuje na jiné místo. [29] Zbylé spínače jsou tři pinové a obsadí tak všechna vyznačená místa. Černá představuje zem, červená vede 5 V a na modrý S pin vychází poslední zelený kabel. [12]



Obr. 78 Označená místa na koncové spínače dle os – žlutá pole a tmavě modré pole pro 3D sensor

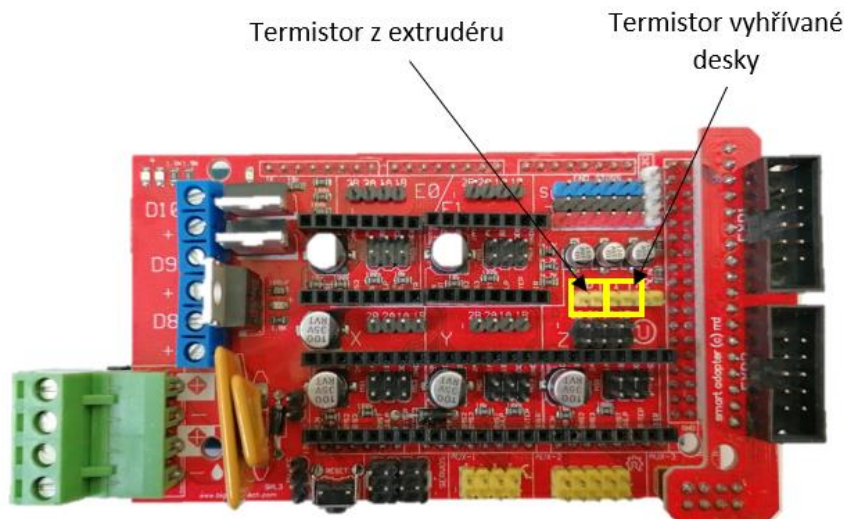
Sonda vyžaduje napětí 5 V, které samostatně Ramps 1.4 neumožňuje, musí je tedy přemostit vedlejší piny. Udělá se propojka mezi 5 V pinem a pinem, který je napojen na sondu a až v tuto chvíli bude sonda reagovat.

Dalším krokem v zapojení je připojení LCD displeje. Na Obr. 79 je již upevněný slot na Ramps 1.4, který funguje jako specifický driver. Kabel od displeje ze slotu EXP1 je připojen na příslušný slot na desce, a to stejné s kabelem na EXP2.



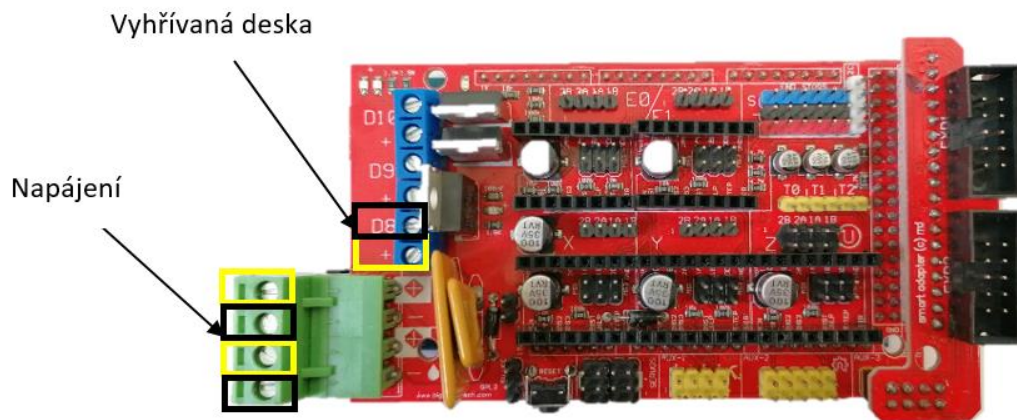
Obr. 79 Zapojení kabeláže pro LCD displej – žlutá driver, černá kabely EXP1 a EXP2

Zapojení termistorů je na místo s označením T0 a T1, kde každý zabere dva piny (Obr. 80). Na termistory se musely dodělat koncovky, jelikož bez nich není možné je na desku napojit.



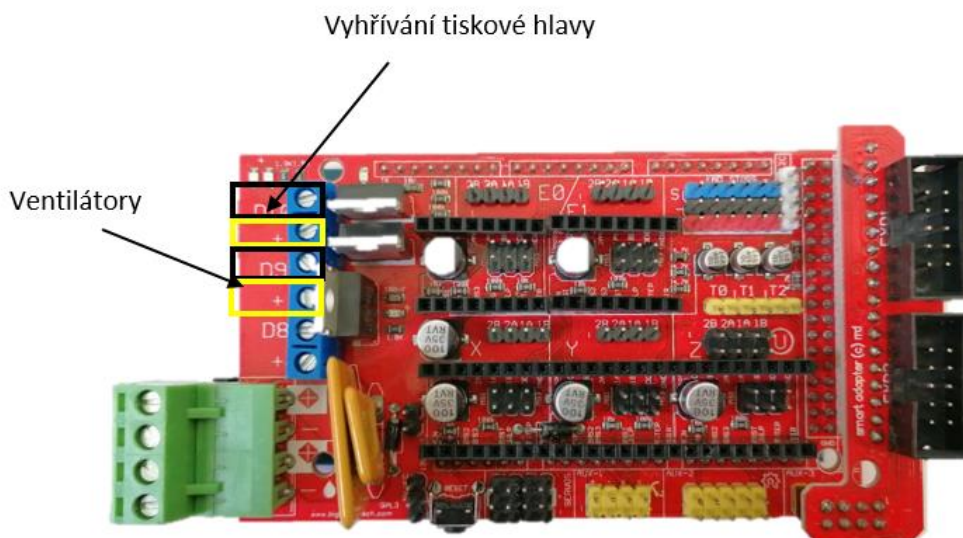
Obr. 80 Zapojení termistorů

Po zapojení termistoru pro vyhřívanou desku je potřeba připojit její napájení. Na Obr. 81 je znázorněno i zapojení napájení tiskárny. Žlutá barva značí „+“ a černá „-“ pro lepší znázornění.



Obr. 81 Zapojení napájení tiskárny a napájení vyhřívané desky

Nyní už chybí jen zapojit ventilátory a vyhřívání tiskové hlavičky. Tisková hlavička jde na D10 a ventilátory jsou připojeny všechny na D9. Žlutá barva na Obr. 82 opět značí „+“ a černá je pro „-“.



Obr. 82 Zapojení ventilátorů a vyhřívání tiskové hlavy

V tuto chvíli je již zapojeno vše potřebné a nyní se lze přesunout ke spuštění tiskárny.

Časová náročnost: 3 hodiny

14 Spuštění tiskárny [31] [32]

Do tiskárny byl nahrán firmware Marlin 2.0.2. Tento firmware je volně stažitelný na internetu z oficiálních stránek výrobce Marlinu. Ovšem aby byl plně kompatibilní s tiskárnou, která je postavena, je nutné si upravit kód.

V první řadě je nutné stáhnout do počítače software Arduino IDE, ve kterém se bude kód přepisovat. Po stáhnutí Marlinu se otevře v IDE a veškeré úpravy se dělají v záložce Configuration.h a popřípadě nějaké další pokročilé úpravy v Configuration_adv.h. Příkaz „#define“ udává, že definujeme daný řádek a ten je realizován programem.

