

Konstrukce malého CNC stroje pro model výrobního systému s koncepcí Průmyslu 4.0.

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T049 – Výrobní systémy a procesy
Autor práce: **Bc. Martin Ševic**
Vedoucí práce: Ing. Radek Votrubec, Ph.D.



Construction of Small CNC machine for model of factory with concept Industry 4.0.

Master thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301T049 – Manufacturing Systems and Processes
Author: **Bc. Martin Ševic**
Supervisor: Ing. Radek Votrubec, Ph.D.



Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Ševic**
Osobní číslo: **S15000323**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní systémy a procesy**
Název tématu: **Konstrukce malého CNC stroje pro model výrobního systému s koncepcí Průmyslu 4.0.**
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je navrhnout malý CNC obráběcí stroj pro model chytré továrny s koncepcí Průmyslu 4.0. Předpokládané minimální rozměry pracovního prostoru stroje by měly být cca 200 x 150 x 100 mm. Stroj by měl být navržen pro obrábění lehce obrobitelných materiálů, jako je umělé dřevo, plasty apod.

Doporučené body vypracování:

1. Popište principy a myšlenky Průmyslu 4.0.
2. Navrhněte vhodnou koncepci stroje pro model chytré továrny.
3. Navrhněte pracovní nástroj a proveďte základní výpočty odvíjející se od maximálního zatížení stroje. Navrhněte a realizujte konstrukci rámu stroje s vedením jednotlivých os.
4. Navrhněte vhodné pohony a řídicí systém a instalujte je na výrobní systém. Propojte ŘS s použitými pohony a čidly a realizujte základní funkce (posuvy os, zapnutí nástroje apod.).
5. Otestujte celý systém a proveďte zhodnocení.

Rozsah grafických prací: podle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

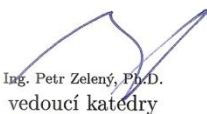
- [1] MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
[2] BALÁTEĚ, J. Automatické řízení. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 663 s. ISBN 978-80-247-4116-1.
[3] Začínáme s Arduinem: příručka. In: Snail Instruments: www.hobbyrobot.cz [online]. 2014 [cit. 2015-01-09]. Dostupné z: <http://www.snailshop.cz/literatura/1537-zaciname-s-arduinem-prirucka.html>
[4] Arduino Learning: Getting Started with Arduino. In: Arduino [online]. 2014 [cit. 2015-01-09]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>
[5] RaspBerryPi: Základy programování Rasperry Pi. In: RasperryPi [online]. 2016 [cit. 2016-10-19]. Dostupné z: <http://lide.uhk.cz/fim/student/plasido1/programming.html>
[6] RAMI 4.0 An architectural Model for Industrie 4.0. In: www.omg.org [online]. Berlin 2015 [cit. 2016-10-20]. Available from: <http://www.omg.org/news/meetings/tc/berlin-15/special-events/mfg-presentations/adolphs.pdf>

Vedoucí diplomové práce: Ing. Radek Votrubec, Ph.D.
Katedra výrobních systémů a automatizace
Konzultant diplomové práce: Ing. Petr Keller, Ph.D.
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání diplomové práce: 1. listopadu 2016
Termín odevzdání diplomové práce: 1. února 2018


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2016

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.


Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 23. 5. 2017

Podpis: 

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Votrubcovi, Ph.D. a konzultantu Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za jejich odborné vedení, poskytnutí cenných rad a připomínek, které mi byly velkým přínosem při řešení diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem malého CNC obráběcího stroje vhodného pro model chytré továrny s koncepcí Průmyslu 4.0. Stroj je navržen pro obrábění lehce obrobitelných materiálů, jako je umělé dřevo, plasty apod.

Pro konstrukci stroje byla zvolena portálová frézka, provedla se rešerše dostupných CNC frézek na českém trhu a byly popsány základní myšlenky a principy Průmyslu 4.0. Na základě zvolených parametrů frézky, navrženého nástroje a maximálního zatížení stroje byly provedeny základní výpočty. Byla navržena konstrukce rámu stroje a příslušného vedení jednotlivých os včetně jejich pohonů.

Následně byl zvolen vhodný řídicí systém, který byl propojen s pohony umožňující realizovat základní funkce frézky, jako jsou posuvy os, zapnutí nástroje.

Klíčová slova

Arduino, CNC frézka, chytrá továrna, Internet věcí, Průmysl 4.0, Raspberry

Abstract

The diploma thesis deals with the structural design of small CNC machine, which should be suitable for the Smart factory model and concept of Industry 4.0. The machine is designed for machining easily machinable materials such artificial wood, plastics, etc.

For construction style of my machine was chosen a portal milling machine. It was made the searching and comparison of commercial CNC milling machines available in Czech republic. Also basic minds and principles of Industry 4.0 were described. It was performed basic calculations based on selected machine parameters, selected tool and maximum load of machine. The design of machine frame and guiding rails for individual axes including their drives, have been proposed.

Then, it was chosen suitable control system. Its connection with drives and sensors allows basic functions of the milling machine to be realized such axes movements, tool activation.

Key words

Arduino, CNC milling machine, Smart factory, Internet of Things (IoT), Industry 4.0, Raspberry

Obsah

Úvod	11
1 Principy a myšlenky Průmyslu 4.0	12
1.1 Koncepce pro Průmysl 4.0.....	12
1.2 Průmysl 4.0 a Rami 4.0	13
1.3 Chytrá továrna	14
2 Frézovací stroje	16
2.1 Portálové frézky.....	16
2.2 Analýza trhu malých CNC frézek	17
2.2.1 CNC frézka pro gravírování a rytí.....	17
2.2.2 Frézovací stroj MC30Ft firmy Merkur.....	18
2.2.3 Základní stolní CNC frézka.....	19
2.2.4 CNC frézka Hobby A4 a A3	20
2.2.5 CNC frézka 30x40.....	20
2.2.6 Frézka GV 21 2A.....	21
2.2.7 Hobby frézky	22
2.3 Poznatky z rešerše	23
3 Mechanické komponenty frézky	25
3.1 Rámy obráběcích strojů	25
3.2 Lineární vedení posuvových soustav.....	26
3.2.1 Nepodepřené vodící tyče	26
3.2.2 Podepřené vodící tyče.....	27
3.2.3 Prizmatické vedení	27
3.3 Pohony lineárních posuvových soustav.....	27
3.3.1 Trapézové šrouby	28
3.3.2 Kuličkové šrouby.....	28
3.3.3 Ozubené řemeny	28
3.3.4 Ozubené hřebeny s pastorkem.....	29
4 Elektrické komponenty frézky	30
4.1 Vřeteno stroje	30
4.2 Krokové motory.....	30
4.2.1 Princip krokového motoru	31
5 Řídicí jednotky	32
5.1 Raspberry Pi	32

5.1.1	Příklady operačních systémů	32
5.2	Arduino	34
5.2.1	Desky Arduino	34
5.2.2	Přídavné moduly tzv. shieldy	36
5.2.3	Arduino programování	36
5.2.4	Struktura programu	38
5.3	Řídicí systém	39
5.3.1	Mach3	39
5.3.2	Armate	40
5.3.3	LinuxCNC	40
6	Konstrukce CNC frézky	42
6.1	Volba vřetene a pohonu	43
6.1.1	Výpočet sil a řezných podmínek při obrábění	43
6.1.2	Volba vřetene	45
6.2	Volba krokových motorů	46
6.2.1	Výpočet momentu pro volbu motoru	46
6.2.2	Volba krokového motoru	49
6.2.3	Návrh a kontrola ložisek pro uložení trapézového šroubu	50
6.3	Návrh rámu stroje	52
6.3.1	Hliníkové profily	52
6.3.2	Rám	52
6.4	Návrh pracovního stolu	54
6.5	Návrh vedení osy X	55
6.5.1	Návrh 1	55
6.5.2	Výpočet průhybu vodící tyče	56
6.5.3	Návrh 2	57
6.5.4	Návrh 3	58
6.5.5	Pohon osy X	59
6.6	Návrh portálu	60
6.6.1	Návrh 1	60
6.6.2	Návrh 2	61
6.7	Návrh konstrukce bočnic portálu	62
6.7.1	Při použití hliníkových desek	62
6.7.2	Při použití hliníkových profilů	62
6.8	Návrh optimální varianty portálu	63

6.8.1	Návrh vedení Y	63
6.8.2	Návrh vedení Z	63
7	Řídicí systém a realizace základních funkcí	66
7.1	Pohon pro pohyb v osách X Y Z	66
7.1.1	Konfigurační část.....	67
7.2	Řízení otáček vřetene.....	68
7.3	Komunikace s ostatními komponenty chytré továrny pomocí wifi.....	69
7.4	Osvětlení pracovního prostoru.....	69
8	Závěr	71
	Seznam použité literatury	73
	Seznam obrázků.....	78
	Seznam tabulek.....	81
	Seznam použitých zkratk	82
	Seznam použitých veličin	83
	Zdrojové kódy.....	85
	Kalkulace	87
	Seznam příloh	89

Úvod

Na katedře KSA probíhá stavba modelu chytrého výrobního systému (chytré továrny) s principy Industry 4.0. Má diplomová práce se zabývá vytvořením jedné z komponent (jednoho výrobního stanoviště) této chytré továrny, jedná se o tříosou CNC frézku. Vznikající továrna není řízena centrálně, ale každé stanoviště má svůj vlastní řídicí systém a komunikuje s ostatními stanovišti pomocí WiFi (IoT – Internet of Things).

Konkrétně bude tedy frézka schopna komunikovat s vozíkem vezoucím výrobek. Vozík vynes požadavek na provedení nějaké určité operace. Pokud to bude operace, kterou frézka umí, nabídne vozíku její provedení a ten pokud bude chtít, si frézku na tuto operaci vybere.

Další využití frézky bude jako výuková pomůcka pro předmět programování a obsluha CNC strojů. Bude sloužit jak pro názornou ukázkou samotné výroby, tak i jako ukázkou základních konstrukčních prvků CNC stroje.

Cíl

Cílem práce je navrhnout vhodnou koncepci malého CNC stroje pro model chytré továrny s koncepcí průmyslu 4.0. Popsání základních myšlenek Průmyslu 4.0. Dalšími cíli je provedení rešerše a získání poznatků o komerčně nabízených malých CNC strojích a seznámení se základními komponenty stroje. Volba pracovního nástroje, provedení základních výpočtů odvíjejících se od maximálního zatížení stroje a navržení konstrukce rámu stroje s vedením jednotlivých os. Seznámení se s prvky umožňující ovládání a řízení stroje. Navržení vhodných pohonů a zvolení vhodného řídicího systému.

1 Principy a myšlenky Průmyslu 4.0

Pojem Průmysl 4.0 nazýván též Industry 4.0 je označován za čtvrtou průmyslovou revoluci, která spočívá ve využití technologických konceptů internetu věcí (Internet of Things), kyber-fyzických systémů (Physical Systems) a dalších moderních technologií, které mají přinést úplné digitální propojení všech výrobních procesů (od vývoje až po distribuci výrobku). [7] Umožní úplné digitální propojení celého výrobního systému, včetně strojů, což povede ke vzniku „chytré továrny“ budoucnosti. Továrny v éře Průmyslu 4.0 se budou řídit kompletně samy. [48]

Poprvé s tímto konceptem přišlo Německo na veletrhu v Hannoveru v roce 2011, z důvodu zajištění své udržitelnosti a konkurenceschopnosti ve světě, a to především v porovnání se silnými a rychle rostoucími ekonomikami v USA, Japonsku a Číně. Cílem bylo vytvořit několik vzájemně provázaných tzv. smart factories (chytrých továren), které by využívaly již zmíněný Internet věcí, kde by různá zařízení měly implementovány počítačové čipy schopné mezi sebou komunikovat bezdrátově přes internet. Výroba by probíhala v autonomních výrobních systémech, kde by spolu všechny jeho části včetně samotných produktů komunikovaly a tvořily tzv. kyber-fyzický systém. [42]

1.1 Koncepce pro Průmysl 4.0

Návrh Průmyslu 4.0 je založen na propojení výrobních strojů, produktů a procesů podniku pomocí počítačů. Pro potřeby komunikace budou jednotlivé úseky výroby propojeny distribuovaným systémem. Internet služeb poskytne sdílení dat přístupem do datových úložišť (cloudů), což umožňuje dostupnost dat odkudkoliv a kdykoliv. [33]

Technologické koncepty: [11]

- **Kyberneticko-fyzikální systémy (CPS)** jako základem propojení automatizace výrobních postupů, digitalizace dat a zavedení robotů do výroby.
- **Internet věcí (IoT)** pomocí bezdrátové technologie umožňuje sdílení a přenos dat mezi sebou, jejich řízení a kontrolu.
- **Internet služeb (IoS)** a **Digitální ekonomika**. IoS nabízí služby poskytované uvnitř podniku schopné pomocí cloudových úložišť provádět obchod online.

- „**Big Data & Clouds**“ umožňují zpracování a sběr rozsáhlých souborů dat.

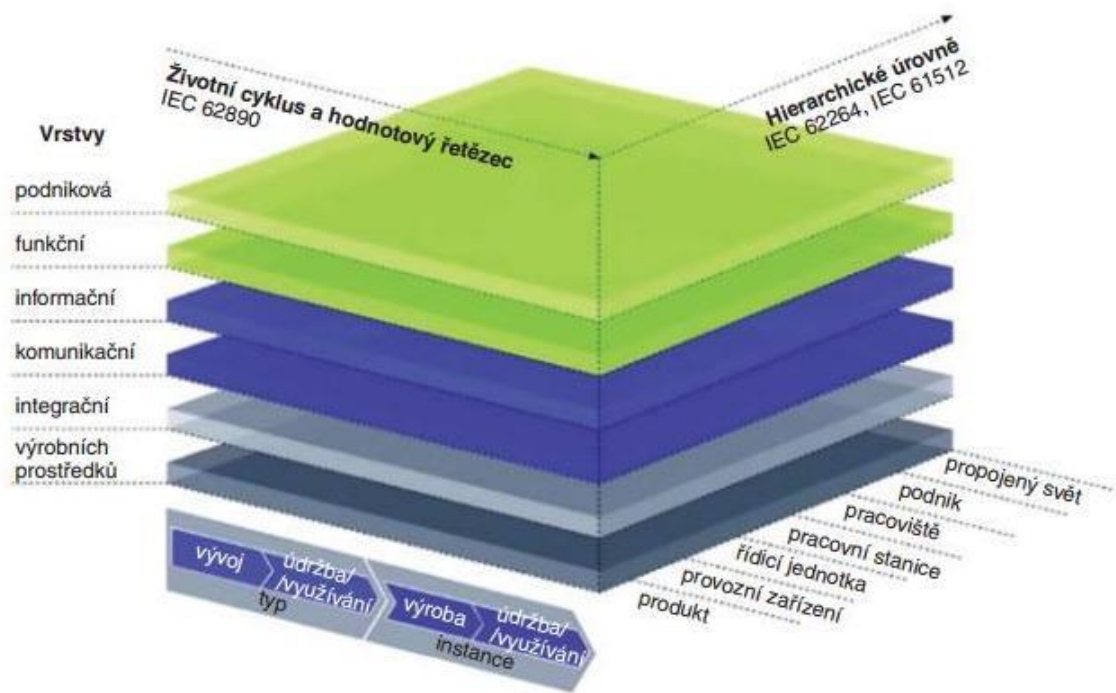
Informatické koncepty: [19]

- **Interoperabilita** je možnost komunikace pomocí IoT a IoS.
- **Virtualizace** je schopnost vytvoření virtuálního modelu továrny z dat získaných z čidel strojů.
- **Decentralizace** je schopnost stroje organizovat a řídit proces, směřující k optimalizaci výroby.
- Práce v **reálném čase**, umožní neomezenou komunikaci pro řízení systémů.
- **Orientace na služby** nabízené i služby využívané.
- **Modularita** je schopnost systému reagovat na změnu situace.
- **Konvergence a propojování technologií** – propojování datových a telekomunikačních sítí i datových center.