Základní nastavení:

Nejdříve se musí definovat sériové porty, přes které bude probíhat komunikace s tiskárnou.

```
#define SERIAL_PORT 0
```

```
#define SERIAL_PORT -1
```

Po sériovém portu se udává rychlost pro komunikaci s tiskárnou. Základní je 250 000, pokud ale je problém při spojení, tak se udává nižší rychlost 115 200, naopak při komunikaci, kde je SD karta je možné zvýšit rychlost na 1 000 000. Zde ponecháme základní.

```
#define BAUDRATE 250000
```

V programu je i možnost dát tiskárně vlastní jméno, které se zobrazí na displeji při zapnutí.

```
#define CUSTOM_MACHINE_NAME "Bat-Printer"
```

Po předchozích krocích je důležité přesně určit typ základní desky, která je na Arduino připevněná. V tomhle případě je to Ramps 1.4 a záložce firmware board.h je uveden kód pro danou desku. Položka za podtržítkem udává, jaká další elektronika je tam připojena. E = extrudér, F = větrák extrudéru a B = bed (vyhřívaná podložka).


```
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
```

V další sekci se nastavuje extrudér, konkrétně jejich počet. Na této tiskárně je pouze jeden, proto číslo 1.

```
#define EXTRUDERS 1
```

S extrudérem souvisí standartní průměr podávaného filamentu. Obvyklá tloušťka je buď 3 mm v průměru, nebo 1,75 mm. Tato tiskárna používá 1,75 mm.

```
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
```

Termistor:

Důležité je také specifikovat druhy termistoru, jak toho, který je na vyhřívanou podložku, tak i toho, který je přímo v extrudéru. Oba tyto termistory jsou v tomto případě stejné, ale není to pravidlem, jelikož na vyhřívanou desku by stačil termistor s nižším teplotním rozsahem. Termistor, který je zde použit, má ve výběru v Marlinu číslo 11, což stojí pro 100 kΩ 3950 termistor s odchylkou do 1%.

```
#define TEMP_SENSOR_0 11
```

```
#define TEMP_SENSOR_BED 11
```

U termistoru se dále specifikuje minimální teplota a maximální teplota. Pokud je teplota pod minimum, vypne se vyhřívání, protože to obvykle značí prasklé vlákno v termistoru, zde je definováno jak pro vyhřívanou podložku, tak pro extrudér 5 °C. Maximální teplota je taková, kde při přesahu této teploty dojde opět k vypnutí vyhřívání. Zde jsou teploty rozdílné, protože vyhřívaná podložka dosahuje maximálně 130 °C a v případě extrudéru je maximální teplota vymezena na 260 °C.

```
#define HEATER_0_MINTEMP 5
```

```
#define BED_MINTEMP 5
```

```
#define HEATER_0_MAXTEMP 260
```

```
#define BED_MAXTEMP 130
```

Pro stabilní hodnoty a kontrolu jak teploty extrudéru, tak teploty na tiskové desce je vlastní příkaz, kde první je ohledně extrudéru a druhý kontroluje teplotu na desce.

```
#define PIDTEMP
```

```
#define PIDTEMPBED
```

Další ochranou kvůli vysoké teplotě, aby nedošlo ke zničení tiskárny nebo ohni, jsou následující dva příkazy, kde první zahrnuje extrudér a druhý vyhřívanou desku.

```
#define THERMAL_PROTECTION_HOTENDS
```

```
#define THERMAL_PROTECTION_BED
```

Koncové dorazy:

Nyní je nutné definovat koncové spínače, jestli se nachází na osách na maximum nebo minimum. Na této tiskárně jsou nastaveny v částech, kde jsou na minimum. Proto se definují následující příkazy.

```
#define USE_XMIN_PLUG
```

```
#define USE_YMIN_PLUG
```

```
#define USE_ZMIN_PLUG
```

Koncové spínače jsou umístěné a nastavené, ale dokud se reálně nevyzkouší, není možné zjistit, jestli nemají inverzní logiku. Buď nabývají hodnoty „False“ což je běžné, ale pokud by se zjistilo, že jsou podle programu sepnuté, ale na tiskárně nejsou, je nutné přepsat daný koncový spínač na ose na „True“ aby to fungovalo správně. Poslední řádek zde slouží pro 3D Auto leveling sensor, jehož připojení bude popsáno později.

```
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true
```

```
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true
```

```
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true
```

```
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING true
```

Krokové motory [30]:

Pro další zadávání je potřeba mít spočítané kroky pro motor Nema17, extruder, osy X a Y s řemeny a řemenicemi a pro osu Z s motory s trapézovou tyčí.

Extrudér:

Rovnice 1. Vzorec pro extrudér

$$E0 = \frac{\text{Počet kroků motoru na otočku} * \text{počet kroků driveru}}{\text{efektivní průměr kolečka přes zuby} * \pi}$$

Motor: 1.8° (200 kroků na otočku)

Podávací kolečko má efektivní průměr přes zuby: 11 mm

Driver: 16 mikrokroků

$$E0 = \frac{200 * 16}{11 * \pi} = 92,59$$

Osy X a Y:

Rovnice 2. Vzorec pro osy X a Y

$$X, Y = \frac{\frac{\text{Počet kroků motoru na otočku} * \text{počet kroků driveru}}{\text{Počet zubů řemenice}}}{\text{rozteč zubů řemenice}}$$

Motor: 1.8° (200 kroků na otočku)

Driver: 16 mikrokroků

Řemenice: 16 zubů

Rozteč zubů: 2 mm

$$X, Y = \frac{\frac{200 * 16}{16}}{2} = 100$$

Osa Z:

Rovnice 3. Vzorec pro osu Z

$$Z = \frac{\text{Počet kroků motoru na otočku} * \text{počet kroků driveru}}{\text{výška závitu na otočku}}$$

Motor: 1,8° (200 kroků na otočku)

Driver: 16 mikrokroků

Závitová tyč: 8 mm (rozteč mezi závity 2 mm)

$$Z = \frac{200 * 16}{2} = 1600$$

Po výpočtech se výsledné hodnoty zanesou do kódu v Marlinu, kde pořadí hodnot v závorce je následující: X, Y, Z, E0.

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 100, 100, 1600, 92.59 }
```

LCD displej a SD karta:

K dokončení základního nastavení je ještě potřeba udělat pár změn ohledně LCD displeje. V tomto případě nastavit jazyk na češtinu, a jelikož displej disponuje slotem pro SD kartu, je nutné ji také přidat do konfigurace. Český jazyk je zde pod zkratkou cz, která je nadefinovaná v cz.h.

```
#define LCD_LANGUAGE cz
```

Dále vybrat typ displeje, kterým je tiskárna vybavena.

```
#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER
```

Pro SD kartu je potřeba přidat následující příkazy. První příkaz povolí načítání SD karty a druhý je pro komunikaci s SD kartou.

```
#define SDSUPPORT
```

```
#define SD_CHECK_AND_RETRY
```

3D Auto Leveling Sensor [38]:

Předposlední úpravou ve firmawe je povolení 3D leveling sensoru (BL Touch). Za normálních okolností by na tiskárně byl klasický koncový doraz, ale zde je jiný systém, takže se to musí zanést do Marlinu, aby byl možný hladký průběh a kalibrace.

Nejprve je nutné povolit BL Touch, což je pouze jinak nazvaný 3D Touch sensor na téhle tiskárně.