1.2 Průmysl 4.0 a Rami 4.0

RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industry 4.0) spojuje základní koncepce Průmyslu 4.0 (Industry 4.0) do trojrozměrného vrstveného modelu. Model popisuje základní aspekty Průmyslu 4.0, kompletní vazby jsou rozděleny do částí, které je možno dále samostatně rozvíjet. [38]

Na následujícím obrázku (Obr. 1) jsou zobrazeny vrstvy na jednotlivých osách. Na pravé horizontální ose jsou vrstvy reprezentující Integrovaný systém podnikového řízení, vrstvy zobrazují různé funkce v továrnách a výrobních zařízeních. Jsou rozděleny do několika částí, od produktu až po propojení do internetu věcí a služeb, označené jako propojený svět. [46]



Obr. 1 – Model RAMI 4.0 [46]

Na vodorovné ose vlevo je zobrazen životní cyklus zařízení a produktů. Zobrazuje dvě třídy – typ, který se stane instancí, je-li produkt vyroben a otestován. Svislá osa obsahuje šest vrstev určených k popsání zařízení na základě virtuálního mapování. Pomocí těchto tří os lze snadno klasifikovat vlastnosti Průmyslu 4.0. [38]

1.3 Chytrá továrna

V odhadu 10 až 15 letech se očekává digitální propojení na všech úrovních výrobního řetězce, a to zaměstnanců, strojů, dodavatelů, spotřebitelů i zboží. Výrobní proces bude fungovat na základě IoT. [34]

Tyto inteligentní továrny si sami navrhnu, jak mají být vyráběné produkty zpracovány, automatizované řídicí systémy budou kontrolovat všechny součásti výrobního procesu. V případě potřeby stroje sami nahlásí své poruchy a sklady vyhodnotí stav zásob a pošlou informaci dodavateli o stavu objednávky. [18]

Produkty i stroje dostanou čipy nebo senzory, pomocí nichž je bude možné kontrolovat a obsluhovat přes internet, data se budou ukládat na cloudová úložiště, vzniknou datová centra, automatické hlášení problémů či „chytré sklady“, které samy informují o docházejících zásobách. [8]

V chytrých továrnách tak budou vznikat produkty, které bude možné pomocí čipů jednoznačně identifikovat, bude známa jejich historie, současný stav produktu i místo, kde se právě nachází. Jednotlivé produkty budou zmapovány od jejich vzniku, až po jejich finální podobu. Z pohledu Průmyslu 4.0 půjde o řízení výrobních procesů a průmyslových zařízení za použití řídicích systémů. I nadále však budou rozhodujícím prvkem lidé, kteří nikdy nebudou zcela nahrazeni stroji, budou zastávat pozice, kde využijí své zkušenosti, schopnost myšlení a plánování. [8]

2 Frézovací stroje

Frézovací stroje nazývané frézky patří mezi nejrozšířenější obráběcí stroje. Rozměr frézek je určen velikostí upínací plochy stolu. Hlavní pohyb koná nástroj fréza, pohyb vedlejší vykonává nástroj, nebo obrobek. Jsou určeny pro obrábění nejčastěji rovinných ploch, ale i tvarových ploch, závitů, drážek či zubů ozubených kol. [26, 13]

Základní způsoby frézování:

- podle orientace polohy nástroje vůči obrobku – rozeznáváme frézování obvodové nebo čelní,
- podle orientace hlavních pohybů tj. rotační řezný pohyb a posuvový pohyb
- frézování sousledné (fréza se otáčí ve směru posuvu),
- nesousledné (fréza se otáčí proti směru posuvu). [26, 13]

Rozdělení frézek:

- podle polohy vřetena
 - vodorovné (horizontální)
 - svislé (vertikální)
 - univerzální
- podle účelu a konstrukce
 - konzolové
 - stolové
 - ložové
 - portálové (rovinné)

2.1 Portálové frézky

Portálové (rovinné) frézky jsou určeny pro obrábění velkých rovinných ploch. Frézka s posuvným portálem se především používá pro obrábění složitých tvarů např. výrobu forem, lisovacích nástrojů a tvarově složitých obrobků velkých rozměrů, pro

kteřé je nutné obrábění v třech až pěti souvisle řízených osách. Pokud portálové frézky umožňují více operací, pak je lze považovat za obráběcí centra.[26]

Základním prvkem portálové frézky je portál, který je složen ze dvou postranních stojanů nahoře spojeným příčnickem, a stůl s T – drážkami pro upnutí obrobku. Podle konstrukce rozlišujeme tři typy portálové frézky – horní gantry, spodní gantry a frézku s posuvným stolem. [26]

2.2 Analýza trhu malých CNC frézek

V této kapitole je provedena rešerše vybraných typů malých CNC frézek od různých výrobců dostupných v současné době na trhu. Jedná se o výukové stroje, hobby frézky pro malou kusovou výrobu, výrobní frézky pro obrábění neželezných materiálů jako je plast, dřevo a slitiny hliníku. Ke každé frézce jsou uvedeny dostupné technické parametry stroje, pracovní rozsah, řídicí systém, přesnost a cena stroje.

2.2.1 CNC frézka pro gravírování a rytí

Jedná se o počítačem řízenou CNC frézku především pro domácí použití pro modeláře či při výuce. Konstrukce je vyrobena z kombinace duralových desek a profilů odpovídající síly, které dodávají stroji potřebnou stabilitu i váhu. Pohon všech os je zajišťován pomocí kuličkových šroubů a matic ve spojení s motory, vedení lineárními ložisky. Použité krokové motory jsou z jedné strany osazeny kolečkem pro ruční ovládání dané osy. [1]



Obr. 2 – Malá modelářská CNC frézka pro gravírování a rytí [1]

Tab. 1 – Parametry malé modelářské CNC frézky [1]

TECHNICKÉ PARAMETRY	HODNOTA
Rozměry pracovního stolu	200 x 300 mm
Rychloposuv	-
Rozsah posuvu - osa X	-
Rozsah posuvu - osa Y	-
Rozsah posuvu - osa Z	-
Průchod pod osou Z (pod portálem)	-
Výkon vřetene	300 W DC
Otáčky vřetene	-
Řídicí systém	MACH3
Hmotnost	-
Cena s DPH	48 279 Kč

2.2.2 Frézovací stroj MC30Ft firmy Merkur

Firma Merkur se začala zabývat i prodejem učebních pomůcek, mezi které patří i modelářské CNC frézky ve stavebnicovém provedení. Tyto frézky jsou určeny převážně pro výukové účely a modeláře pro výrobu malých dílů z neželezných kovů. Třiosá CNC frézka v portálovém uspořádání, je vhodná k frézování plošných spojů, otvorů do krabiček a zejména pro gravírování. [28]



Obr. 3 – Frézovací stroj MC30FT [28]

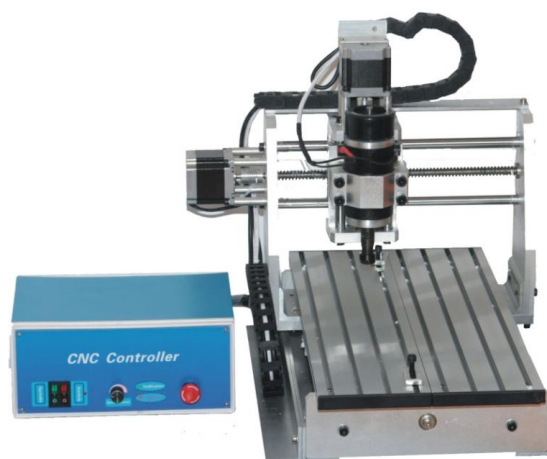
Osa Y a Z je uložena na předepnutém lineárním vedení s kuličkovými vozíky, osa X je uložena na kluzném vedení. Přenos pohybu z pohonů na osy stroje je realizován trapézovými šrouby. Řídicí jednotka je uložena v boxu vedle stroje, který je vybaven centrálním tlačítkem stop. Přenos pohybu z pohonů na osy je pomocí trapézových šroubů s bezvůlovými maticemi. [28]

Tab. 2 – Parametry frézovacího stroje MC30FT [28]

TECHNICKÉ PARAMETRY	HODNOTA
Rozměry pracovního stolu	330 x 300 mm
Rychloposuv	-
Rozsah posuvu - osa X	180 mm
Rozsah posuvu - osa Y	210 mm
Rozsah posuvu - osa Z	90 mm
Průchod pod osou Z (pod portálem)	110 mm
Výkon vřetene	100 W
Otáčky vřetene	5000 - 20000 ot/min
Řídicí systém	ARMOTE
Hmotnost	21 kg
Cena s DPH	36 500 Kč

2.2.3 Základní stolní CNC frézka

Jednoduchý model CNC frézky určen pro hobby použití k opracování nekovových materiálů – dřeva a plastu a pro gravírování. Vedení frézky je řešeno pomocí lineárních ložisek, nepodepřených tyčí a trapézových šroubů. Prodej stroje zahrnuje sestavený model i s řídicí technikou, po nainstalování software je připraven k užívání. [1]

**Obr. 4 – Základní stolní CNC frézka [1]****Tab. 3 – Parametry základní stolní frézky 200x300x65 mm [1]**

TECHNICKÉ PARAMETRY	HODNOTA
Rozměry pracovního stolu	300 x 200 mm
Rychloposuv	-
Rozsah posuvu - osa X	-
Rozsah posuvu - osa Y	-
Rozsah posuvu - osa Z	65 mm
Průchod pod osou Z (pod portálem)	-
Výkon vřetene	300 W
Otáčky vřetene	3000 - 8000 ot/min
Řídicí systém	Demo MACH3
Hmotnost	-
Cena s DPH	43 439 Kč

2.2.4 CNC frézka Hobby A4 a A3

Tyto frézky formátu A4 a A3 jsou prodávány jako stavebnice, nebo jsou v sestaveném tvaru, bez vřetene. Používají se k výrobě malých výrobků, k drobnému frézování, pro modeláře, nebo mohou sloužit k výuce CNC obrábění. K vedení os je zde použito nepodepřených tyčí a trapézových šroubů.



Obr. 5 – CNC frézka Hobby A3 [2]

CNC stroj je vhodný pro menší frézování z neželezných kovů, plexiskla, dřeva, plastů a k frézování desek na elektrické obvody. Konstrukční díly jsou vyrobeny z hliníku o tloušťce 8 mm, hřídele jsou z nerezové oceli. K dispozici jsou tři různé modely stroje odlišné vybavením a ovládáním. [2]

Tab. 4 – Parametry CNC frézky Hobby A4 a A3 [2]

TECHNICKÉ PARAMETRY	HODNOTA
Rozměry pracovního stolu	320 x 420 mm, 520 x 420 mm
Rychloposuv	-
Rozsah posuvu - osa X	295 mm, 395 mm
Rozsah posuvu - osa Y	195 mm, 295 mm
Rozsah posuvu - osa Z	70 mm, 70 mm
Průchod pod osou Z (pod portálem)	-
Výkon vřetene	dodávka bez motoru
Otáčky vřetene	-
Řídicí systém	LinuxCNC - OS Debian
Hmotnost	9 - 16 kg
Cena s DPH	16 249 Kč, 29 630 Kč

2.2.5 CNC frézka 30x40

Je střední frézka vybavená vzduchem chlazeným vřetenem nejen pro hobby využití. K pohonu všech os používá krokové motory, pro posuv jsou použity kuličkové šrouby. K CNC frézce je dodáván 17“ LCD monitor a sonda pro automatickou kalibraci výšky nástroje. [50]



Obr. 6 – CNC frézka 30x40 [50]

Tab. 5 – Parametry CNC frézky 30x40 [50]

TECHNICKÉ PARAMETRY	HODNOTA
Rozměry pracovního stolu	615 x 485 x 390 mm
Rychloposuv	4000 mm/min
Rozsah posuvu - osa X	280 mm
Rozsah posuvu - osa Y	390 mm
Rozsah posuvu - osa Z	55 mm
Průchod pod osou Z (pod portálem)	70 mm
Výkon vřetene	300 W
Otáčky vřetene	12000 ot/min
Řídicí systém	MACH3
Hmotnost	28 kg
Cena s DPH	-

2.2.6 Frézka GV 21 2A

Stolní tříosá CNC frézka portálového typu s pohyblivým stolem, vhodná pro gravírování, obrábění strojních dílů, forem, výrobu plošných spojů, frézování otvorů do krabiček.

Obr. 7 – Frézka GV 21 2A [14]

Řídicí elektronika je umístěna kompaktně do boxu na boku stroje. Všechny osy jsou uloženy na předepnutém vedení s kuličkovými vozíky, pohony os jsou řešeny pomocí trapézových šroubů s bezvůlovými maticemi. [14]



Tab. 6 – Parametry frézky GV 21 2A [14]

TECHNICKÉ PARAMETRY	HODNOTA
Rozměry pracovního stolu	390 x 390 x 310 mm
Rychloposuv	3930 mm/min
Rozsah posuvu - osa X	215 mm
Rozsah posuvu - osa Y	165 mm
Rozsah posuvu - osa Z	65 mm
Průchod pod osou Z (pod portálem)	100 mm
Výkon vřetene	175 W
Otáčky vřetene	5000 - 35000 ot/min
Řídicí systém	Armote
Hmotnost	17 kg
Cena s DPH	69 000 Kč

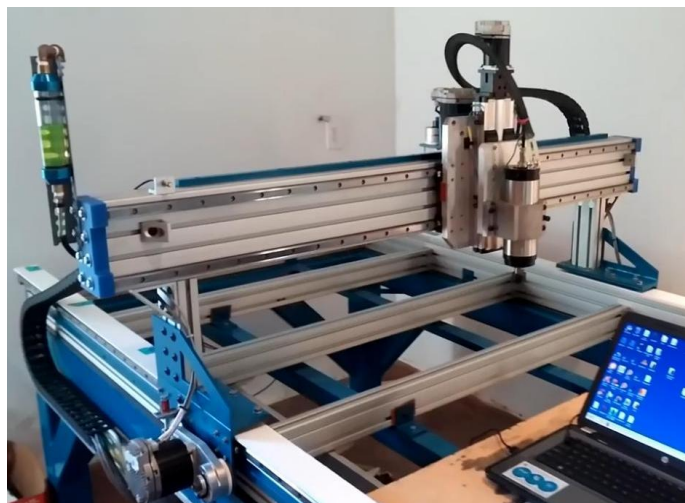
2.2.7 Hobby frézky

Na následujících obrázcích (Obr. 8 – 11) jsou některé návrhy hobby frézek, u kterých nejsou parametry dostupné. Posloužily však pro inspiraci při návrhu frézky.



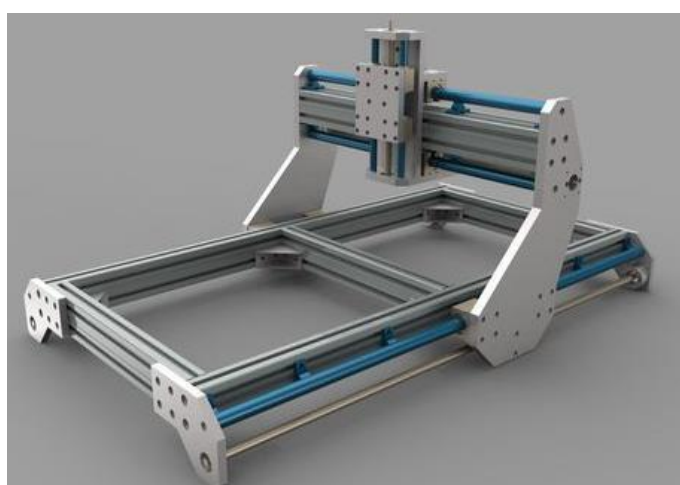
Obr. 8 – Frézka_1

Obr. 9 – Frézka_2





Obr. 10 – Frézka_3



Obr. 11 – Frézka_4

2.3 Poznatky z rešerše

Frézky lze definovat mnoha různými parametry, každá má své výhody a nevýhoda, proto nelze jednoznačně určit, která z nich je lepší. Výběr vhodné frézky závisí na mnoha okolnostech, za jakým účelem se stroj pořizuje, co se na něm bude vyrábět, co se od něj bude očekávat (přesnost) a cenová relace stroje.

Při hodnocení z konstrukčního hlediska je důležitá velikost stolu, která určuje možnost upnutí svěráku a velikost obrobku. Dále je důležitý rozsah os, který ovlivňuje velikost obráběné součásti. Dalším důležitým parametrem je výkon vřetene a velikost upínací kleštiny, která udává maximální průměr upnutí frézy.

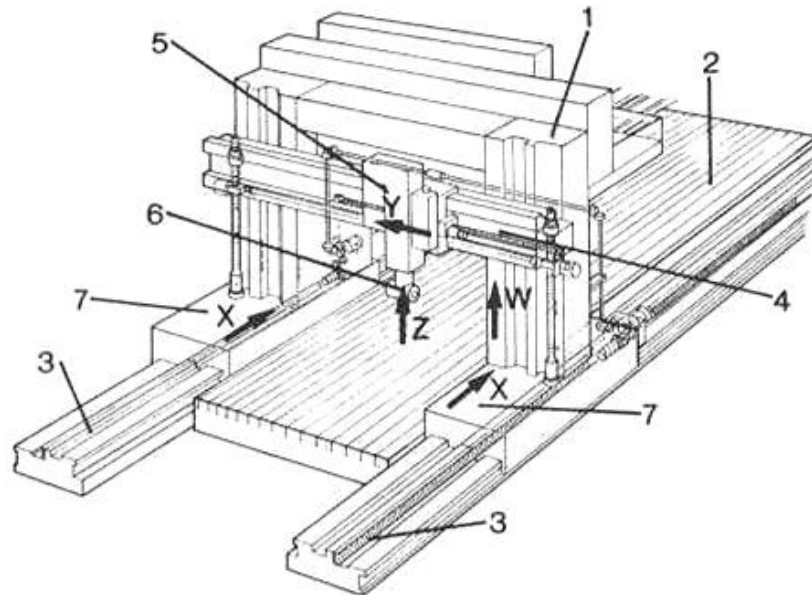
Porovnáním parametrů komerčně vyráběných frézek s požadovanými parametry ze zadání vychází následující rozdíly. Frézky na trhu mají nevýhodu hlavně v malém rozsahu posuvu v ose Z, která se pohybuje pod požadovanou hodnotu 100 mm. U některých typů frézek se používají kuličkové šrouby, které zvyšují přesnost stroje, ale výrazně zvyšují cenu. Pro účel, pro který bude frézka navržena, bude dostačující použití

mnohem levnějších trapézových šroubů. Další nevýhodou je také chybějící krytování, jednak kvůli bezpečnosti při práci, ale i pro lepší ochranu některých konstrukčních prvků, například vedení před znečištěním.

Z provedené rešerše vyplývá, že žádná z dostupných frézek plně nesplňuje všechny požadované vlastnosti frézky, které jsou kladeny na frézku dle zadání. Navrhovaná frézka se bude snažit spojit výhody z jednotlivých frézek tak, aby dosahovala požadované velikosti pracovního prostoru, požadované přesnosti a to za co nejnižší cenu.

3 Mechanické komponenty frézky

Na následujícím obrázku (Obr. 12) je schéma portálové frézky a jsou popsány její základní části.



Obr. 12 – Popis portálová frézky [9]

1 – portál, 2 – upínací stůl, 3 – lože, 4 – příčný nosník, 5 – frézovací saně, 6 – frézovací hlava, 7 – portálové saně

3.1 Rámy obráběcích strojů

Mezi základní části rámu obráběcích strojů patří lože, stojany, příčníky, sloupy a konzoly. Přesnost obrábění v největší míře ovlivňují právě tyto prvky, především záleží na jejich tuhosti, dynamické stabilitě, odolnosti proti opotřebení vodicích ploch a stálosti tvaru. Při konstrukčním návrhu těchto částí se musí respektovat několik hledisek, jako je například:

- dobrá statická tuhost
- kvalitní materiál rámu
- dobrá tepelná a dynamická stabilita
- jednoduchá a efektivní výroba
- malá hmotnost

- snadná manipulovatelnost
- umožnění dobrého odvodu třísek.

U CNC frézek se uvádějí tři základní typy konstrukce rámu, které jsou jako kompromis mezi mechanickou náročností, tuhostí a pracovní plochou. Volba konstrukce rámu je pak závislá na konkrétních požadavcích na tyto vlastnosti. Základní rozdělení podle konstrukce rámu je na frézky stolové, konzolové a portálové. [26]

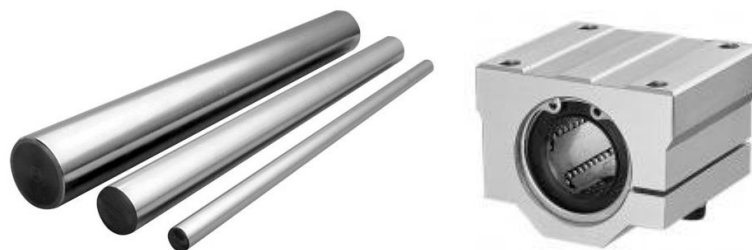
3.2 Lineární vedení posuvových soustav

Lineární vedení umožňuje pohyb částí zařízení po přímce (kolejnici) každé ose v určeném směru. Mezi základní požadované vlastnosti lineárního vedení patří vysoká tuhost, minimální třecí odpor a eliminace vůlí v ostatních osách. Například se může využít pro pohyb smýkadla u obrázeček, pohyb suportu po loži soustruhu nebo pohyb stolu u frézek. [23]

Lineární sety jsou hliníkové nebo litinové domečky - uložení s kuličkovými nebo kluznými pouzdry. Lineární sety se dodávají v mnoha provedeních - uzavřené, otevřené, nařiznuté s různými druhy kuličkových pouzder. [23]

3.2.1 Nepodepřené vodící tyče

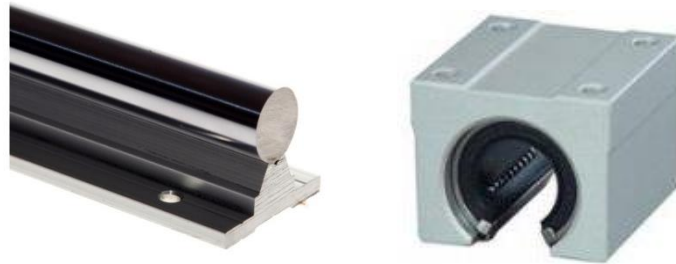
Nepodepřené vodící tyče jsou nejjednodušší a také zároveň nejlevnější variantou pro lineární vedení os. Tyče jsou povrchově kalené a velmi přesně broušené. Nevýhodou je nízká tuhost, proto je vhodné nepodepřené vodící tyče používat zejména na kratší vzdálenosti, na delších vzdálenostech může docházet k jejich průhybu. Pro pohyb po vodících tyčích se používá lineární kuličkové ložisko uzavřené v domku. [27]



Obr. 13 – Vodící tyč a kuličkové ložisko v domku [10]

3.2.2 Podepřené vodící tyče

Vodící tyč je v celé její délce podepřena, proto ji lze použít i pro vedení na delší vzdálenosti. Podepření tyčím také zvyšuje jejich tuhost a zamezuje průhybu tyče. Pro pohyb po podepřených vodících tyčích se používá otevřené lineární kuličkové ložisko uložené v domku. [20]



Obr. 14 – Podepřená tyč a kuličkové ložisko v otevřeném domku [20]

3.2.3 Prismatické vedení

Jako valivé komponenty u prismatického vedení se využívají kuličky nebo válečky, které obíhají po kalených a broušených drahách vozíku a kolejnice. Mezi výhody patří vysoká přesnost, vysoká tuhost a vysoké posuvové rychlosti. Nevýhodou je zřejmě velmi vysoká cena. [15]



Obr. 15 – Lineární prismatické vedení Hiwin [15]

3.3 Pohony lineárních posuvových soustav

Pohony lineárních soustav transformují rotační pohyb motoru na přímočarý pohyb. Mezi hlavní požadavky na pohony patří vysoká tuhost, minimální vůle a co nejmenší hodnota součinitele tření

3.3.1 Trapézové šrouby

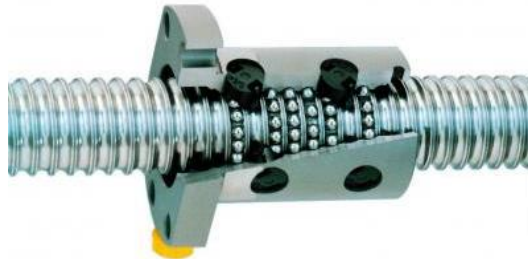
Trapézové šrouby se používají především tam, kde nejsou vysoké požadavky na přesnost a na vysoké rychlosti posuvu. Největší výhodou je nízká cena. Nevýhodou je poměrně vysoké opotřebení a nízká účinnost. Trapézové matice se nejčastěji dělají z bronzu nebo z plastu. [9]



Obr. 16 – Trapézový šroub a matice [10]

3.3.2 Kuličkové šrouby

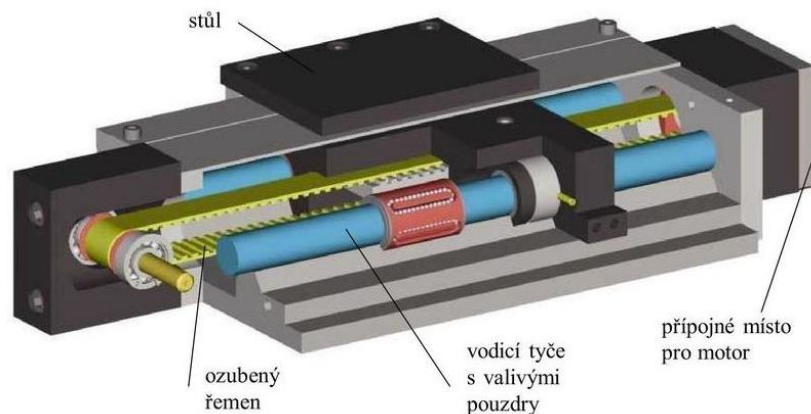
Kuličkové šrouby jsou od matice odděleny kuličkami, takže s ní nejsou v přímém kontaktu. Kuličky obíhají ve stejných závitových drahách na šroubu i matici. Výhodami jsou vysoká mechanická účinnost (až 93 %) kuličkového šroubu a vysoká přesnost a tuhost u předepnuté kuličkové matice. Nevýhodou jsou vysoké nároky na přesnost uložení a vysoká cena. [9]



Obr. 17 – Kuličkový šroub s maticí [47]

3.3.3 Ozubené řemeny

Ozubené řemeny se používají pro polohování lineární osy s vysokou dynamikou. Na přesnost polohování má nejvíce vliv tuhost řemene. [9]



Obr. 18 – Lineární osa s ozubeným hřebenem [21]

3.3.4 Ozubené hřebeny s pastorkem

Ozubený hřeben s pastorkem je vhodný pro použití při dlouhých pracovních pojezdech. Nevýhodou je nízká tuhost oproti použití šroubu a matice, nižší přesnost a vyšší nároky na mazání. [9]



Obr. 19 – Ozubený hřeben s pastorkem [39]

4 Elektrické komponenty frézky

Pro obráběcí stroje musí pohony splňovat některé parametry, jako je vysoká tuhost, přesnost, vysoké výstupní krouticí momenty a vysoké otáčky.

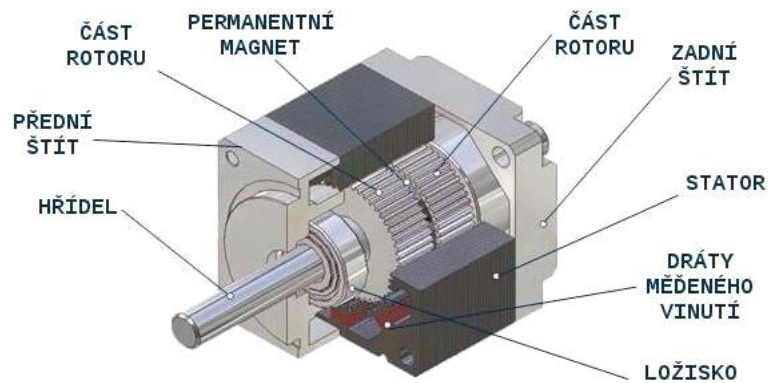
4.1 Vřeteno stroje

Funkcí vřetene u frézky je zaručit nástroji přesný otáčivý pohyb. Vřeteno zajišťuje přenos řezných sil do rámu stroje s dostatečnou přesností a tuhostí. U obráběcích strojů je vřeteno uloženo do valivých ložisek, zpravidla dvou radiálních a jednoho axiálního. Vyčnívající konec vřetene ze skříně (přední konec) slouží pro upnutí nástroje. Ložisko u předního konce vřetene má vliv na přesnost otáčení vřetene. Vřeteno je důležitým prvkem stroje, proto jsou kladeny nároky na jeho konstrukci. Přesnost chodu je závislá na velikosti axiálního a radiálního házení. Uložení vřetene musí být vymezeno vůlí a musí zajistit jeho minimální tepelné ztráty. Mění-li se směr a smysl zatížení, nesmí při dokonalém vedení vřeteno měnit svoji polohu. Deformace a tuhost vřetene spolu vzájemně souvisí (tužší vřeteno - menší deformace). Další požadavek je na vysokou statickou tuhost vřetene. Aby mohlo vřeteno přenášet výkon, musí být spojeno motorem. [31]

4.2 Krokové motory

Krokové motory (Obr. 20) jsou impulzy řízené motory, jejich pohyb je nespojitý a uskutečňuje se po úsecích (krocích), vedoucí k točivému pohybu. Velikost kroku je dána konstrukcí motoru a jeho ovládním. K ovládní motoru je nutný ovladač ovládající funkci pohybu a režimy chodu. Ovladač má výkonnou část tvořenu výkonovými spínacími prvky, druhou část tvoří komutátor, řídící spínání těchto prvků, odpovídající natočení motoru o jeden krok. Nevýhodou je, že při velké zátěži motoru může dojít ke ztrátě kroku, a způsobit zakmitání stroje při krokování. Toto lze odstranit použitím správného typu motoru. Naopak výhodou je dlouhá životnost motoru. [45]

Krokový motor má dvě vinutí, kterými protéká měnící se proud a způsobuje otáčení hřídele. Řízením poměru proudu v jednotlivých fázích motoru dochází ke změně kroku motoru, mluvíme o mikrokroku, půlkroku, čtvrtroku apod. Kroková přesnost motoru je dána momentovou tuhostí. [45]



Obr. 20 – Řez krokovým motorem [45]

4.2.1 Princip krokového motoru

Proud, který procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Vhodným zapojením cívek se vytvoří rotující magnetické pole, které pak otáčí rotorem. [29]

Krokový motor může být navinut podle požadavků na momentovou charakteristiku. Například tak, aby dosahoval větších rychlostí a menšího momentu, nebo požadován moment na malých rychlostech.

5 Řídicí jednotky

5.1 Raspberry Pi

Malý jednodeskový počítač vyvinutý v roce 2012 ve Velké Británii. Jeho nejnovější verze je Raspberry Pi 3 z roku 2016. Disponuje 64-bit čtyřjádrovým procesorem s frekvencí 1,2GHz a architekturou ARMv8. Má 1GB operační paměť. Obsahuje výstup HDMI pro připojení monitoru a 4 USB porty, na které lze připojit myš, klávesnici, flash disk a mnoho dalších libovolných zařízení. Může se připojit k síti pomocí 100Mb Ethernet kabelu, wifi nebo bluetooth. Napájení se zajišťuje 5V přes mikroUSB konektor. Může tedy fungovat úplně samostatně. [52]

Nevýhodou je, že nemá vypínací tlačítko, po ukončení činnosti je nutné ho odpojit od napájení. Nemá vlastní úložiště na software a data. Používá se mikroSD karta, na kterou je ale nutné předem na PC nainstalovat operační systém. Ta se pak vloží do slotu na Raspberry a pak v podstatě plní roli pevného disku. [52]

5.1.1 Příklady operačních systémů

Raspbian

Nejpoužívanější operační systém, jedná se o open-source software. Vytvořen na základě linuxové distribuce Debian. Je oficiálně poskytován jako primární systém přímo výrobcem Raspberry. Je optimalizovaný právě pro procesory s architekturou ARM používanými v Raspberry. Nejnovější verzí je Raspbian Jessie z února 2017. Obsahuje předinstalovaný základní software: libreOffice, internetový prohlížeč, prostředí pro programování v pythonu atd. [53]

Windows 10 IoT

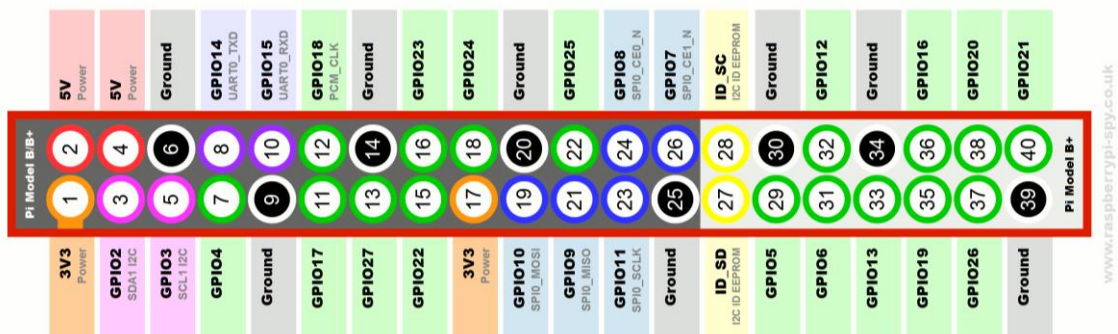
Jedná se o verzi Windows určenou pro použití na malých počítačích jako je Raspberry. Jak naznačuje zkratka Iot (Internet of Things = Internet věcí), nejedná se o klasické Windows. Tento systém neobsahuje klasickou plochu a ovládání, je určen pro řízení Raspberry na dálku pomocí aplikací naprogramovaných na stolním PC. Raspberry tady slouží jako řídicí jednotka nějakého zařízení. [36]

Kamera

Lze přikoupit rozšiřující modul s kamerou, který je k Raspberry připojen do speciálního konektoru pomocí flex kabelu. Kamera může podle typu poskytovat foto a video v rozlišení až 1080p (FullHD).

GPIO

Pro ovládání zařízení a komunikací s nimi, je raspberry vybaveno 40 pinovou GPIO lištou. Zde nalezneme napájecí piny s napětími 3,3 a 5V, ty jsou omezeny maximálním odběrem 50mA pro 3,3V a až 300mA pro 5V. Jsou zde piny pro realizaci standardních komunikací, jako jsou UART, SPI a I2C. Použít lze 17 GPIO pinů nastavitelných jako vstupní nebo výstupní (pracují s 3,3 voltovou logikou). [35]



Obr. 21 – Rozložení pinů na Raspberry [35]

PWM

Raspberry obsahuje pouze jeden pin (GPIO18), na který je schopno hardwarově generovat PWM signál. Existují ale knihovny pro jazyk python, pomocí nichž lze softwarově vytvářet PWM signál i na ostatních GPIO pinech.