```
#define BLTOUCH
```

Pak zkontrolovat, že nastavení Z endstopu a Z sondy mají stejnou hodnotu.

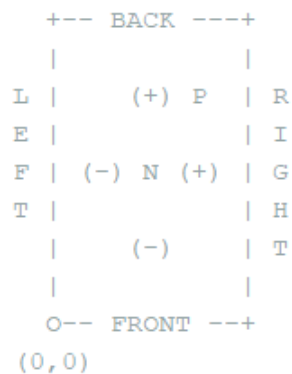
```
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true
```

```
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING true
```

Aby místo koncového dorazu byla používána sonda, musí se povolit následující příkaz. Sonda bude tak využívat piny původně určené pro koncový doraz na ose Z.

```
#define Z_MIN_PROBE_USES_Z_MIN_ENDSTOP_PIN
```

V dalším kroku definujeme, v jaké poloze se nachází sonda oproti tiskové trysce.



Obr. 83 Určení hodnot pro sondu [32]

Po dodržení postupu na Obr. 83 se sonda nachází vůči trysce v poloze + 3 mm vpravo a – 36 mm dopředu. V ose Z je oproti trysce o 1 mm vyvýšena.

```
#define NOZZLE_TO_PROBE_OFFSET { 4, - 38, 1 }
```

Aby se zabezpečilo, že při zjišťování krajních poloh při kalibraci sonda nebude ťukat na místo, kde by se mohl nacházet roh skla, na kterém se tiskne nebo tam bude klip, který bude držet sklo, nastaví se hodnota od hrany desky, kde má sonda oťukávat pozici.

```
#define MIN_PROBE_EDGE 10
```

Aby sonda mohla zajišťovat i funkci, kde kalibruje a zjišťuje vyrovnanost tiskové desky, musí se tato funkce povolit.

```
#define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
```

Při kalibraci dojde ke zkoušení několika bodů na podložce. Je nutné definovat, kolik bodů má na každé ose sonda odzkoušet. V tomto případě to budou tři body, po jednom na krajích a poslední mezi krajními body.

```
#define GRID_MAX_POINTS_X 3
```

Pro kalibraci je nutné, aby sonda věděla, kde má začít, aby nedošlo k natlačení hlavičky extrudéru až na hodnoty, kde by se mohlo něco poškodit.

```
#define Z_SAFE_HOMING
```

Poslední úpravou je pouze změření reálného tiskového prostoru. Posouvání do nejzazších poloh, kam se dostane extrudér jak na tiskové ploše, tak i do výšky. Kvůli ochraně kabeláže před poničením se tak z původní výšky osy Z 200 mm stalo pouze 175 mm. Po ose X posouváním extrudéru zprava doleva se nic nemění, tam může zůstat původní rozměr, ale kvůli sondě se pro jistotu zmenšil na 195 mm. Ovšem kvůli specifikaci pojezdové desky není možné využít tiskovou plochu v ose Y až do maximální hodnoty 215 mm, došlo zde ke zmenšení na 150 mm. Ovšem i po zmenšení dvou rozměrů, je pořád možné využít dosti velkého tiskového prostoru. K upřesnění těchto hodnot došlo až ve chvíli, kdy se firmware nahrál, a odzkoušelo se, kam až může posun být, než dorazí na konec a zmáčkne koncoví spínač.

Definice rozměrů tiskové podložky je na prvních dvou řádcích kódu a maximální výšku ukazuje třetí řádek.