Programovací jazyk Python

Je velmi dobře použitelný pro psaní skriptů pro Raspberry. Existuje mnoho knihoven, pomocí kterých pak můžeme řídit GPIO porty, používat různé komunikace a ovládat nejrůznější zařízení připojená pře USB (čtečky čárových kódů, měřicí přístroje, gamepady). Některé umožňují i vytváření grafických rozhraní (GUI) pro naprogramované aplikace.



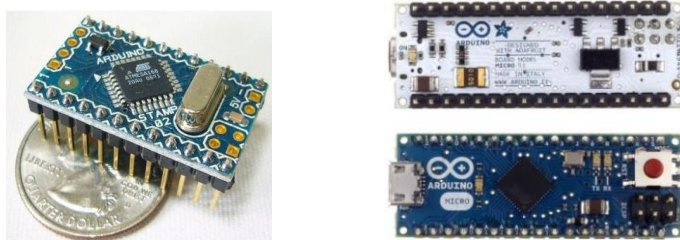
Obr. 22 – Raspberry PI 3 [52]

5.2 Arduino

Arduino je jednodeskový počítač, jehož základ tvoří mikroprocesor ATmega od firmy Atmel, a převodník umožňující komunikaci se stolním počítačem. Některé typy desek mají převodník umístěný přímo v procesoru. Arduino má pro připojení dalších součástí a obvodů mnoho pinů s různými vlastnostmi a funkcemi. Piny jsou realizovány standardizovanými patičkami pro snadné připojování. K napájení obvodu mohou sloužit piny 5V a 3,3 V. V obvodech, kde je třeba pracovat s vyšším napětím než 5V, musíme použít externí zdroj napětí. Napájení je možné řešit i 9V baterií. GND je označen zemnicí pin, písmenem A s číslicí jsou značeny analogové vstupy, jehož analogový signál je převeden do digitální formy a je označen pinem D a číslicí. Tyto piny A a D mohou být využity i jako vstupy a výstupy, podle definice v programu. [51, 5]

5.2.1 Desky Arduino

Lze vybírat z mnoha typů desek Arduino dostupných na trhu, vývojové desky Mini-Micro-Nano-Pico, klasické, Mega desky, specializované. Jejich rozdíl je ve velikosti zařízení, výkonu, napájení, počtu vstupů a výstupů, použitého procesoru, velikosti paměti.



Obr. 23 – Ukázka Arduino Mini a Arduino Micro [44]

Arduino UNO

Patří mezi nejpoužívanější vývojovou desku pro Arduino s procesorem ATmega328P. Výhodou je schopnost připojení velkého počtu rozšiřovacích desek, nazývaných shiely. Malá vnitřní paměť patří mezi nevýhody, je omezeno ukládání dat a velikost nahrávání programu. Má 6 analogových vstupních a 14 digitálních vstupně-výstupních pinů. [4]



Obr. 24 – Arduino UNO [44]

Arduino Leonardo

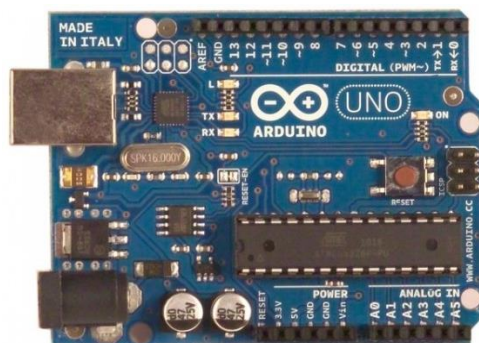
Vzhledově je podobný Arduino Uno, ale liší se procesorem ATmega32u4. Deska má digitálních 20 vstupně/výstupních pinů a 12 analogových vstupů, připojení mikro USB, tlačítko reset. [5]



Obr. 25 – Arduino Leonardo [6]

Aruiно GRBL

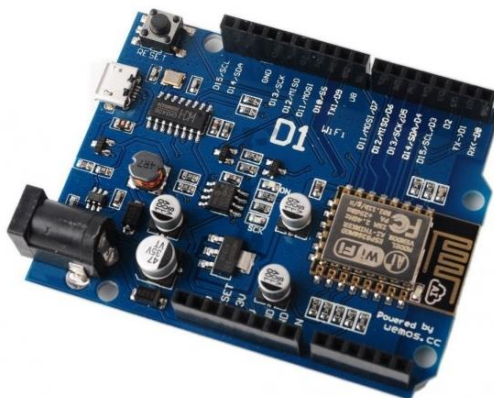
Deska vhodná pro řízení CNC strojů a 3D tiskáren. Má nahraný interpreter G-kódu GRBL, který je volně šiřitelný. Lze použít k ovládání krokových motorů.



Obr. 26 – Arduino GRBL [4]

5.2.2 Přídavné moduly tzv. shieldy

Většinou se nepoužívá základní deska Arduino samostatně. Do konektorů desky se zasouvají přídavné desky (shieldy), které rozšiřují jeho možnosti využití. Přídavných modulů existuje mnoho, buď nabízených přímo výrobcem, nebo od neoriginálních výrobců. Jednoduchým shieldem může být například deska s plošným spojem, kterou je možno osadit obvody podle své potřeby. Existují i speciální shieldy pro komunikaci bluetooth, připojení k internetu, k WiFi síti (Obr. 27), zobrazování displeje, zasílání a přijímání SMS zpráv nebo pro ovládání motorů. [16]



Obr. 27 – Příklad Arduina s WiFi shieldem [16]

5.2.3 Arduino programování

Programovací jazyk pro Arduino je založený na jazyce Wiring, podobný jazyku C/C++. Arduino software (IDE) je ze stránek výrobce ke stažení zdarma. Výhodou je, že ho lze použít pro stolní počítače s různými operačními systémy – Windows, Linux, Mac OS X. Prostředí, ve kterém se program píše si lze stáhnout ze stránek Arduina. [5]







Vývojové prostředí

Integrované vývojové prostředí (IDE) (Obr. 28) obsahuje spoustu nástrojů, je určeno pro psaní programů (sketches), které mají příponu .ino. Bílé okno s textovým editorem je určeno pro psaní kódu. Pod ním černé okno obsahuje zprávy o činnosti a běhu programu, zobrazí se v něm i informace o nahrávání programu do Arduina, popřípadě chybové hlášky. V pravém dolním rohu je text s informacemi o vybrané desce a sériovém portu, na který je připojena. Najdeme tu i záložku pro výběr typu Arduina, připojení sériových linek nebo ukázkové příklady. [5]



Obr. 28 – Ukázka okna vývojového prostředí [5]

Záložky v nástrojové liště:

-  Verify – zkontroluje, zda nejsou v kódu chyby
-  Upload – zkompiluje program a uploaduje ho na I/O panel Arduina
-  New – vytvoří nový sketch
-  Open – otevře nabídku všech programů
-  Save – uloží sketch
-  Serial Monitor – Otevře monitor sériové linky

Další příkazy jsou v nabídkách: File (soubor), Edit (upravit), Sketch, Tools (nástroje) a Help (nápověda). Vytvořené programy se ukládají do složky sketchbook, která se automaticky vytvoří po prvním spuštění IDE v dokumentech Windows. Ve vývojovém prostředí Arduina lze pracovat s více záložkami, což umožňuje pracovat

s více soubory, ale i se soubory různého typu (bez koncovky – kód Andruina, .c – jazyka C, .cpp – jazyka C++ nebo .h – soubory header). [5]

Nahrávání kódu

Než se budou nahrávat sketch do Arduina, musí se vybrat správný sériový port z nabídky Tools>Serial Port a správná deska z Tool>Board. Pak se stiskne tlačítko Upload v nástrojové liště, desky Arduino se budou automaticky resetovat a začne nahrávání. Při nahrávání blikají na desce diody RX a TX, v prostředí Arduina se zobrazí zpráva o ukončení uploadu, nebo se ohlásí chyba. [5]

Knihovny (libraries)

Knihovny jsou kódy, které usnadní připojení modulu, displeje, senzoru a umožňují s ním komunikovat a ovládat. Existuje spousta knihoven (předpřipravených balíčků kódu), které můžeme do programu přidat a tím ho rozšířit o potřebnou funkci. Před používáním se musí knihovna nainstalovat. Některé knihovny jsou součástí Arduina, jiné lze vybrat na oficiálních stránkách webu. Knihovny se přidávají k základnímu programu Sketch>Import Library, vybereme požadovanou funkci, do programu se přidá příkaz #include nazev_knihovny. V novějších verzích je možno načítat knihovny souboru .zip. [5]

5.2.4 Struktura programu

Arduino má dvě hlavní funkce, které je nutné vždy použít. Setup(), přípravnou funkci volanou po deklaraci proměnných na začátku programu a funkci loop() výkonnou, která obsahuje kód opakovaný ve smyčce. Po RESETu proběhne inicializace a pak se ve smyčce provádí naprogramovaná akce, až do vypnutí. [5]

Závorky () – předávají parametry, {} – ohraničují příkazy, obojí závorky jsou povinné, píšou se, i když neobsahují žádný příkaz. Jednotlivé příkazy jsou odděleny středníkem. [40]

Základní struktura programu:

```
void setup()
{ ...příkazy;...}
```

```
void loop()
{ ...příkazy;...}
```

Komentáře:

Dvě lomítka // komentářem je do konce řádky (řádkový komentář).
Potřebujeme-li text víceřádkový, napíšeme ho do /* komentář */

Proměnné

Pro opakované použití v programu se číselné hodnoty nebo texty pojmenují. Deklarace proměnných může být kdekoli v programu, ale před jejich prvním spuštěním. To znamená, že přiřadíme jméno, typ proměnné a popřípadě její počáteční hodnotu. [40]

5.3 Řídicí systém

Řídicí systémy jsou hlavní součástí CNC strojů, na jejich přesnosti závisí kvalita obrábění, zvyšují produktivitu a snižují cenu výroby. Programy již jsou schopny vypočítat potřebný čas na výrobu součásti. Třiosé obrábění 3D umožňuje obrábět ve třech osách X, Y a Z současně. Je zde nutná činnost interpolátoru, který počítá pohyb nástroje ve dvou osách v závislosti na ose třetí. [21]

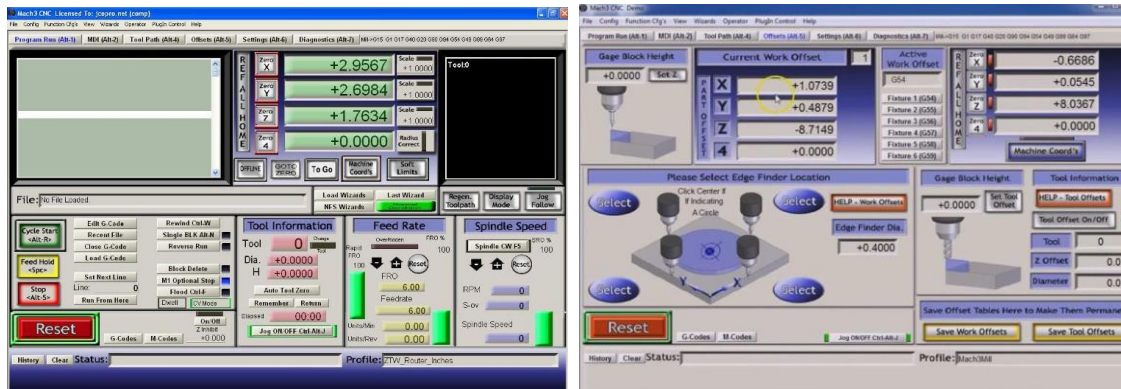
Řídicí systémy podle způsobu programování jsou s absolutním programováním, kde se všechny programovatelné rozměry vztahují k nulovému bodu W a lze ze souřadnic určit polohu a rozměr součásti. Druhým způsobem je přírůstkové programování, kdy se rozměrem uvažuje přírůstek k předchozí poloze nástroje, který je méně používaný. [21]

V následující části je přehled používaných programů pro ovládání (řízení) malých CNC strojů.

5.3.1 Mach3

Používaný software pro řízení malých CNC frézek od firmy ArtSoft. Přes paralelní port umožňuje připojení stolního počítače nebo laptopu s operačním systémem Windows. Demoverze programu Mach3, která je omezena počtem řádků G-kódu v programu, je ke stažení zdarma. Program nabízí ruční polohování, kontrolu otáček

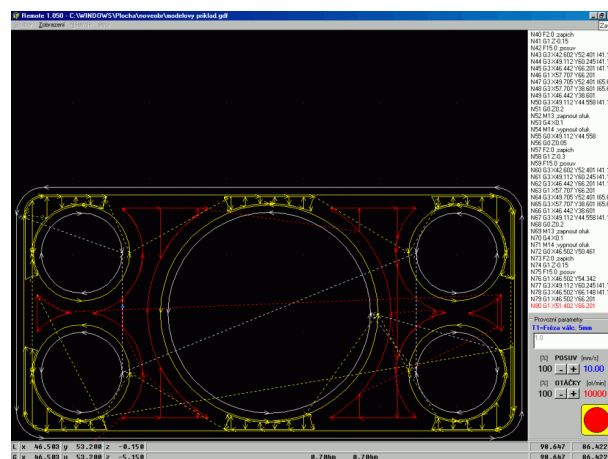
vřetene, připojí-li se externí kamera, lze v programu zobrazit stroj. Program je přehledný a uživatelsky přístupný. [25]



Obr. 29 – Ukázka prostředí Mach3 [25]

5.3.2 Armote

Některé hobby frézky dostupné na našem trhu, např. Gravos a Numco, používají k ovládání software Armote pod Windows, který není samostatně prodejný. Program má jednoduché ovládání, lze z jednoho počítače ovládat i několik strojů. Za chodu stroje umožňuje program měnit otáčky vřetene, rychlost posuvů, zobrazit dráhu a polohu nástroje. Má tlačítko pro [14]



Obr. 30 – Ukázka prostředí programu Armote [14]

5.3.3 LinuxCNC

Software LinuxCNC je určený pro řízení CNC strojů, na operačním systému Debian, Ubuntu a je volně dostupný včetně přidavných funkcí. Výhoda programu spočívá v možnosti vytvoření vlastního grafického rozhraní, v programovacím jazyce

Python si přidat nebo upravit dostupný kód programu. Může ovládat krokové motory i servomotory. [24]



Obr. 31 – Uživatelské rozhraní LinuxCNC [24]

6 Konstrukce CNC frézky

Konstrukce frézky bude odpovídat jejímu využití. Frézka má sloužit k obrábění lehce obrobitelných materiálů, jako je umělé dřevo, plast a slitiny hliníku. Při návrhu se bude vycházet z požadovaných minimálních rozměrů pracovního prostoru, které jsou 200 x 150 x 100 mm. Konstrukce musí být také kompromisem mezi dostatečnou tuhostí frézky a co nejmenší hmotností, aby bylo možné se strojem manipulovat, jelikož bude určen i pro výukové účely.

Při návrhu je také důležité zohlednit využití co nejvíce dostupných komponentů na trhu, aby nebylo nutné vyrábět velké množství součástek. A to jak z časových důvodů, tak i z důvodu omezených možností výroby ve školních laboratořích katedry KSA. I přesto se v některých případech výroba, hlavně některých jednodušších součástí oproti koupi vyplatí. Výroba těchto dílů se bude realizovat především na obráběcím stroji Mazak Integrex 100-IV.

Základní konstrukce bude z hliníkových profilů, návrh se realizuje v programu May-CAD, což je specializovaný software uzpůsobený k sestavování profilů včetně jejich doplňků od výrobce firmy MayTec. Konstrukce bude převedena do konstrukčního programu Autodesk Inventor Professional 2016, kde bude doplněna o další díly, které se již budou přímo modelovat v tomto programu. Další prvky konstrukce budou převážně z hliníkových desek, dodávaných již v potřebných rozměrech.

Základní parametry frézky, ze kterých bude návrh konstrukce frézky vycházet, jsou shrnuty v tabulce (Tab. 7). Další parametry budou v průběhu konstrukčních návrhů doplněny v závislosti na kontrolních výpočtech a použitých komponentech.

Tab. 7 – Navržené parametry pro konstrukci frézky

Specifikace	Parametry
Rozsah posuvu - osa X	200 mm
Rozsah posuvu - osa Y	150 mm
Rozsah posuvu - osa Z	100 mm
Rychloposuv	2000 mm/min
Max. průměr frézy	7 mm
Rozměry stolu	320 mm x 460 mm
Přesnost stroje	0,1 mm

6.1 Volba vřetene a pohonu

V této kapitole jsou provedeny výpočty, na základě kterých je zvoleno vřeteno a pohon posuvových os stroje vzhledem k požadavkům definovaných v zadání.