```
#define X_BED_SIZE 195
```

```
#define Y_BED_SIZE 150
```

```
#define Z_MAX_POS 175
```

Po upravení veškerých výše zmíněných řádků se musí Marlin zkompilovat a nahrát přes USB do Arduina. Je nutné v nastavené IDE vybrat desku ArduinoMega 2560 a vybrat, na jaký USB výstup je deska připojena. Pak již stačí firmware nahrát a tisknout.

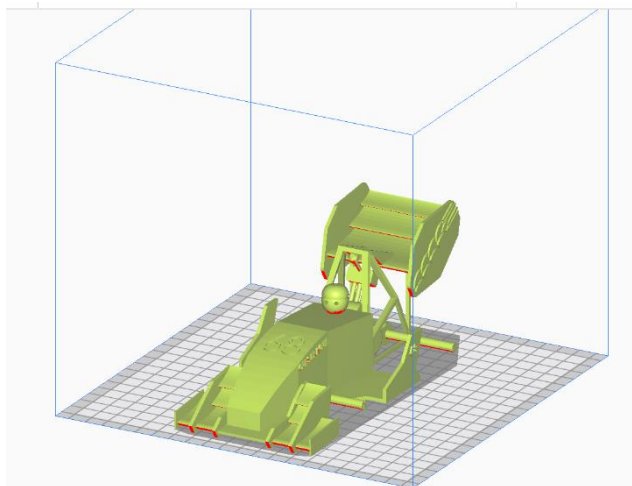
Časová náročnost: 12 hodin.

15 Tisk „krok za krokem“ [1]

Je to proces, kdy se z nápadu, stane plnohodnotný plastový barevný výtvar na ploše 3D tiskárny.

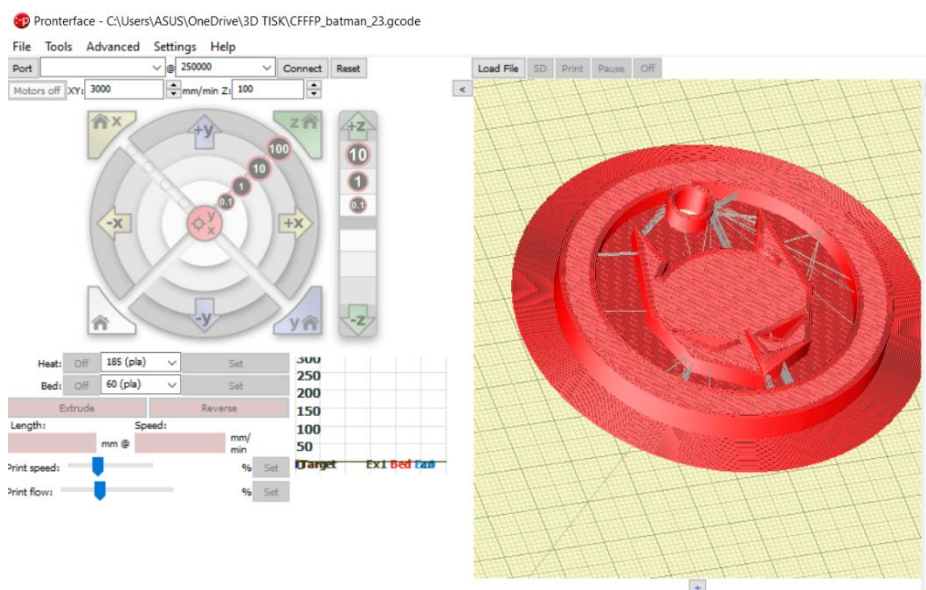
1. Na začátku je nutné vytvořit digitální 3D model dle představy uživatele, který se dále bude tisknout.
2. Druhým krokem je převod digitálního modelu do formátu, se kterým programy na úpravu před tiskem zvládnou pracovat a generovat g-code. Nejčastěji je to „STL“. Musí zde být zahrnuty všechny geometrické podklady a součásti, nic se nesmí vynechat. Model na tisknutí může být sestava více součástí, ale při převodu do STL souboru se z nich vytvoří jedna součást.
 - 2.1. Předchozí dva kroky se ovšem dají i snadno obejít, a to stáhnutím již vytvořeného modelu. Ovšem ne každý model je připraven tak, aby se dal ihned vytisknout. Často jsou modely jen vytvořeny dle specifikací a potřeb na konečný výrobek, ale už nejsou upraveny přímo pro tisk.
 - 2.2. V dalším kroku tedy přichází na řadu opravení chyb, které zamezují samotnému tisku. Obvykle dojde k rozdělení modelu na tisk, pokud se nevejde na tiskovou plochu nebo otočení součástí, či zvětšení extra úzkých částí, u kterých by hrozilo zlomení při tisku.

3. Třetím krokem je převedení tří dimensionálního modelu na seznam příkazů, které tiskárna dokáže zpracovat a vykonat. Obvykle má příponu g-code, což je přípona přímo určená pro tiskárny. Pro převedení STL modelu do g-code je použit software Ultimaker Cura 4.4. V tomto programu se nastaví typ materiálu, tloušťka vrstev, podpory, výplň materiálu a další uživatelské parametry.



Obr. 84 Model CULS mini formule v programu Ultimaker Cura 4.4

4. Ve čtvrtém kroku se vytvořený g-code musí předat tiskárně. Některá zařízení se připojí přes USB k počítači, do dalších se dá vložit SD karta a nejnovější je přenos souborů přes Wi-Fi. Na tuto tiskárnu jde předat kód jak způsobem přes SD kartu, tak přes USB port. Pro kontrolu nastavení tiskárny a nahrání modelu se používá program Pronterface (Obr. 85), který podá informace o stavu tiskárny, udělá dodatečně nastavení a spáruje se s tiskárnou.

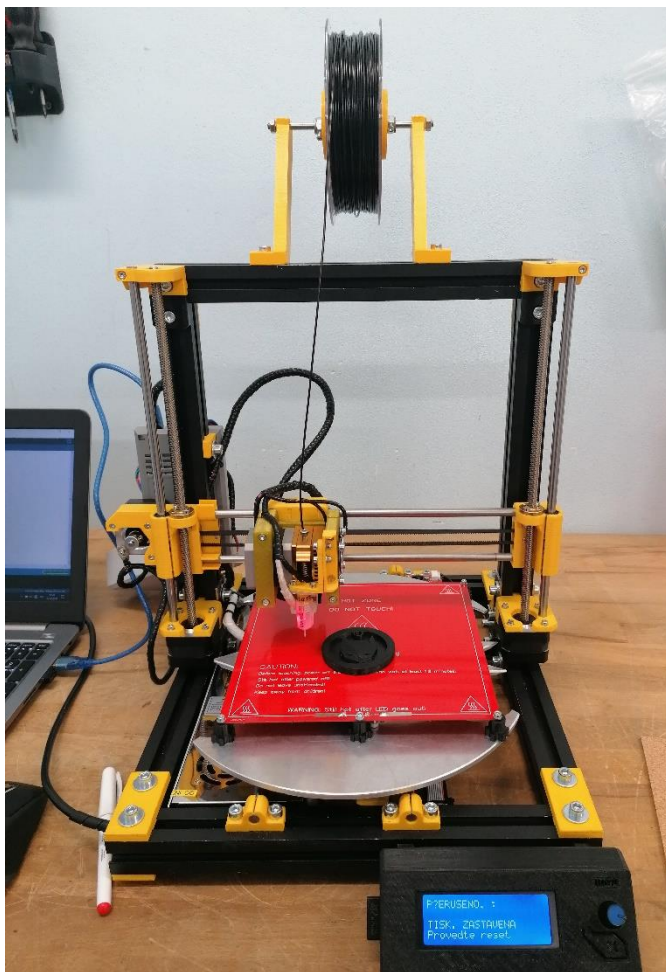


Obr. 85 Model Batman v programu Pronterface

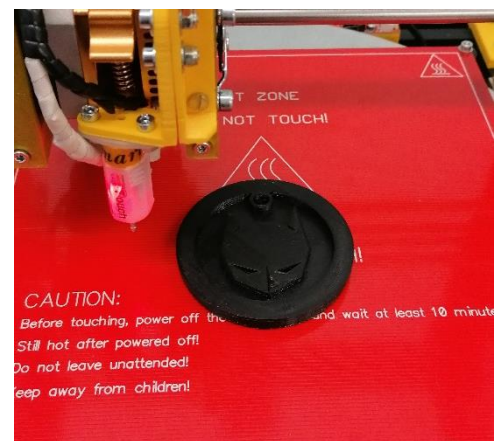
5. Pátým krokem je nutnost připravit tiskárnu k tisku. Začíná se kalibrací osy Z a následně dochází k očištění a přehřátí trysky a podložky na danou teplotu dle materiálu. Teploty byly specifikované v Ultimaker Cura, nebo ve Pronterface a tudíž není nutné je manuálně nastavovat. Kalibrace se provádí automaticky před začátkem tisku.
6. V šestém kroku se již začíná tisknout. Na první vrstvě je v případě nutnosti třeba ideálně doladit výšku trysky a odstranit přebytečně vytisknutý materiál.

Pak už jen zbývá nechat tisk běžet a průběžně kontrolovat, zda je tisk plynulý, vrstvy na sebe dosedají, nebo zda nedochází k posunutí vrstev či úplnému vynechání.

Na Obr. 87 je vytištěný model Batmana na této tiskárně. Výtisk je z PLA a byl tisknut s vyhříváním extrudéru na 205 °C a vyhříváním tiskové podložky na 60 °C. Pro tento model nejsou nutné žádné podpory. Výplň modelu je na 85 % a čas tisku byl 35 minut.



Obr. 86 Tiskárna po provedení tisku



Obr. 87 Detail modelu Batman

16 Ekonomicko-technické zhodnocení

Ceny 3D tiskáren, tisknoucí plast, se pohybují přibližně od 3 000 Kč až po stovky tisíc. Ze začátku byla myšlenka pokusit se tiskárnu sestavit co nejlevněji, ale postupně se ukázalo, že realizace nebude snadná. Po dohodě se sponzorem ELI-PRO s.r.o. došlo k navýšení sumy pro nákup dílů, aby nebyla funkčnost výsledku ohrožena snahou využívat co nejnižší náklady.

Celková cena činila 3 059 Kč za materiál na mechanickou část a 7 929 Kč za elektroniku. Stavba 3D tiskárny dle vlastních požadavků vyjde na 10 988 Kč.

V této fázi je na vlastním uvážení, zda si koupit sestavenou 3D tiskárnu nebo sestavit vlastní.

Tato tiskárna byla postavena z dílů, které jsou výhradně z české distribuce. Doba je ale taková, že většina lidí nakupuje v zahraničí. V následující tabulce (Tab. 1) je porovnání, nakoupených dílů, pokud by se kupovaly z Aliexpressu, Amazonu či jiných zahraničních firem.

Cena byla přepočítána s kurzem 1 dolar = 24,57 Kč a veškeré položky byly nalezeny na Aliexpress.com.

Tab. 1 Porovnání cen

Položka	Množství	Cena z ČR (Kč)	Cena z Číny (Kč)
Duralové profily HS30	7 ks	620	278,62 [59]
Pojezdové tyče 8 mm	6 ks	746	380,34 [44]
Řemenice GT2	2 ks	144	58,97 [41]
Řemenice GT2 s ložiskem	2 ks	158	35,14 [42]
Řemen GT2	2 m	178	45,21 [40]
Ložiska LM8UU	14 ks	504	16,95 [43]
Nerezová T spojka	4 ks	140	59,21 [39]
Korková podložka	1 ks	69	12,53 [45]
Duralová deska	1 ks	500	325,55 [46]
Arduino Mega 2560	1 ks	761	143,73 [47]

RAMPS 1.4	1 ks	325	78,13 [48]
LCD displej	1 ks	612	170,27 [49]
Motor driver A4988	5 ks	321	71,25 [50]
Vyhřívaná podložka	1 ks	507	175,92 [51]
Termistorové čidlo	1 ks	39	28,59 [52]
Koncový doraz	2 ks	136	17,20 [53]
Extrudér Makerbot MK8	1 ks	1099	389,43 [54]
Krokový motor Nemá 17	2 ks	698	487,96 [55]
Krokový motor Nemá 17 s trapézovou tyčí	2 ks	2052	656,51 [56]
Zdroj 350 W - 12V	1 ks	880	395,33 [57]
3D Touch	1 ks	499	468,80 [58]
Celkem		10 988 Kč	4 295,69 Kč

Výsledkem je, že pokud je ze zahraničí přivezeno zboží, které má stejnou kvalitu jako zboží nakoupené v České republice, vyplatí se nakoupit zboží nebo celou 3D tiskárnu tam. Zboží bylo zakoupeno v ČR převážně kvůli rychlé dodací lhůtě, kvalitě výrobků, spolehlivosti dodávky zboží a možnosti uplatnění reklamace.

17 Závěr

Stavba 3D tiskárny není rozhodně snadná záležitost. Nejdříve je nutné si naplánovat, celý výsledný produkt, ujasnit svá očekávání a zhodnotit vlastní schopnosti konstruktéra. Nakoupení materiálu je první krok, ale mnohem náročnější je to vlastní stavba, jelikož u jednotlivých dílů není zaručena úplná kompatibilita a je nutné díly často upravovat.

Nejsložitější je ovšem celou tiskárnu uvést do provozu. Ve firmware je potřeba upravit hodně informací a návodů není hodně. Základem je naučit se základy programování v C++, aby byly jasné alespoň základní příkazy a jakým způsobem Firmware upravovat. Pak se musí změřit velké množství vzdáleností nebo přepočítat a hodnoty zanešt. Tyto veškeré informace bylo možné nalézt jen na oficiálním návodu od Marlin a na YouTube, což je činnost velice časově náročná a pro znalost nastavení jednotlivých parametrů nevyhnutelná. Velice obtížnou úlohou je také nastavení 3D Touch auto leveling sensoru.

Po nahrání se již z tiskárny dá úspěšně tisknout, pomocí použití staženého modelu upraveného v Cura programu.

Časová náročnost stavby a spuštění byla 55 hodin čistého času, přičemž zde není zahrnuta doba přípravy před nákupem materiálu. Plánování stavby a nákupu by přidalo přibližně dalších 30 hodin čistého času a správné doladění první vrstvy 18 hodin.

Závěr je takový, že tiskárna funguje, ale nevyplatí se ji stavět, pokud se nakupuje na českém trhu po jednotlivých dílech. Levnější je koupit ku příkladu Ender 3 za 5 500 Kč a dle tiskařské skupiny je velmi dobře funkční. Tím ale neodrazuji od toho si vlastní tiskárnu postavit, pouze z ekonomického hlediska existují výhodnější alternativy. Vlastní tiskárna je každopádně z estetického hlediska velmi pěkná, originální, a především plně funkční.

18 Zdroje

- [1] MEISNEROVÁ, Nikola. Výroba plastových součástí metodou 3D tisku. Praha, 2018. 56 s. bakalářská práce. České zemědělská univerzita, Technická fakulta. Vedoucí práce profesor Ing. Milan Brožek, CSc.
- [2] Základní deska Rambo 1.2g pro ovládání 3D tiskárny. *Vše pro 3D tisk - eshop* [online]. [cit. 24. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/zakladni-deska-rambo-3d-tisk>
- [3] Raspberry Pi 3 Model B 64-bit 1GB RAM - RPishop.cz. *RPishop.cz* [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <http://rpishop.cz/raspberry-pi-3b/283-raspberry-pi-3-model-b-64-bit.html>
- [4] RASPBERRY Pi 3 Model B - Mini počítač *Alza.cz* [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/raspberry-pi-3-d4078690.htm>
- [5] Mks-base v1.4 3d ovládací panel tiskárny kompatibilní rampy na základní desce 1.4 Prodej - Banggood.com. *Online Shopping for Cool Gadgets, RC Quadcopter, 3D Printer at Banggood* [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: https://www.banggood.com/cs/MKS-BASE-V1_4-3D-Printer-Control-Motherboard-Compatible-Ramps1_4-p-951135.html?gmcCountry=CZ&cy=CZK&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_elc&utm_content=zouzou&utm_campaign=pla-cz-ele-cs-pc&gclid=CjwKCAiAiarfBRASEiwAw1tYv2cP6iU0moW89Y7HsVfcrOXmNewW9dk6T88-UCq2x3dI5OTAYZ8KfRoCaGcQAvD_BwE&cur_warehouse=CN
- [6] Základní deska Arduino Mega 2560. *Arduino návody*. [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <https://arduinoshop.cz/docs/produkty/0/23/1423598706.pdf>
- [7] Shieldy – EasyDuino – Moduly pro Arduino, Raspberry Pi, vývojové desky. *EasyDuino - Moduly pro Arduino* [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.easyduino.cz/RAMPS-1-4-RepRap-Arduino-Shield-Prusa-3D-d324.htm>
- [8] Motor driver A4988. *Arduino-shop.cz* [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1133-motor-driver-a4988-pro-reprap-3d-tiskarny-1449880500.html>
- [9] LCD displej a ovladač pro 3D tiskárny. *Arduino-shop.cz* [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1326-12864-lcd-displej-a-ovladac-pro-3d-tiskarny-ovladac-ramps-1-4-reprap-mendel-1466284299.html>

- [10] Vyhřívaná podložka MK3. *Clexpert.cz: Computer Laboratory* [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.clexpert.cz/3dtisk/soucasti/vyhrivana-podlozka-mk3>
- [11] Termistorové teplotní čidlo pro 3d tiskárny. *Arduino-shop.cz* [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1118-termistorove-teplotni-cidlo-pro-3d-tiskarny-1500635961.html>
- [12] Arduino koncový doraz / spínač. *Arduino návody*. [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/arduino-koncovy-doraz-spinac.html>
- [13] Autolevel senzor Geetech 3d touch. *Levné 3D tiskárny*. [online]. [cit. 28. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.levne3dtiskarny.cz/elektro/28-autolevel-senzor-geetech-3d-touch.html>
- [14] Extruder MakerBot MK8. *jPrint3D - jPRINT3D* [online]. [cit. 28.10.2018]. Dostupné z: <http://www.jprint3d.cz/e-shop/dily-reprap-prusa-i3/extruder-makerbot-mk8-reprap-12v-kompletni?zobrazit-zbozi=271>
- [15] Krokový motor s přírubou nemá 17. *jPrint3D - jPRINT3D* [online]. [cit. 28.10.2018]. <http://www.jprint3d.cz/e-shop/dily-reprap/krokovy-motor-s-prirubou-nema17-0-44nm-typ-a>
- [16] Průmyslový zdroj 350W pro 3D tiskárny. *Vše pro 3D tisk - eshop* [online]. [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné z: <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/zdroj-350w-12v>
- [17] Eloxování - Povrchové úpravy kovů. *Bomex* [online]. [cit. 18. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.bomex.cz/technologie/eloxovani>
- [18] Sada profilů Rebel II. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. [cit. 18. 10. 2018]. Dostupné z: [https://www.materialpro3d.cz/nahradni-dily-pro-3d-tiskarny/sada-profilu-rebel-ii-elox--7ks-/](https://www.materialpro3d.cz/nahradni-dily-pro-3d-tiskarny/sada-profilu-rebel-ii-elox--7ks/)