Při výpočtech se bude vycházet z maximálních dosažených hodnot při obrábění. Pro slitiny hliníku je řezný odpor mnohem větší než pro umělé dřevo a proto se budou tyto hodnoty uvažovat při výpočtech. Technologické parametry pro obrábění, šířka a hloubka třísky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 8). V tabulce (Tab. 9) je uveden Taylorův rozvoj a měrný řezný odpor třísky. Hodnoty jsou převzaty z katalogu firmy Pramet. [32]

Tab. 8 – Technologické parametry materiálu

Obráběný materiál	Parametry obrábění
Slitiny hliníku	max. šířka 7 mm, max. hloubka 2 mm

Tab. 9 – Materiálové konstanty obráběného materiálu

Název	Hodnota
Měrný řezný odpor na 1 mm ² třísky	$k_{c11} = 700$ MPa
Nárůst měrné řezné rychlosti	$m_c = 0,25$

6.1.1 Výpočet sil a řezných podmínek při obrábění

Výpočty se budou provádět pro maximální zatížení stroje. Proto se při výpočtech budou zohledňovat maximální možné hodnoty dosažené při obrábění na frézce, jako průměr frézy, největší odpor materiálu, velikost maximálních řezných podmínek vycházejících z použitého materiálu.

Největší průměr frézovacího nástroje se bude uvažovat s ohledem na použitou upínací kleštinu ER11, průměr frézy bude 7 mm. Další parametry frézy a řezné podmínky při frézování jsou uvedeny v tabulce (Tab. 10). Doporučené řezné podmínky pro frézy při obrábění slitin hliníku s nižším obsahem křemíku ($Si \leq 0,45$) jsou stanoveny z katalogu od firmy Pramet. [32]

Výpočty jsou provedeny s použitím literatury [26, 41].

Tab. 10 – Parametry frézy

Název	Hodnota
Průměr nástroje	$D = 7 \text{ mm}$
Počet zubů	$z = 2$
Posuv na zub	$s_z = 0,08 \text{ mm}$
Hloubka záběru	$a_p = 2 \text{ mm}$
Šířka záběru	$a_e = 7 \text{ mm}$
Řezná rychlost	$v_c = 100 \text{ m/min}$
Nástrojový úhel čela	$\gamma_0 = 0^\circ$
Úhel nastavení ostří	$\kappa_r = 90^\circ$

Potřebné otáčky nástroje při frézování

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad \Rightarrow \quad n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 7} = 4547 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (1)$$

Rychlost posuvu při frézování

$$v_f = s_z \cdot z \cdot n = 0,08 \cdot 2 \cdot 4547 = 727,57 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (2)$$

Střední tloušťka třísky při frézování

$$h_m = s_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} = 0,08 \cdot \sqrt{\frac{7}{7}} = 0,08 \text{ mm} \quad (3)$$

Řezný odpor

$$k_c = k_{c11} \cdot h_m^{-mc} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) \quad \Rightarrow \quad \text{pro } \gamma_0 = 0^\circ, h_m = s_z = 0,08 \text{ mm} \quad (4)$$

$$k_c = k_{c11} \cdot s_z^{-mc} = 700 \cdot 0,08^{-0,25} = 1316,21 \text{ MPa} \quad (5)$$

Potřebný výkon vřetene při frézování

$$P = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = \frac{2 \cdot 7 \cdot 727,57 \cdot 1316,21}{60 \cdot 10^6} = 0,223 \text{ kW} \quad (6)$$

Řezná síla při frézování působí na každý zub, který je právě v záběru

$$F_c = k_c \cdot a_p \cdot s_z = 1316,21 \cdot 2 \cdot 0,08 = 210,59 \text{ N} \quad (7)$$

Krouticí moment na nástroji při frézování

$$M_k = F_c \cdot \frac{D}{2 \cdot 1000} = 210,59 \cdot \frac{7}{2 \cdot 1000} = 0,74 \text{ Nm} \quad (8)$$

Tab. 11 – Vypočtené hodnoty pro volbu vřetene

Název	Hodnota
Průměr frézy	7 mm
Otáčky	4547 ot/min
Výkon vřetene	223 W
Krouticí moment	0,74 Nm

6.1.2 Volba vřetene

Při volbě vřetene se vycházelo z vypočtených hodnot (viz Tab. 11).



Obr. 32 – Vřeteno s PWM regulátorem [3]

Tab. 12 – Parametry vřetene

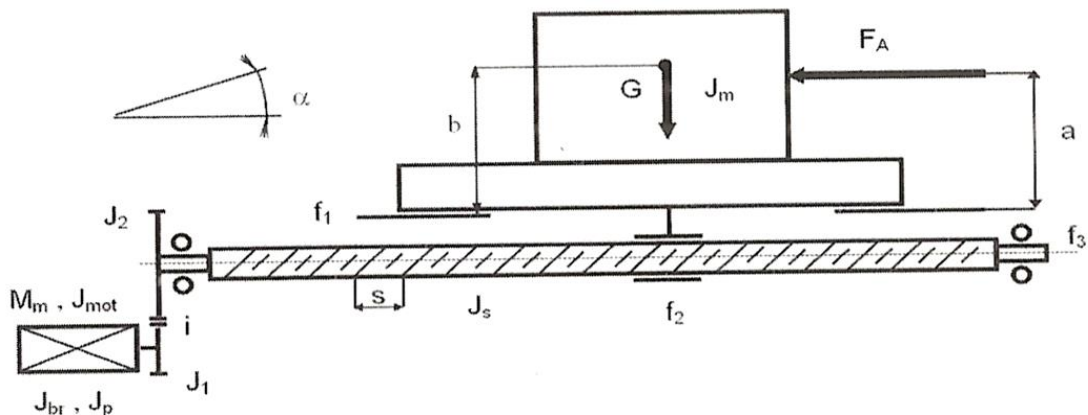
Název	Hodnota
Základní rozměr	průměr 52 x 186 mm
Velikost kleštiny	E11
Výkon	400 W
Otáčky	3000 - 12000 ot/min
Pracovní napětí	48 V

PWM regulátor otáček stejnosměrných motorů

Regulátor PWM (pulse width modulation = pulzně šířková modulace) slouží k řízení otáček stejnosměrných motorů bez snížení síly motoru. Proud je do řízeného motoru dodáván v pulzech a regulace otáček spočívá ve změně šířky těchto pulzů. Proud má tedy stále stejnou velikost, jen se mění doba, po kterou prochází motorem. [43]

6.2 Volba krokových motorů

Pro pohon lineárního posuvu v ose X je použito trapézového šroubu s bronzovou trapézovou maticí. I když oproti kuličkovým šroubům nemají trapézové tak vysokou přesnost a účinnost, tak pro použití na tomto stroji jsou jejich parametry dostačující. Dalším faktorem mluvícím pro trapézové šrouby je i to, že jejich cena je výrazně nižší, než cena kuličkových šroubů. Trapézový šroub bude použit i pro pohon os Y a Z.



Obr. 33 – Posuvová souřadnice X [26]

6.2.1 Výpočet momentu pro volbu motoru

Výpočty potřebného krouticího momentu pro volbu krokových motorů, pro provedeny s použitím literatury [26].

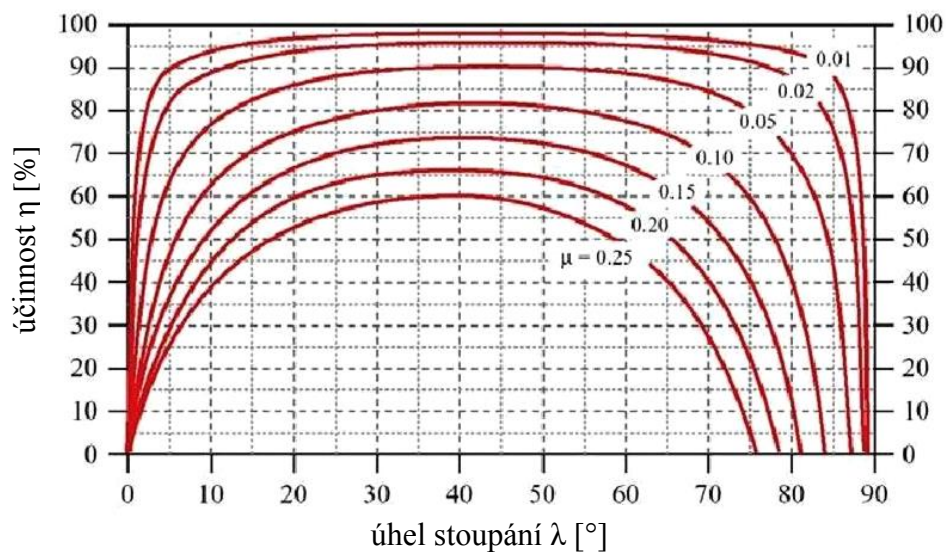
Byl zvolen trapézový šroub o průměru 10 mm se stoupáním 2 mm, který je běžně dostupný. Šroub bude oboustranně uložen v kuličkových ložiskách, parametry f_1 , f_2 a f_3 jsou dány tabulkově, hodnota η_s je odečtena z grafu.

Tab. 13 – Parametry trapézového šroubu pro výpočet

Název	Hodnota
Síla axiální (= F_c)	$F_A = 210,59 \text{ N}$
Stoupání (ϕ šroubu)	$s = 2 \text{ mm}$
Průměr trapézového šroubu	$d_s = 10 \text{ mm}$
Střední ϕ trapézového šroubu	$d_s = 8 \text{ mm}$
Průměr hřídele pro ložisko	$d_L = 7 \text{ mm}$
Součinitel tření ve vodicích plochách	$f_1 = 0,15$
Součinitel tření na šroubu	$f_2 = 0,003$
Součinitel tření na poloměr čepu	$f_3 = 0,003$
Hmotnost portálu	$m = 10 \text{ kg}$
Tíhové zrychlení	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Účinnost převodu	$\eta_p = 1$
Účinnost šroubu	$\eta_s = 0,45$
Účinnost ložisek	$\eta_l^j = 0,92$
Převod (pro přímý pohon)	$i = 1$

Úhel stoupání λ – pro odečtení z grafu účinnosti trapézového šroubu s lichoběžníkovým závitem (η_s). (Obr. 34)

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{s}{\pi \cdot d_n} = \frac{4}{\pi \cdot 10} \quad \Rightarrow \quad \lambda = 3,64^\circ \quad (9)$$



Obr. 34 – Účinnost šroubu s lichoběžníkovým závitem

Statické hledisko

Potřebný moment motoru

$$M_m = \frac{F_A \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p} + M_{zsrhm} \quad (10)$$

Moment zátěže redukovaný na hřídel motoru M_{zsrhm} je složen ze složek:

- Moment od tíhové složky působící při skloněném vedení

$$M_{GT} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c}$$
$$\Rightarrow \alpha = 0^\circ \Rightarrow \sin \alpha = 0 \Rightarrow M_{GT} = 0 \text{ Nm} \quad (11)$$

- Moment zátěže od třecích sil přesouvaných hmot

$$M_G = \frac{m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^j \cdot \eta_p}$$
$$\Rightarrow M_G = \frac{10 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,002}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,45 \cdot 0,92 \cdot 1} = 0,01131 \text{ Nm} \quad (12)$$

- Moment zátěže od třecích sil v ložisku a předepnutí šroubu

$$M_L = \frac{0,5 \cdot (F_A + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_L \cdot f_3}{i \cdot \eta_p} \quad (13)$$
$$\Rightarrow M_L = \frac{0,5 \cdot (210,59 + 10 \cdot 9,81 \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,15) \cdot 0,008 \cdot 0,003}{1 \cdot 1} = 0,00237 \text{ Nm}$$

$$M_{KSM} = \frac{s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^j} \cdot (1 - \eta_s^2) + \frac{0,5 \cdot (F_A + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^j}$$
$$\Rightarrow M_{KSM} = \frac{0,002}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,92} \cdot (1 - 0,45^2) + \frac{0,5 \cdot (210,59 + 10 \cdot 9,81 \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,003) \cdot 0,008 \cdot 0,003}{1 \cdot 1 \cdot 0,92} = 0,003215 \text{ Nm} \quad (14)$$

- Moment při redukci sil na hřídel motoru

třecí síla v kluzném vedení pro $\alpha = 0^\circ$, $a = 0 \text{ mm}$

$$F_{TV} = \left(\frac{3 \cdot F_A \cdot a}{L} \right) \cdot f_1 + m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha$$

$$\Rightarrow F_{TV} = 10 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \cdot \cos 0^\circ = 14,715 \text{ N} \quad (15)$$

$$M_F = \frac{F_{TV} \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^j \cdot \eta_p}$$

$$\Rightarrow M_F = \frac{14,715 \cdot 0,002}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,45 \cdot 0,92 \cdot 1} = 0,01131 \text{ Nm} \quad (16)$$

Celkový statický moment zátěže redukovaný na hřídel motoru

$$M_{zsrhm} = M_{GT} + M_G + M_L + M_{KSM} + M_F$$

$$\Rightarrow M_{zsrhm} = 0 + 0,01131 + 0,00237 + 0,003215 + 0,01131 = 0,02821 \text{ Nm} \quad (17)$$

Potřebný moment motoru:

$$M_m = \frac{F_A \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p} + M_{zsrhm} =$$

$$\Rightarrow M_m = \frac{210,59 \cdot 0,002}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1} + 0,02821 = 0,095 \text{ Nm} \quad (18)$$

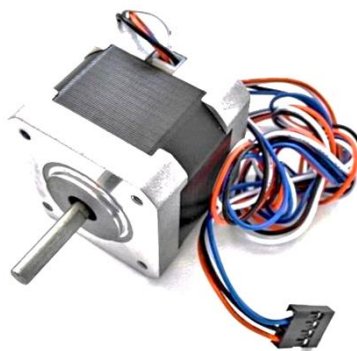
Tab. 14 – Vypočtené hodnoty pro volbu krokového motoru

Název	Hodnota
Moment motoru	0,095 Nm

6.2.2 Volba krokového motoru

Na základě vypočtených hodnot a velikosti momentu motoru pro pohon trapézových šroubů byl zvolen motor SX17-1005VLQCEF, který má jmenovitý moment 0,52 Nm. Byl vybrán motor s vyšší hodnotou jmenovitého momentu, jelikož tato hodnota vyjadřuje statický moment motoru a při zatížení a vyšších otáčkách skutečný moment motoru výrazně klesá. Je volený proto, aby se zajistil dostatečný

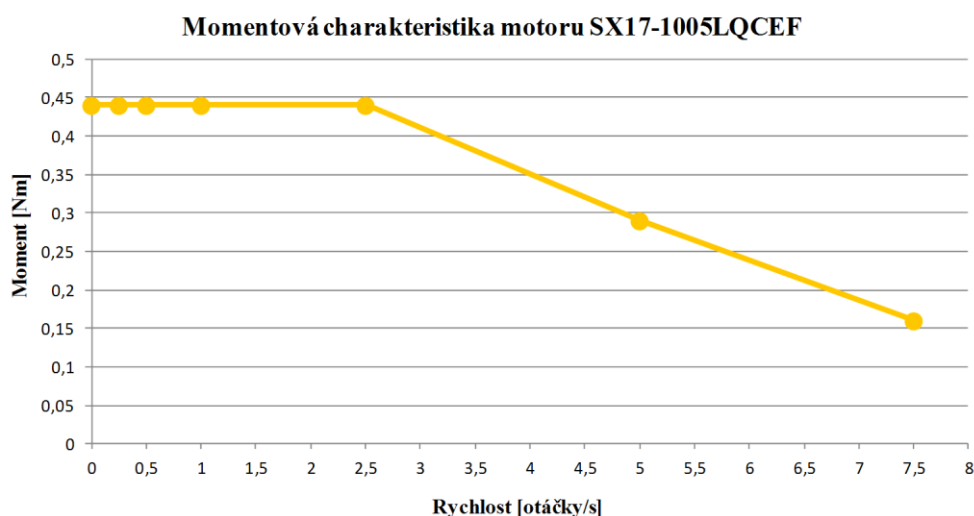
moment i při zatížení motoru. Budou potřeba tři tyto motory, neboť bude stejný pohon pomocí trapézových šroubů na všech osách.



Obr. 35 – Krokový motor SX17-1005VLQCEF [37]

Tab. 15 – Parametry krokového motoru

Název	Hodnota
Statický moment motoru	0,52 Nm
Jmenovitý proud	1 A



Obr. 36 – Momentová charakteristika motoru SX17-1005VLQCEF

6.2.3 Návrh a kontrola ložisek pro uložení trapézového šroubu

Trapézový šroub bude uložen ve dvou radiálních kuličkových ložiskách. Jedno ložisko bude uloženo pevně a druhé volně. Jednořadá kuličková ložiska jsou univerzální ložiska, nerozebíratelná, velmi odolná s minimální údržbou, schopné pracovat s vysokými otáčkami. Další výhodou je, že mohou přenášet radiální i axiální zatížení. Je zvoleno radiální kuličkové ložisko typ 607 a je provedena jeho kontrola.