- [19] Sada kalených pojezdových tyčí. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. [cit. 18. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/nahradni-dily-pro-3d-tiskarny/sada-kalenyh-pojezdovych-tyci--6ks/>
- [20] Řemenice GT2 16 zubů - *Materialpro3d.cz. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. [cit. 18. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/nahradni-dily-pro-3d-tiskarny/remenice-gt2/>

- [21] Řemenice GT2 - rozteč 2mm - 16 zubů. *Vše pro 3D tisk - eshop* [online]. Copyright © 2016 [cit. 18. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/remenice-gt2-s-loziskem-16-zubu>
- [22] Řemen GT2 pro 3D tiskárny RepRap, 1m x 6mm, otevřený. *jPrint3D - jPRINT3D* [online]. [cit. 18. 10. 2019]. Dostupné z: <http://www.jprint3d.cz/e-shop/dily-reprap/remen-gt2-pro-3d-tiskarny-reprap-1m-x-6mm-otevreny?zobrazit-zbozi=158>
- [23] Lineární ložisko LM8UU - MTM - Materialpro3d.cz. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. [cit. 18. 10. 2018]. Dostupné z: https://www.materialpro3d.cz/nahradni-dily-pro-3d-tiskarny/linearni-lozisko-lm8uu-mtm/?gclid=Cj0KCQjwgOzdBRDIARIsAJ6_HNmENBPblQs_b0nDH_wlgM7b52e03FqJrjd62LczwtmGztSghBWFw0EaAikDEALw_wcB
- [24] Nerezová T spojka profilu HS 30. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. [cit. 18. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/prislusenstvi/nerezova-t-spojka-profilu-hs-30/>
- [25] Korková podložka. *jPrint3D - jPRINT3D* [online]. [cit. 18. 10. 2018]. Dostupné z: <http://www.jprint3d.cz/e-shop/dily-reprap-prusa-i3/korkova-podlozka-izolace-vyhrivane-desky-21x21cm?zobrazit-zbozi=232>
- [26] Acrylic Prusa I3 build instruction(8mm) - Geeetech Wiki. *geeetech 3d printers onlinestore* [online]. [cit. 31. 01. 2020] Dostupné z: [https://www.geeetech.com/wiki/index.php/Acrylic_Prusa_I3_build_instruction\(8mm\)](https://www.geeetech.com/wiki/index.php/Acrylic_Prusa_I3_build_instruction(8mm))
- [27] 3D tiskárna ovládaná. *Arduino návody* [online]. [cit. 31. 01. 2020] Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/arduino-projekty/3d-tiskarna-ovladana-arduinem.html>
- [28] Arduino CNC Shield + driver A4988 + motor 28BYJ-48. *Arduino návody* [online]. [cit. 31. 01. 2020] Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/arduino-cnc-shield-driver-a4988-motor-28byj-48.html>
- [29] GEEETECH. 3DTouch Auto Leveling Sensor Uživatelská příručka. *Levné 3D tiskárny* [online]. [cit. 31. 01. 2020] Dostupné z: www.levne3dtiskarny.cz
- [30] Výpočet krokování a úprava firmware. *Vše pro 3D tisk - eshop* [online]. [cit. 18. 02. 2020]. Dostupné z: <https://www.vsepro3dtisk.cz/s/vypocet-krokovani>
- [31] [2016 version] How to set up the Marlin firmware! - YouTube. *YouTube* [online]. [cit. 11. 02. 2020] Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=3gwWVFtdg-4>

- [32] Configuring Marlin. *Marlin Firmware* [online]. [cit. 11. 02. 2020]. Dostupné z: <https://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html>
- [33] Fused Deposition Modeling (FDM). *Kyle Stetz Rapid Prototyping Study*. [online]. [cit. 18. 10. 2019]. Dostupné z: <https://kylestetzerp.wordpress.com/2009/05/20/fused-deposition-modeling-fdm/>
- [34] RepRap Ramps 1.4. *LaskaArduino.cz* [online]. Dostupné z: [zdroj: https://laskarduino.cz/3d-tisk-cnc-stroje/230349-reprap-ramps-14-pro-3d-tiskarny-cnc.html?gclid=CjwKCAiAodTfBRBEEiwAa1hauscuFzEpKBZSnx4A4JINMPZ5fnh81zn2BdT7VqD8GgeI5vCQKPIUQhoCITwQAvD_BwE](https://laskarduino.cz/3d-tisk-cnc-stroje/230349-reprap-ramps-14-pro-3d-tiskarny-cnc.html?gclid=CjwKCAiAodTfBRBEEiwAa1hauscuFzEpKBZSnx4A4JINMPZ5fnh81zn2BdT7VqD8GgeI5vCQKPIUQhoCITwQAvD_BwE)
- [35] 3D touch autolevel senzor, snímač podložky. *Postav robota* [online]. [cit. 11. 02. 2020]. Dostupné z: [zdroj: https://www.postavrobota.cz/3D-touch-autolevel-senzor-snimac-podlozky-d1618.htm](https://www.postavrobota.cz/3D-touch-autolevel-senzor-snimac-podlozky-d1618.htm)
- [36] Profil HS 3030 *TN Web | Osobní stránky* [online]. [cit. 18. 10. 2019]. Dostupné z: http://tnweb.tode.cz/wp-content/uploads/2013/12/IMG_1998.jpg
- [37] Reprap Prusa i3 3D Extrudér. *AliExpres* [online]. [cit. 18. 10. 2019]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/Reprap-Prusa-i3-3D-printer-metal-carriage-1-75-mm-all-metal-direct-drive-Extruder-hotend/32596733183.html>
- [38] Chris's Basement Auto Bed Leveling - Marlin 2.0 - How To - 2019 - YouTube. *YouTube* [online]. [cit. 23. 02. 2020] Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=iwhbeD2AduA>

Zdroje Tabulka 1.

- [39] T Type 3030 Connection Plate Corner Bracket Joint Board For Aluminium Profiles. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/4000738292434.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.767a4937Wf0uSv&algo_pvid=c911c23b-fe4c-4236-ba41-7dbb909c84cf&algo_expid=c911c23b-fe4c-4236-ba41-7dbb909c84cf-40&btsid=0be3746c15859468040245207e93cd&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [40] 1 m GT2 6 mm open timing belt. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32918948939.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4cf16130fph8JV&algo_pvid=7b3c0c71-7505-4644-a6ad-ed58d25c6821&algo_expid=7b3c0c71-7505-4644-a6ad-ed58d25c6821-0&btsid=0be3746c15859475198004814e9709&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [41] 1Pcs GT2 Pulley 16 tooth For 2GT belt Width 6mm. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z:

https://www.aliexpress.com/item/32724156349.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4cf16130fph8JV&algo_pvid=7b3c0c71-7505-4644-a6ad-ed58d25c6821&algo_expid=7b3c0c71-7505-4644-a6ad-ed58d25c6821-5&btsid=0be3746c15859475198004814e9709&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603