Tab. 16 – Tabulkové parametry navrženého ložiska typ 607

Název	Hodnota
Axiální zatížení ložiska	$F_a = 150 \text{ N}$
Radiální zatížení ložiska	$F_r = 10 \text{ N}$
Základní dynamická únosnost	$C = 2838 \text{ N}$
Základní statická únosnost	$C_0 = 1078 \text{ N}$
Vnitřní průměr ložiska	$d_L = 7 \text{ mm}$
Vnější průměr ložiska	$D_L = 19 \text{ mm}$
Šířka ložiska	$b = 6 \text{ mm}$

Základní trvanlivost ložiska

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3 \quad (19)$$

Statické zatížení ložiska

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \text{ N} \quad (20)$$

Poměr skutečných zatížení

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{150}{10} = 15 \quad (21)$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{150}{1078} = 0,139 \quad (22)$$

$$\text{odečteno z tabulek} \Rightarrow e = 0,34 \Rightarrow X = 0,56 \quad Y = 1,31$$

Vypočtené statické zatížení

$$P = 0,56 \cdot 10 + 1,31 \cdot 150 = 202,1 \text{ N} \quad (23)$$

Základní trvanlivost ložiska v otáčkách

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \left(\frac{2838}{202,1} \right)^3 = 2709 \cdot 10^6 \text{ ot} \quad (24)$$

Základní trvanlivost ložiska v provozních hodinách

$$L_{10h} = L_{10} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = 2769 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1000} = 46150 \text{ hod} \cong 5 \text{ let} \quad (23)$$

Trvanlivost ložiska je dostatečná.

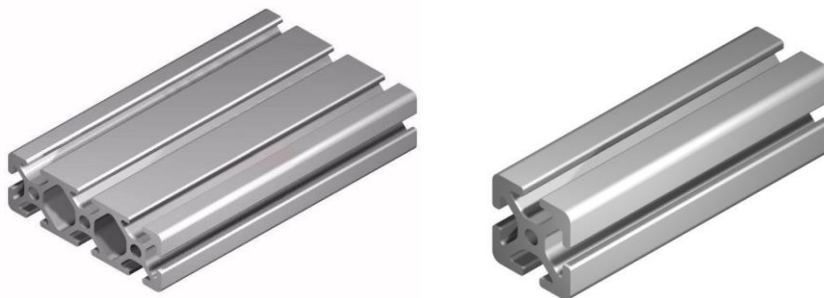
6.3 Návrh rámu stroje

Návrh základní konstrukce rámu stroje a použitý materiál.

6.3.1 Hliníkové profily

Jako základní prvky rámu stroje jsem zvolil hliníkové profily, které se používají všude tam, kde je požadována vysoká odolnost materiálu vůči korozi, nízká hmotnost, dobrá svařitelnost a možnosti povrchové úpravy. Jedná se o profilované tyče různých tvarů. Základní tvary jsou např. hliníkové profily tvaru U, L, T, O (trubky), I (ploché tyče) nebo jekly. Dále to může být tzv. systém kombi, což jsou hliníkové profily různě tvarované, které se dají pomocí různých doplňků velmi jednoduše vzájemně spojovat a tím vytvářet kompaktní konstrukce.

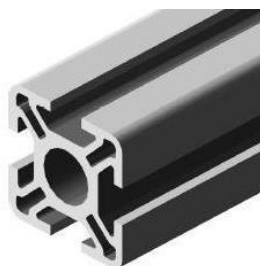
Pro rám stroje byly vybrány hliníkové profily od německého výrobce MayTec dodávané společností moas cs s.r.o. [30]



Obr. 37 – Hliníkové profily [30]

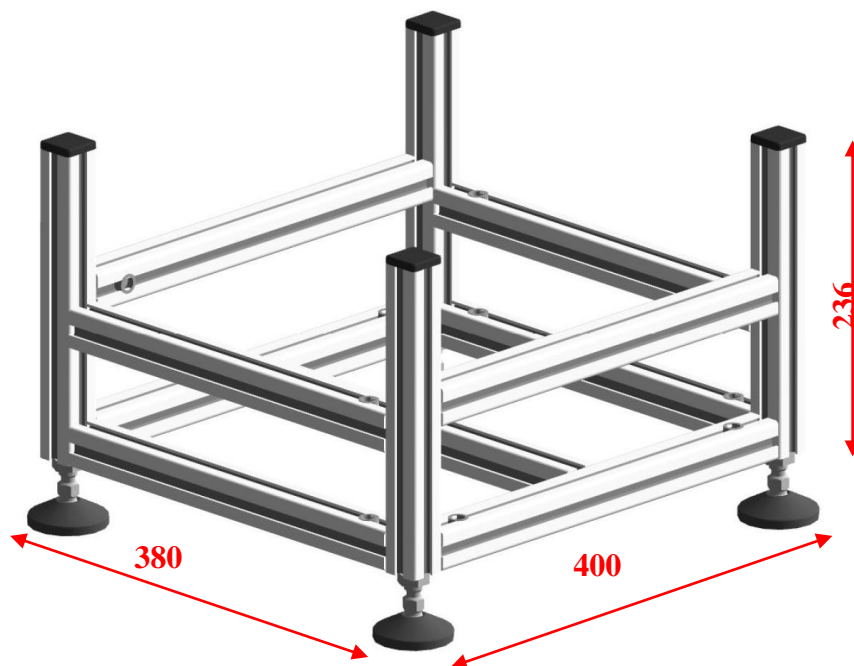
6.3.2 Rám

Konstrukce rámu frézky je tvořena hliníkovými profily o rozměrech 30 x 30 mm. Uspořádání konstrukce s jejími základními rozměry je zobrazeno na obrázku (Obr. 39).



Obr. 38 – Hliníkové profily 30 x 30 mm

Ve svislých profilech, v rozích konstrukce jsou vyříznuty závity M14 pro našroubování nastavitelných noh (Obr. 40), pomocí kterých se vyrovnává nerovnost povrchu ke správnému ustavení stroje.



Obr. 39 – Návrh konstrukce rámu a jeho hlavní rozměry

Obr. 40 – Nastavitelná noha

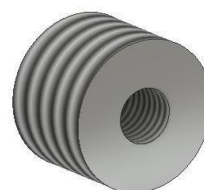


Spojování profilů

Spojování jednotlivých profilů probíhá následovně. Do příčných a podélných profilů jsou vyřezány závity M14, do kterých se našroubuje vyrobená vložka (Obr. 42), která plní funkci redukce průměru. Je to váleček s vnějším závitem M14 a vnitřním závitem M6, do kterého se našroubuje šroub. Použije se šroub s límcem s označením ISO 7380 (Obr. 41), který se zahákne do drážky jednoho profilu a do druhého se skrze vložku našroubuje.

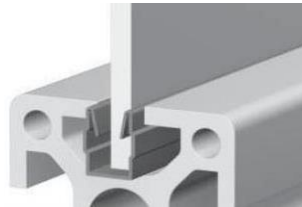


Obr. 41 – Šroub s límcem - ISO 7380 [302]

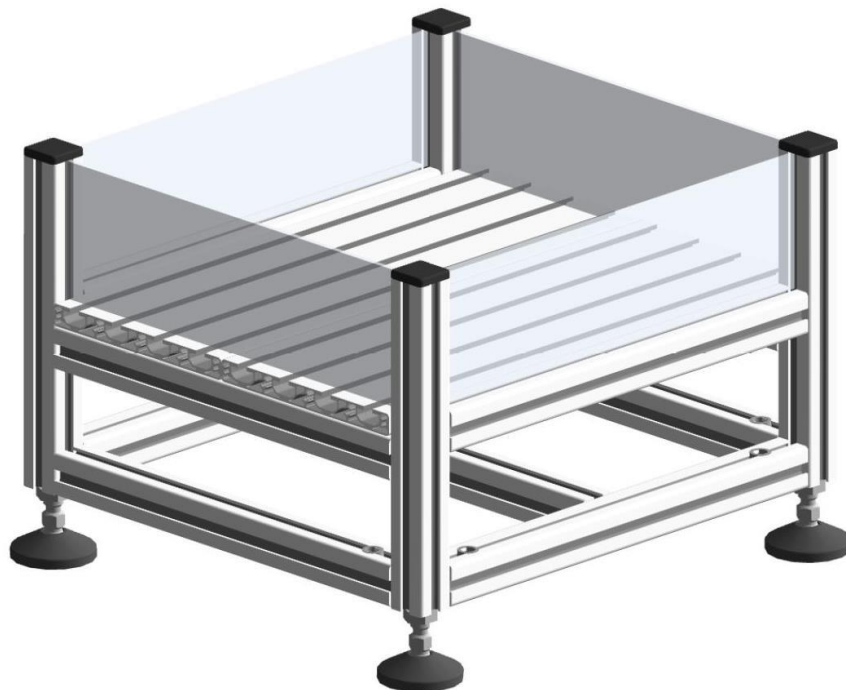


Obr. 42 – Vyrobená vložka

V horním patře konstrukce nad pracovním stolem jsou do drážek profilů vloženy lišty z polypropylenu, ve kterých jsou uchyceny ochranné desky z polykarbonátu, které ve značné míře zabraňují odlétávání třísek při obrábění (Obr. 44). Ochranné desky jsou vysoké 100 mm, jejich výška je omezena pohybem portálu, aby nezměňovaly pracovní prostor stroje.



Obr. 43 – Ukázka uložení krytování do drážky profilu



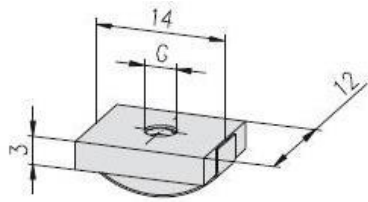
Obr. 44 – Rám frézky s krytáním

Přímo pod horním patrem konstrukce jezdí spodní deska portálu, pod níž je dostatek místa pro umístění zdrojů napětí pro vřeteno a motory stroje, elektrická část je tedy přímo součástí stroje a ke stroji nemusí být žádné přídavné zařízení s elektronikou.

6.4 Návrh pracovního stolu

Pracovní stůl frézky je tvořen dvěma hliníkovými profily o rozměrech 16 x 160 mm o délce 400 mm umístěnými vedle sebe a na koncích posazen na profily

rámu stroje. Do stolu jsou vyvrtány díry, a přes závitové destičky (Obr. 45), které jsou nasunuté v drážkách profilu rámu, je k těmto profilům přišroubován. Upínání materiálu na pracovní stůl je řešeno pomocí standardní T-drážky pro upínky s hranatou maticí.



Obr. 45 – Závitová destička

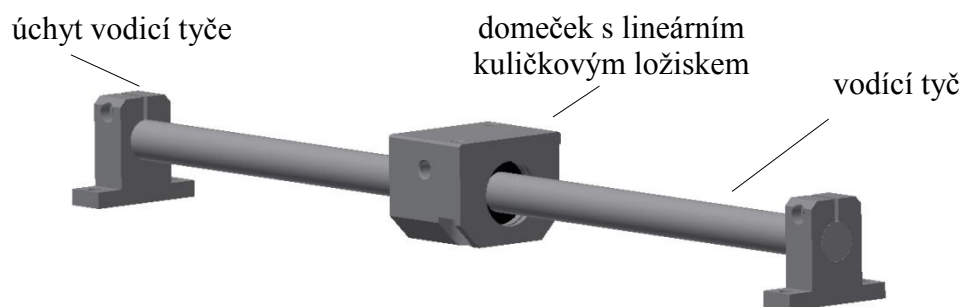


Obr. 46 – Hliníkový profil stolu

6.5 Návrh vedení osy X

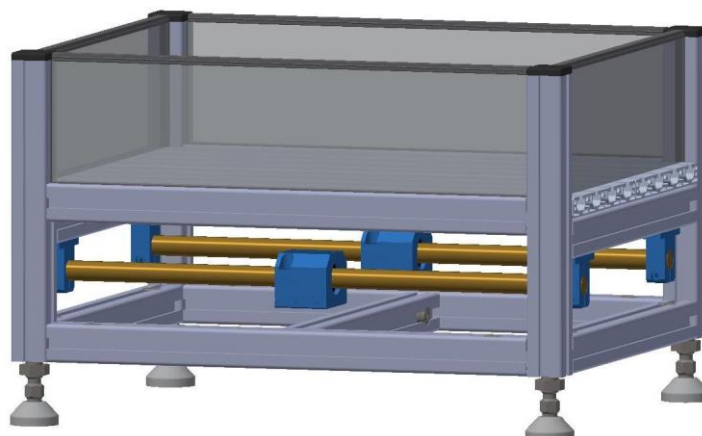
6.5.1 Návrh 1

V prvním návrhu vedení osy x je vedení realizováno pomocí nepodepřených vodicích tyčí o průměru 16 mm uložených v úchytech (Obr. 47). Z důvodu vyšší ceny úchyť vodicích tyčí, jsou úchyty vyrobeny ve školních laboratořích. Domečky s lineárními kuličkovými ložisky, které jezdí po vodicích tyčích, jsou zakoupeny v internetovém obchodě cncshop.cz. [10]



Obr. 47 – Uložení nepodepřené tyče

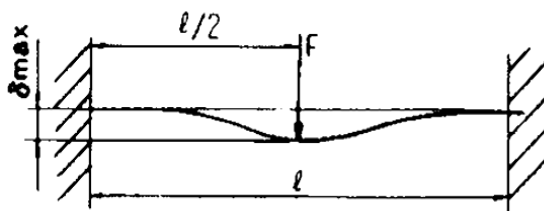
V tomto návrhu (Obr. 48) jsou vodicí tyče zavěšeny na profilu nosící stůl frézky. U použití nepodepřených vodicích tyčí je nutné počítat s tím, že může docházet k jejich průhybu. Tento průhyb, závisící zejména na délce použitých tyčí a na hmotnosti, kterou tyče nesou, může být poměrně značný, a proto je nutné provést kontrolu.



Obr. 48 – Rám frézky s nepodepřenými vodícími tyčemi

6.5.2 Výpočet průhybu vodící tyče

Vodící tyč se uvažuje jako z obou stran vetknutý nosník, zatížený uprostřed silou F . Počítá se maximální průhyb tyče δ_{\max} , tj. průhyb přímo pod působící silou na vzdálenosti $l/2$. (Obr. 49) Velikost zatěžující síly vychází z hmotnosti celého portálu, který vodící tyče ponosou, tato hmotnost byla odhadnuta na 10 kg.



Obr. 49 – Schéma průhybu tyče

Tab. 17 – Parametry pro výpočet průhybu tyče

Název	Hodnota
Modul pružnosti v tahu	$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
Délka tyče	$l = 400 \text{ mm}$
Průměr tyče	$D = 16 \text{ mm}$
Hmotnost portálu	$m = 10 \text{ kg}$
Tíhové zrychlení	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Maximální průhyb tyče

$$\delta_{\max} = \frac{F}{192} \cdot \frac{l^3}{E \cdot I} \quad (24)$$

Moment setrvačnosti tyče

$$I = \frac{\pi \cdot D_t^4}{64} = \frac{\pi \cdot 16^4}{64} = 3217 \text{ mm}^4 \quad (25)$$

Síla působící na tyč

$$F = m \cdot g = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ N} \quad (26)$$

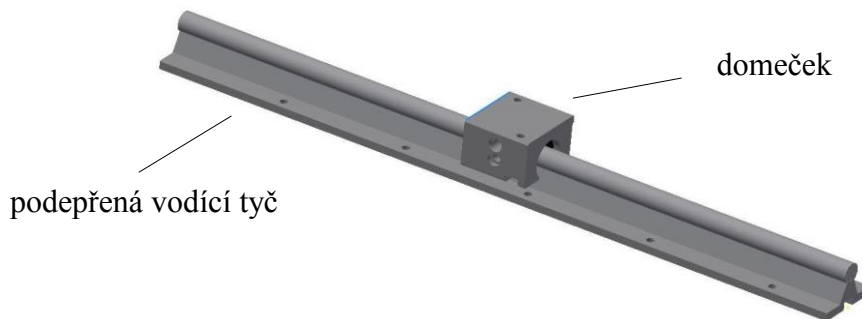
Vypočtený maximální průhyb tyče

$$\delta_{\max} = \frac{49,05 \cdot 400^3}{192 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3217} = 0,024 \text{ mm} \quad (27)$$

Průhyb vodící tyče je 0,024 mm, což je poměrně velký průhyb vzhledem k celkové požadované přesnosti stroje. Proto je nutné pro osu X zvolit jinou variantu vedení.

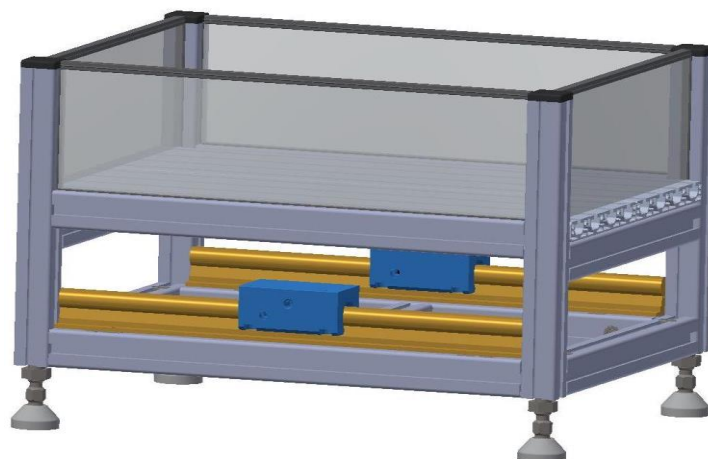
6.5.3 Návrh 2

Další možností realizace vedení osy X je použití podepřených vodících tyčí (Obr. 50). Podpěra tyče zcela eliminuje její průhyb.



Obr. 50 – Podepřená vodící tyč s domečkem

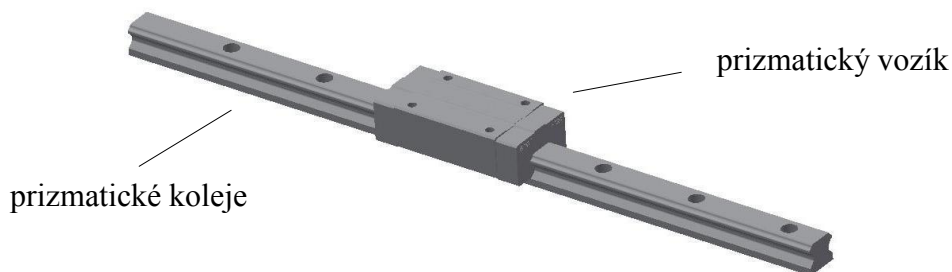
Při použití podepřených tyčí se pro pojezdy používají otevřené domky s otevřenými lineárními kuličkovými ložisky. Nevýhodou této varianty při použitých otevřených ložisek je ten, že při obrábění dochází k působení klopných momentů na vozíky, přičemž je riziko, že může docházet k jejich naklápění. Tato varianta tedy odstraňuje problém s průhybem vodících tyčí, ale nese s sebou riziko naklápění otevřených vozíků při obrábění a tím narušení přesnosti obrábění. Proto je nutné najít řešení, které bude eliminovat průhyb a bude mít i odolnost proti klopným momentům.



Obr. 51 – Rám frézky s podepřenými vodícími tyčemi

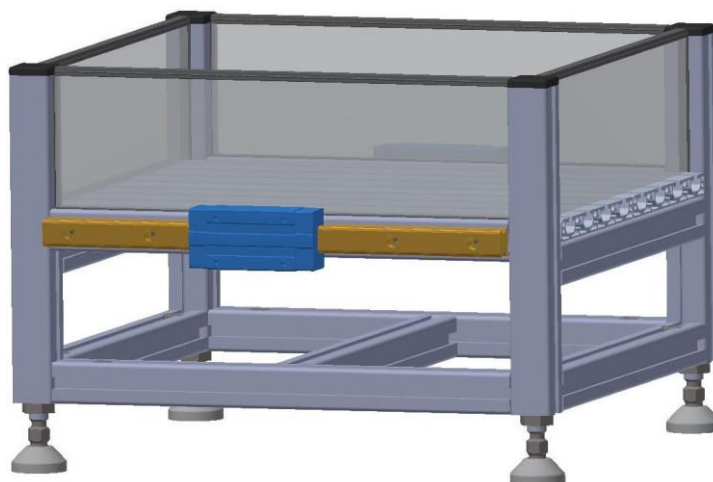
6.5.4 Návrh 3

Dalším možností je použití prizmatických vedení, to je prizmatické koleje s prizmatickým vozíkem (Obr. 52). Tento způsob vedení je co se týče ceny sice nejdražší, ale vyznačuje se právě vysokou odolností proti klopným momentům vznikajících při obrábění. Dalšími výhodami prizmatického vedení je jeho vysoká přesnost a tuhost.



Obr. 52 – prizmatická kolej s prizmatickým vozíkem

Prizmatické vedení lze také umístit z boku konstrukce na profil v rovině pracovního stolu frézky. To má za výhodu jednak to, že se sníží výška bočnic portálu, tím se ušetří materiál a zvýší stabilita celého portálu. Za druhé vznikne pod portálem místo pro uložení zdrojů napětí pro vřeteno a motory stroje a případně pro ostatní elektroniku. I přes vyšší cenu má toto řešení nejvíce výhod a je pro tento stroj neoptimálnějším řešením.



Obr. 53 – Rám frézky s prizmatickým vedením

6.5.5 Pohon osy X

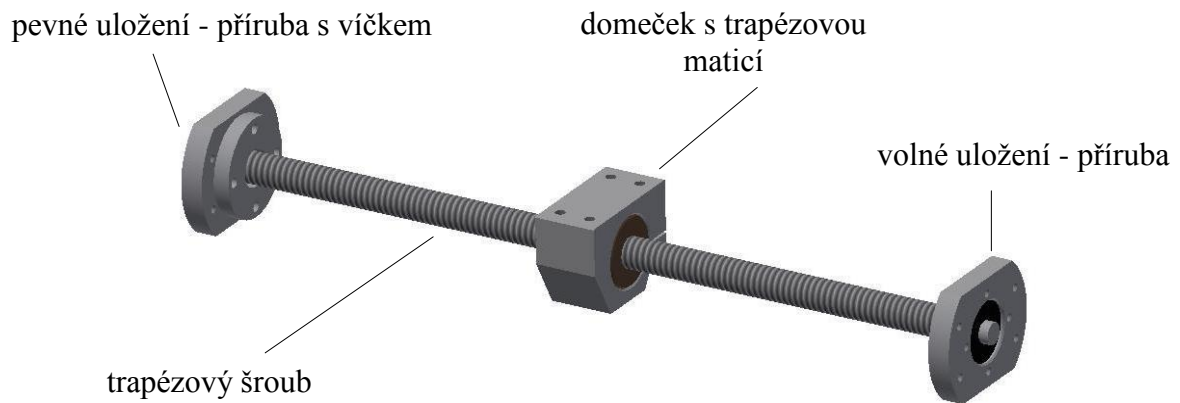
Pro pohon lineárního posuvu v ose X je použit trapézový šroub s bronzovou trapézovou maticí. I když oproti kuličkovým šroubům nemají trapézové šrouby tak vysokou přesnost a účinnost, tak pro použití na tomto stroji jsou jejich parametry dostačující. Dalším faktorem mluvícím pro trapézové šrouby je i to, že jejich cena je výrazně nižší, než cena kuličkových šroubů.

Šroub je poháněn krokovým motorem, který je se šroubem spojen přes pružnou spojku. Bronzová trapézová matice je uložena v domku, který je vyroben ve školních dílnách na stroji Mazak Integrex 100-IV.

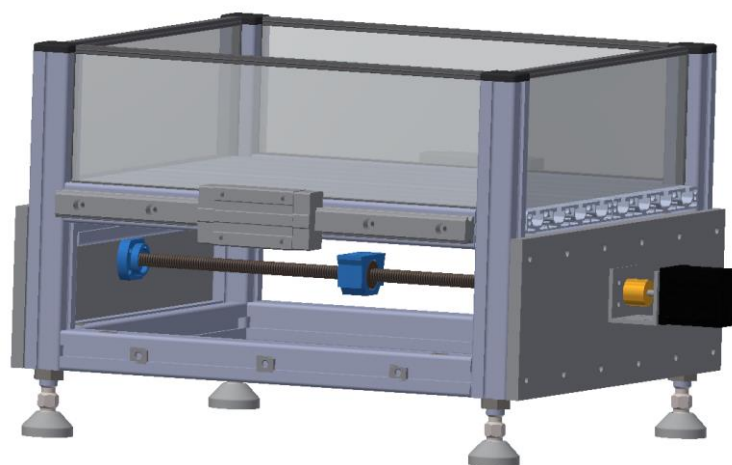


Obr. 54 – Domek – matice – pružná spojka [49]

Konce trapézového šroubu jsou upraveny a uloženy v radiálních kuličkových ložiskách typ 607. Pro uložení ložisek je vyrobena příruba, která je uchycena šrouby do přední a zadní desky, která je připevněna k rámu stroje. Uložení šroubu na straně blíže motoru je pevné, zamezuje posun v radiální i v axiální ose. Na druhé straně je uložení šroubu volné, zamezuje pohybu pouze v axiální ose.



Obr. 55 – Uložení trapézového šroubu



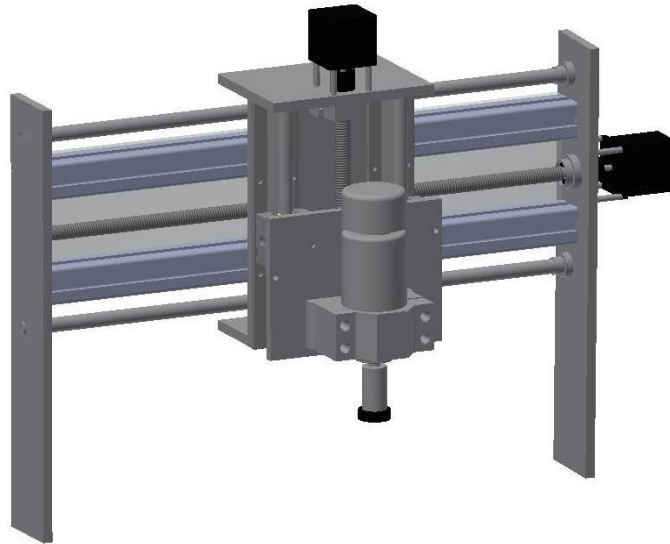
Obr. 56 - Rám frézky s trapézovým šroubem a krokovým motorem

6.6 Návrh portálu

Nejdříve jsou stručně popsány některé z prvních návrhů portálů, jsou definovány jejich nedostatky a návrhy na zlepšení. Následně je podrobněji popsán výsledný návrh, který se bude realizovat.

6.6.1 Návrh 1

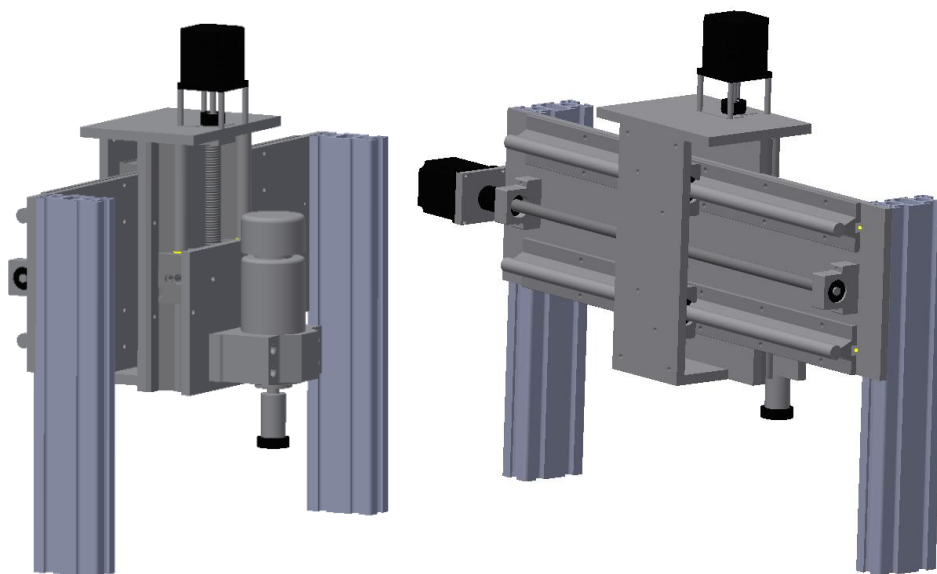
Tento návrh portálu má bočnice tvořeny z hliníkových desek, spojené dvěma hliníkovými profily. Jako vedení v ose Z jsou použity podepřené vodící tyče, pro vedení osy Y nepodepřené vodící tyče. Nepodepřené tyče jsou jednoduše aplikovatelné a oproti podepřeným nezabírají takový prostor. Nevýhodou však je, že u nich dochází k průhybu vlivem nosící hmotnosti. Tento průhyb není tak značný jako při použití nepodepřených tyčí u vedení osy X, stejně však negativně ovlivňuje přesnost při obrábění.



Obr. 57 – Návrh portálu 1

6.6.2 Návrh 2

U tohoto návrhu (Obr. 58) jsou bočnice tvořeny hliníkovými profily příčně spojeny hliníkovou deskou. Pro vedení v ose Y jsou použity podepřené vodící tyče, které jsou upevněny na hliníkové desce za bočnicemi portálu, aby se zamezilo přílišnému vyložení vřetene. Zde však vzniká problém se spojením vozíků jezdících v ose Y s deskou nesoucí vedení osy Z. To vede ke složitější konstrukci, z čehož plyne použití více dílů, a znamená to větší náklady i větší celkovou hmotnost portálu. Také není vhodné použití podepřených tyčí, které jsou použity i pro vedení v ose Z, jak bylo již zmíněno při návrhu osy X.



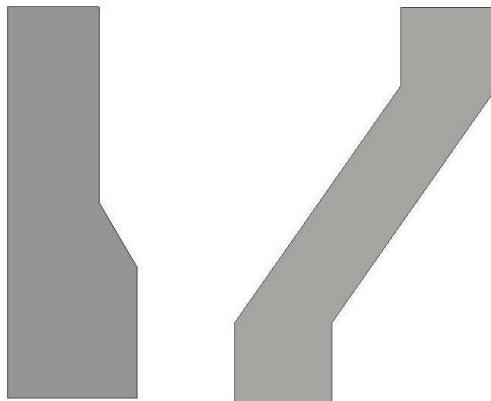
Obr. 58 – Návrh portálu – pohled zředu i zezadu

U obou uvedených návrhů portálů je značnou nevýhodou velké vyložení vřetena, což omezuje pracovní prostor frézky. Ani druhý návrh při umístění vedení osy Y v zadní pozici portálu neodstraní dostatečně problém s vyložení vřetene. Další možností, jak omezit vyložení vřetene je změna konstrukce bočnic portálu

6.7 Návrh konstrukce bočnic portálu

6.7.1 Při použití hliníkových desek

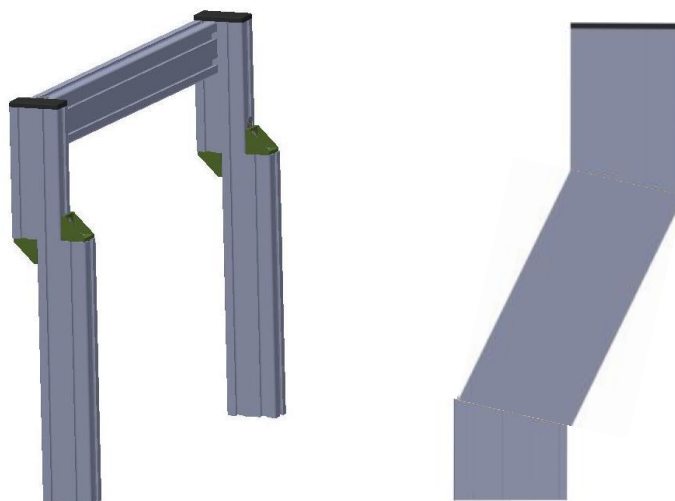
První návrh je hliníková deska se širokou základnou nahoře zúžená, což poskytuje požadované omezení vyložení vřetena. Ovšem nevýhodou je právě široká základna, která omezuje rozsah posuvu stroje v ose X. Druhý návrh omezí vyložení vřetena bez rozšíření základny a tím zmenšení rozsahu osy X. Celý portál by musel být vyroben z jednoho kusu desky, což by se obtížně frézovalo a hlavně by vznikl velký odpad.



Obr. 59 – Návrh bočnic portálu

6.7.2 Při použití hliníkových profilů

V prvním návrhu je bočnice vytvořena ze dvou profilů, které jsou spojeny úhlovými spojkami. U druhého návrhu je bočnice portálu složena ze třech profilů seříznutých pod úhlem. Profily jsou spojeny speciálními kloubovými spojkami. Oproti prvním návrhu je výhodou, že změnou úhlu seříznutí profilů, lze měnit naklonění prostředního profilu a tím optimalizovat správné nastavení a najít nejvhodnější vzdálenost vyložení vřetene. Druhý návrh působí stabilněji a spojení profilů kloubovými spojkami je pevnější než spojení úhlovými spojkami v prvním návrhu.



Obr. 60 – Návrh bočnic portálu z hliníkových profilů

Jako neoptimálnější návrh provedení bočnice portálu je vybrán návrh ze třech hliníkových profilů seříznutých pod úhlem a spojených kloubovými spojkami. (Obr. 61) Jako optimální úhel seříznutí profilů je úhel 13° .



Obr. 61 – Kloubová spojka

6.8 Návrh optimální varianty portálu

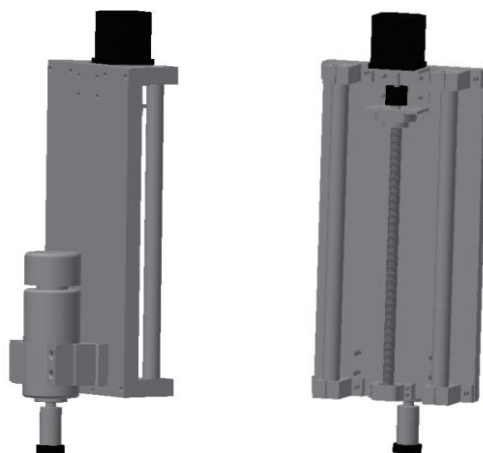
6.8.1 Návrh vedení Y

Pro vedení v ose Y je použito stejně jako u osy X prizmatické vedení, které je připevněno k příčnému profilu spojovacího bočnice. Použití prizmatického vedení eliminuje nevýhody použití nepodepřených vodicích tyčí, kde dochází průhybu tyčí i podepřených vodicích tyčí, kde je problémem naklápění vozíků s otevřeným ložiskem vlivem klopných momentů.