- [42] GT2 Pulley 16 Without Teeth Pulley For 2GT belt Width 6MM. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32512894329.html?spm=a2g0o.detail.1000060.1.3125462038mVxP&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.146401.0&scm_id=1007.13339.146401.0&scm-url=1007.13339.146401.0&pvid=5070e64b-f6bb-4e43-ac40-d6166a753043
- [43] 3D Printer parts LM8UU Linear Bushing 8mm. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32969924715.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.7f161ee6bHMgSU&algo_pvid=26585cf0-75fc-4f0c-b62d-c4875027ec0c&algo_expid=26585cf0-75fc-4f0c-b62d-c4875027ec0c-1&btsid=0be3746c15859479262186789e9714&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603
- [44] 2pcs 8mm 400mm linear shaft. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32332798910.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.28ee2987qkLKDB&algo_pvid=713a93c1-71f2-4657-a100-8cec8caee6bf&algo_expid=713a93c1-71f2-4657-a100-8cec8caee6bf-2&btsid=0be3764315859480573864297ec74f&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603
- [45] Cork Board 30*30cm. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32655409344.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.273a7196Yb38Su&algo_pvid=f498a192-bec5-4bae-a7d6-3618da0e893e&algo_expid=f498a192-bec5-4bae-a7d6-3618da0e893e-6&btsid=0ab6f83915859481649178830e52b3&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603
- [46] SWMAKER Anet A8 E10 Y Carriage plate Anet. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32816360060.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1dda3729WbCtJW&algo_pvid=1e3609b6-abfe-44ae-88ba-5c78ef39fadc&algo_expid=1e3609b6-abfe-44ae-88ba-5c78ef39fadc-8&btsid=0be3769015859482980737768e65d8&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603
- [47] MEGA2560 (ATmega2560 16AU CH340G. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/33061242752.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.40d83368y4pZHg&algo_pvid=439bf793-b7cd-4b3e-a835-190aef8ff16d&algo_expid=439bf793-b7cd-4b3e-a835-190aef8ff16d-

[12&btsid=0be3743615859484145116647e267c&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603](https://www.aliexpress.com/item/32966339174.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.546d75eclArFsg&algo_pvid=90976fdb-b26e-4a01-9dcc-b72569329a17&algo_expid=90976fdb-b26e-4a01-9dcc-b72569329a17-7&btsid=0ab6d69f15859485574073783e5c4d&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603)

- [48] Ramps 1.4 Expansion Control Panel. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32966339174.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.546d75eclArFsg&algo_pvid=90976fdb-b26e-4a01-9dcc-b72569329a17&algo_expid=90976fdb-b26e-4a01-9dcc-b72569329a17-7&btsid=0ab6d69f15859485574073783e5c4d&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [49] 1pc LCD 12864 Ramps Smart Parts. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32972727188.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.546d75eclArFsg&algo_pvid=90976fdb-b26e-4a01-9dcc-b72569329a17&algo_expid=90976fdb-b26e-4a01-9dcc-b72569329a17-8&btsid=0ab6d69f15859485574073783e5c4d&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [50] CNC 3D Printer Parts Accessory Reprap pololu A4988 Stepper Motor Driver Module with Heatsink for ramps 1.4. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32970930594.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3f2751f9CJizis&algo_pvid=0195236f-2155-4765-ab1e-d54c39c3f16d&algo_expid=0195236f-2155-4765-ab1e-d54c39c3f16d-28&btsid=0ab6d69f15859487267303502e5c8b&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [51] MK2B Heated Bed. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32812903861.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.425e1dccegW3oN&algo_pvid=a1483814-a0cf-4e17-8507-4a9e71c12efa&algo_expid=a1483814-a0cf-4e17-8507-4a9e71c12efa-1&btsid=0ab6f83915859488163747795e5263&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [52] 1PC NTC100K Thermistor. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32815976427.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.7f4a4398RoOC5N&algo_pvid=71600cb7-b707-4684-b5c7-534296c9a68c&algo_expid=71600cb7-b707-4684-b5c7-534296c9a68c-41&btsid=0ab6fab215859489414142431e9475&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [53] 6pcs Endstop Limit Mechanical End Stop Switch. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32850046786.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.73435a9cFaRUuq&algo_pvid=cc9c95ba-25e7-46b4-be9e-71ecd63d381&algo_expid=cc9c95ba-25e7-46b4-be9e-71ecd63d381-39&btsid=0ab6f82c15859490841977285ef2c4&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603

- [54] Assembled Mk8 Extruder 0.4 mm Print Nozzle. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z:
https://www.aliexpress.com/item/32966492803.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.55817089B1luhL&algo_pvid=010a13f5-52a9-41a7-8b85-316a9c0b3878&algo_expid=010a13f5-52a9-41a7-8b85-316a9c0b3878-32&btsid=0ab50f6115859492321683984e94c7&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [55] Nema 17 Stepper Motor. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z:
https://www.aliexpress.com/item/32860313391.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.5b686ac6FVHsM7&algo_pvid=d069c00f-2a8c-403a-b5fc-68a0e4dd3c34&algo_expid=d069c00f-2a8c-403a-b5fc-68a0e4dd3c34-8&btsid=0ab6fb8315859494382576237e4d46&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [56] Nema17 stepper motor with T8 screw lead 8mm. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z:
https://www.aliexpress.com/item/32845471508.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6e6f6df0LZ5CVO&algo_pvid=f371bf9e-94c5-433d-8390-134039182385&algo_expid=f371bf9e-94c5-433d-8390-134039182385-4&btsid=0be3743615859495888715982e24b2&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [57] MW 350 W switching power supply 12 V. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z:
https://www.aliexpress.com/item/4000110838362.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.41bc6008cjlfan&algo_pvid=ca2a64c5-5183-4d09-9366-f1dff704ca42&algo_expid=ca2a64c5-5183-4d09-9366-f1dff704ca42-25&btsid=0ab50f4415859496839165091edc77&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [58] 3D TOUCH sensor Auto BED Leveling Sensor. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z:
https://www.aliexpress.com/item/32996646166.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.59ee6a82u6vBuX&algo_pvid=1348bd54-4c82-4004-a80e-ee5505a80e10&algo_expid=1348bd54-4c82-4004-a80e-ee5505a80e10-14&btsid=0ab6d59515859497959837318ec987&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603
- [59] 3030 Silvery Al profiles, 8 pcs. *AliExpress*. [online]. [cit. 28. 03. 2020]. Dostupné z:
https://www.aliexpress.com/item/32892398211.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.14262691D9dwVY&algo_pvid=6ed4c2bc-6957-44d7-99d1-9356b81244c9&algo_expid=6ed4c2bc-6957-44d7-99d1-9356b81244c9-21&btsid=0ab6fb8815859499277146867e271d&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_.,searchweb201603

19 Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Popis extrudéru.....	8
Obr. 2 FDM metoda.....	11
Obr. 3 Arduino Mega2560.....	14
Obr. 4 RAMPS 1.4.....	15
Obr. 5 Motor driver.....	16
Obr. 6 LCD displej.....	16
Obr. 7 Vyhřívaná podložka.....	17
Obr. 8 Arduino koncový doraz.....	18
Obr. 9 3D Touch.....	18
Obr. 10 Extrudér MakerBot MK8.....	19
Obr. 11 Krokový motor Nema 17.....	20
Obr. 12 Trapézová tyč s maticí.....	20
Obr. 13 Duralový profil.....	21
Obr. 14 Pojezdové tyče 8 mm.....	21
Obr. 15 Řemenice GT2 16 zubů.....	22
Obr. 16 Řemenice GT2 s ložiskem.....	22
Obr. 17 Ložisko LM8UU.....	23
Obr. 18 Nerezová „T“ spojka.....	23
Obr. 19 Hliníková deska s vyhřívanou podložkou.....	24
Obr. 20 Úprava otvoru na šroub.....	25
Obr. 21 Zákaldna ve 3D.....	28
Obr. 22 Vazba rohu – Autor: David Trcka.....	29
Obr. 23 Držák motoru (1) – Autor: David Trcka.....	29
Obr. 24 Držák motoru (2) – Autor: David Trcka.....	29
Obr. 25 Držák řemenice (1) – Autor: Rebel RepRap.....	29

Obr. 26 Držák řemenice (2) – Autor: Rebel RepRap.....	29
Obr. 27 Uchycení tyče – Autor: Rebel RepRap.....	30
Obr. 28 Sestavená základna.....	31
Obr. 29 Rám ve 3D.....	32
Obr. 30 Uchycení motoru horní levé Autor: David Trcka.....	33
Obr. 31 Uchycení motoru horní pravé Autor: David Trcka.....	33
Obr. 32 Uchycení motoru spodní pravé Autor: David Trcka.....	33
Obr. 33 Uchycení motoru spodní levé Autor: David Trcka.....	33
Obr. 34 Spojení profilů – Autor: David Trcka.....	33
Obr. 35 Vazba rohu – Autor: David Trcka.....	34
Obr. 36 Spojení základny s rámem.....	35
Obr. 37 Pojezdová deska 3D.....	36
Obr. 38 Distanční díl (1) – Autor: Rebel RepRap.....	37
Obr. 39 Distanční díl (2) – Autor: Rebel RepRap.....	37
Obr. 40 Uchycení řemene (1) – Autor Ming Liu.....	37
Obr. 41 Uchycení řemene (2) – Autor Ming Liu.....	37
Obr. 42 Uchycení ložiska – Autor: Rebel RepRap.....	37
Obr. 43 Sestavená pojezdová deska.....	39
Obr. 44 Soustava extrudéru 3D.....	40
Obr. 45 Konstrukce na držená extrudéru Autor: inornate.....	41
Obr. 46 Uchycení na pojezdové tyče Autor: eMotion Tech.....	41
Obr. 47 Pojezd soustavy levá strana (1) Autor: Joseph Tisch.....	41
Obr. 48 Pojezd soustavy levá strana (2) Autor: Joseph Tisch.....	41
Obr. 49 Pojezd soustavy levá strana (3) Autor: Joseph Tisch.....	42
Obr. 50 Pojezd soustavy pravá strana (1) Autor: Joseph Tisch.....	42
Obr. 51 Pojezd soustavy pravá strana (2) Autor: Joseph Tisch.....	42
Obr. 52 Složená soustava extrudéru.....	43

Obr. 53 Sestavená tiskárna bez elektroniky.....	44
Obr. 54 Uchycení 3D Touch sensoru Autor: Nys Tao.....	45
Obr. 55 Uchycení koncového spínače X Autor: Bruno Dantas.....	45
Obr. 56 Uchycení koncového spínače na ose X.....	46
Obr. 57 Koncový spínač na ose Y.....	46
Obr. 58 Uchycení 3D Touch Sensoru.....	47
Obr. 59 Uchycení ventilátoru.....	48
Obr. 60 Kryt na LCD Displej – Autor: Michael McClinton.....	48
Obr. 61 Uchycení tištěného spoje do rámu – Pravá strana – Autor: Michael McClinton.....	49
Obr. 62 Uchycení tištěného spoje do rámu – Levá strana – Autor: Michael McClinton.....	49
Obr. 63 Přimontovaný displej.....	49
Obr. 64 Zdroj.....	50
Obr. 65 Kříž pro kabelové trasy.....	51
Obr. 66 Kabely na displej.....	52
Obr. 67 Vedení kabeláže.....	52
Obr. 68 Vyvedení kabeláže.....	52
Obr. 69 Kabeláž od extrudéru.....	53
Obr. 70 Vedení termistorového čidla a napájecích kabelů.....	55
Obr. 71 Připájené napájecí kabely.....	55
Obr. 72 Pouzdro na základní desku.....	55
Obr. 73 Vrtání otvorů pro větrák.....	56
Obr. 74 Namontovaný větrák na pouzdro.....	56
Obr. 75 Označená místa na propojky – žlutá pole.....	57
Obr. 76 Označená místa na drivery (jeden je již umístěn) - žlutá pole.....	57
Obr. 77 Označená místa na krokové motory dle os – žlutá pole.....	58

Obr. 78 Označená místa na koncové spínače dle os – žlutá pole a tmavě modré pole pro 3D sensor.....	58
Obr. 79 Zapojení kabeláže pro LCD displej – žlutá driver, černá kabely EXP1 a EXP2.....	59
Obr. 80 Zapojení termistorů.....	59
Obr. 81 Zapojení napájení tiskárny a napájení vyhřívané desky.....	60
Obr. 82 Zapojení ventilátorů a vyhřívání tiskové hlavy.....	60
Obr. 83 Určení hodnot pro sondu.....	66
Obr. 84 Model CULS mini formule v programu Ultimaker Cura 4.4.....	69
Obr. 85 Model Batman v programu Pronterface.....	69
Obr. 86 Tiskárna pro provedení tisku.....	70
Obr. 87 Detail modelu Batman.....	70
Tab. 1 Porovnání cen.....	71,72

20 Seznam rovnic

Rovnice 1. Vzorec pro extrudér.....	64
Rovnice 2. Vzorec pro osy X a Y.....	64
Rovnice 3. Vzorec pro osu Z.....	65