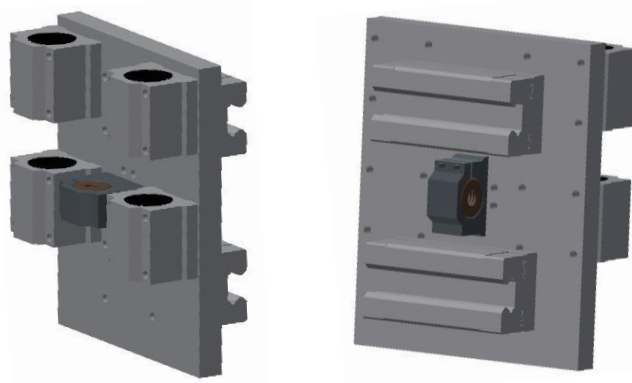
6.8.2 Návrh vedení Z

Lineární vedení posuvové osy Z je realizováno pomocí nepodepřených vodicích tyčí. Tento nejjednodušší typ vedení je pro osu Z naprosto dostačující a není tedy nutné používat mnohem dražší prizmatické vedení. Oproti ostatním osám (X a Y) není vodicí tyč namáhána na ohyb, tudíž nemůže dojít k jejímu nežádoucímu průhybu, které by mělo vliv na přesnost obrábění. Domečky s lineárními kuličkovými ložisky jezdící po

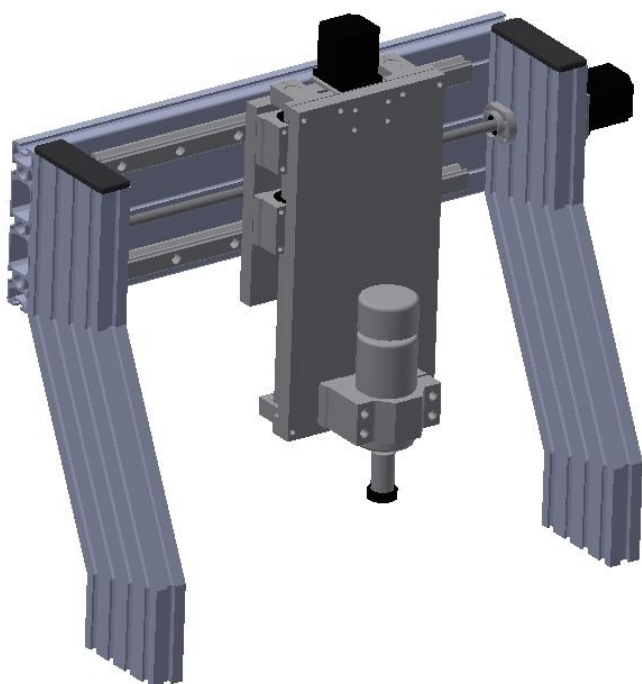
tyčích jsou zakoupeny a úchyty pro uložení tyčí jsou vyrobeny. Pro lepší pohyb je použito dvou vozíků na jednu vodicí tyč.



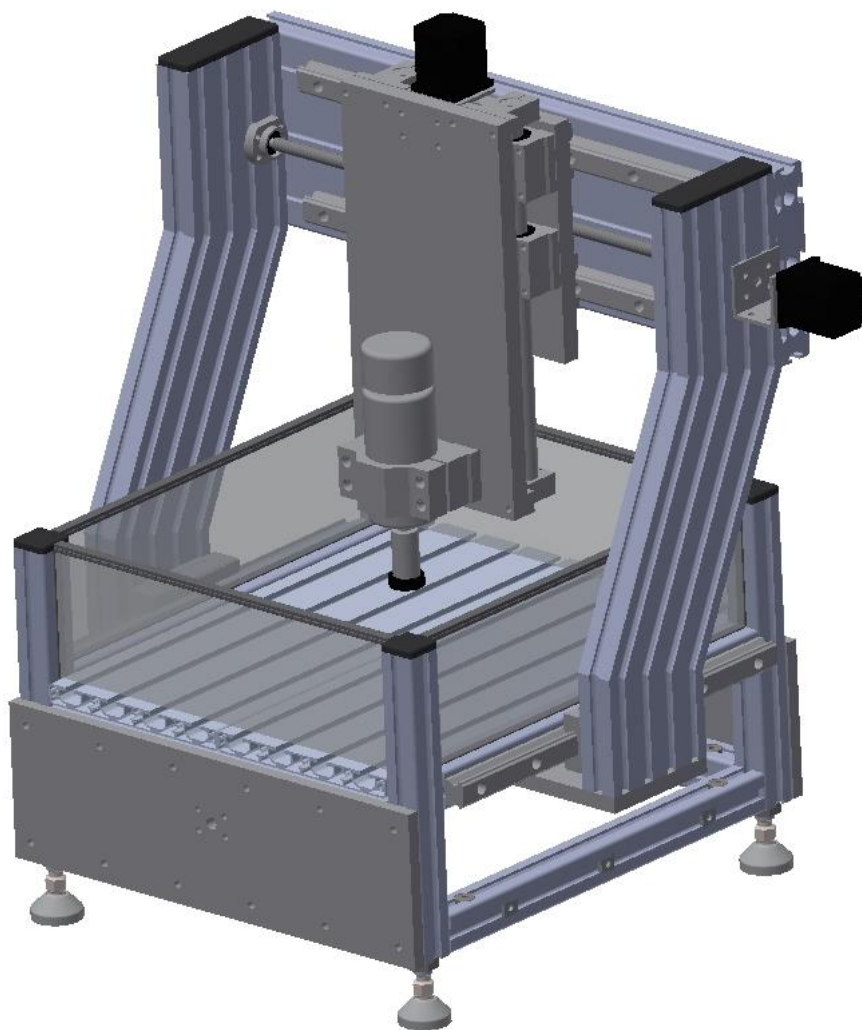
Obr. 62 – Deska nesoucí vřeteno a vedení osy Z



Obr. 63 – Deska s vozíky pro vodicí tyče a s prizmatickými vozíky



Obr. 64 – Sestava portálu



Obr. 65 – Celková sestava frézky

7 Řídicí systém a realizace základních funkcí

Jádro řídicího systému tvoří mikroprocesorová deska Arduino Mega 2560. Tento typ desky byl zvolen proto, že obsahuje dostatečné množství potřebných vstupů a výstupů. Cílem v této diplomové práci nebylo vytvořit kompletní řídicí software, nýbrž navrhnout a realizovat zařízení pro základní funkce frézky, jimiž jsou:

- pohony pro pohyb v horizontální rovině XY a pohyb po vertikální ose Z
- řízení otáček vřetene

K těmto dvěma základním činnostem řídicího systému lze ještě přidat tyto dvě funkce:

- bezdrátová komunikace pomocí wifi modulu s ostatními komponenty digitální továrny
- osvětlení pracovního prostoru zařízení

Tyto základní čtyři funkce připravily prostor pro vytvoření sofistikovaného řídicího systému. Lze předpokládat, že toto bude náplní navazujících diplomových prací. S použitím základních funkcí pohybu ve všech osách nastavitelnou rychlostí a funkcí ovládání rychlosti vřetene lze vytvořit sekvenci příkazů udávajících požadovanou trajektorii nástroje v kombinaci s ovládáním rychlosti nástroje.

7.1 Pohon pro pohyb v osách X Y Z

Pohon pro pohyb vřetene je realizován pomocí tří krokových motorů. Jedná se o dvoufázové krokové motory Microcon SX17-1005VLQCEF.



Obr. 66 – Krokový motor Microcon SX17-1005VLQCEF

K Arduino jsou připojeny prostřednictvím cnc shieldu pro 3D tiskárny (Obr. 67), vybaveném třemi drivery pro krokové motory RAMPS1.4 DRV8825. Driver krokového

motoru slouží jednak jako výkonový zesilovač a také generuje požadovaný signál pro spínání jednotlivých fází motoru.



Obr. 67 – CNC shield k Arduino [6]

Program řídicího systému Arduina zabezpečující pohyb motoru oběma směry pomocí joysticku je uveden v příloze (Zdrojový kód A). Joystick (Obr. 68) je analogový se dvěma potenciometry a je připojen na analogové vstupy. V úvodní části je definice pinů motoru, pinů joysticku a proměnné udávající rychlost pohybu, stav motoru a aktuální polohu joysticku.



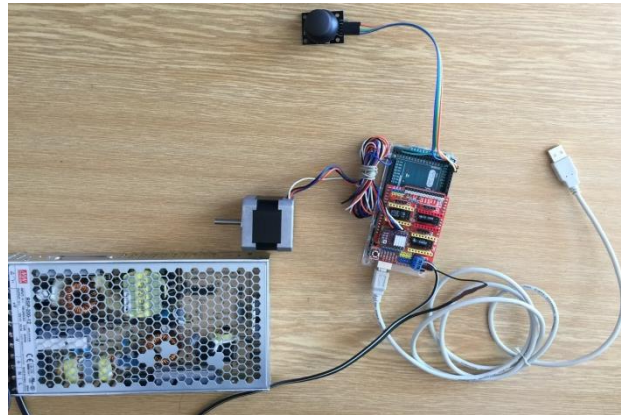
Obr. 68 – Joystick pro Arduino [6]

7.1.1 Konfigurační část

Následuje konfigurační část setup, kde se definují použité piny Arduina jako výstupní.

Ve vlastní řídicí smyčce loop se provádí nejdříve načtení aktuální polohy joysticku. Pokud je tento joystick vychýlen doleva, je aktivován pohyb motoru proti směru hodinových ručiček. Pokud je vychýlen doprava, motor se bude pohybovat ve směru hodinových ručiček.

Lze předpokládat, že dále bude možné vytvořit funkci s parametrem udávajícím počet kroků a směr otáčení a tuto funkci použít pro naprogramování požadované trajektorie.



Obr. 69 – Zapojení pro jednu osu

7.2 Řízení otáček vřetene

Druhá zásadní funkce řídicího systému je řízení otáček vřetene. Parametry vřetena jsou popsány v kapitole (6.1.2) volba vřetene. Napájení motoru vřetene je pomocí zdroje 48V. Pro připojení motoru k Arduino je potřeba použít výkonový zesilovač.



Obr. 70 – Zapojení vřetene k Arduino pomocí zesilovače

Program na řízení otáček vřetene (Zdrojový kód B). Pro nastavení rychlosti stejnosměrného motoru pomocí pulzně šířkové modulace je použita funkce AnalogWrite. Použitý digitální pin musí být předtím nakonfigurován jako výstupní. Rychlost je nastavována pomocí potenciometru, který tvoří dělič napětí. Jeho dva konce jsou zapojeny na 5V a GND. Jezdec je zapojen na analogový pin 11. V každém cyklu sekce loop se načte aktuální hodnota napětí na potenciometru a použije se jako parametr výše uvedené funkce AnalogWrite. Vzhledem k rozlišení výstupního a vstupního převodníku Arduina (1024/4096 hodnot) je nutné dělit naměřenou hodnotu čtyřmi. Ruční ovládání pomocí potenciometru bude v navazující práci nahrazeno přímo programově zadávanou hodnotou

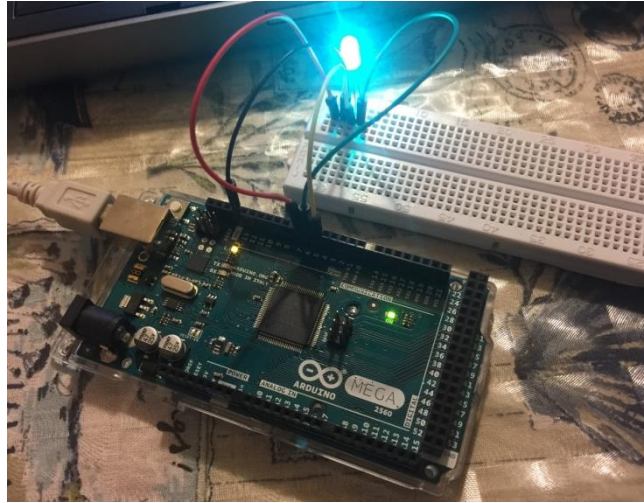
7.3 Komunikace s ostatními komponenty chytré továrny pomocí wifi

Vzhledem k tomu, že se předpokládá využití tohoto výrobního zařízení jako součásti modelu digitální továrny, který vzniká na katedře KSA, vybavil jsem řídicí systém Arduino wifi modulem ESP8266. Jelikož tento modul pracuje kompletně na napětí 3.3V, je nutné ho připojit přes převodník úrovní 5V-3.3V, obr. G.

7.4 Osvětlení pracovního prostoru

Osvětlení pracovního prostoru je realizováno pomocí RGB diod. Tyto diody mají tři anody pro tři základní barvy, které jsou zapojeny na výstupní piny s PWM A5, A6 a-A7. Pomocí kombinace úrovní napětí na těchto pinech lze dosáhnout požadované barvy osvětlení nebo lze realizovat efektní proměnné osvětlení, popř. měnit barvu při chodu a klidu vřetene apod.

Program na Osvětlení pracovního prostoru (Zdrojový kód C), zapojení na (Obr. 71). Na začátku programu je definice pinů jednotlivých výstupů a definice proměnných udávajících úroveň dané barevné složky. V sekci setup je definice použitých pinů jako výstupní a v sekci loop pak dochází k nastavení požadovaných úrovní a poslání hodnot na výstupy Arduina.



Obr. 71 – Zapojení osvětlení

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout malý CNC obráběcí stroj vhodný pro model chytré továrny, také s využitím pro výukové účely pro předmět programování a obsluha CNC strojů. Požadavkem byl stroj pro obrábění lehce obrobitelných materiálů, jako je umělé dřevo, plasty či hliník s minimálním rozměrem pracovního prostoru 200 x 150 x 100 mm s možností snadné manipulace se strojem. Jako druh malého CNC obráběcí stroje pro model chytré továrny byla zvolena portálová frézka.

V úvodu práce jsou nejprve popsány hlavní myšlenky a principy Průmyslu 4.0. Je provedena rešerše dostupných malých CNC frézek na českém trhu, a také v oblasti hobby CNC frézek. Výsledkem z rešerše je porovnání dostupných frézek s požadavky na konstrukci frézky dle zadání. Dále jsou popsány jednotlivé komponenty používané při konstrukci tohoto typu frézek a to jak z oblasti mechanické konstrukce, tak i v oblasti elektronických částí stroje. Poté jsou zvoleny základní parametry pro navrhovanou frézku, konkrétně se jedná o rychloposuv 2000 mm/min, maximální průměr frézy 7 mm a přesnost stroje 0,1 mm. Jsou provedeny základní výpočty vycházející z maximálního zatížení stroje pro volbu pracovního nástroje (vřetena) a pro volbu pohonu jednotlivých lineárních posuvových os stroje. Bylo zvoleno vřeteno s PWM regulátorem o výkonu 400 W a rozsahu otáček 3000 – 12 000 ot/min. Pro pohon jednotlivých os byly zvoleny krokové motory SX17–1005VLQCEF se statickým momentem 0,52 Nm a jmenovitým proudem 1 A.

Dále je již proveden samotný návrh mechanické konstrukce frézky. Nejdříve je proveden návrh konstrukce rámu stroje, návrh pracovního stolu, poté je proveden návrh vedení a pohonu jednotlivých lineárních posuvových os stroje. Je uvedeno několik návrhů provedení portálů, jsou zhodnoceny jejich výhody a nevýhody a je vybrána nejoptimálnější varianta. Frézka je zhotovena převážně z hliníkových profilů a z plochých hliníkových tyčí, pohonným mechanismem jednotlivých os byl zvolen trapézový šroub s trapézovou maticí. Vedení os X a Y je realizováno pomocí prizmatického vedení, vedení osy Z pomocí nepodepřených vodicích tyčí. Jako řídicí jednotka frézky bylo vybráno Arduino Mega 2560. Jsou vytvořeny a odzkoušeny programy pro ovládání vřetene a krokových motorů.

Výsledný návrh frézky splňuje požadavky dané zadáním. Rozměry konstrukce odpovídají jejímu využití, konstrukce je také uzpůsobena ke snadné manipulaci.

Rozměry pracovního prostoru frézky 220 x 210 x 130 mm také splňují požadavek na minimální pracovní prostor. Cena všech komponent potřebných ke konstrukci frézky se pohybuje okolo 33000 Kč, podrobná kalkulace jednotlivých dílů je uvedena v příloze.

Celkové sestavení frézky nebylo zcela dokončeno z důvodu nedodání některých důležitých komponentů, které dodavatelský firma neměla skladem. Proto nebylo možné frézku sestavit do termínu odevzdání diplomové práce.

Tato diplomové práce může také být dobrým základem pro další diplomové práce rozvádějící základní realizované funkce frézky v oblasti řízení. Je potřeba vytvořit program umožňující provádění požadovaných operací. Vytvořit knihovnu základních příkazů pro pohyb všech akčních členů a prostředí, ve kterém bude možno zadávat sekvenci těchto příkazů. Dále bude potřeba zařadit frézku do modelu chytré továrny a do jejího softwaru zakomponovat wifi komunikaci s ostatními komponenty.

Seznam použité literatury

- [1] 4ISP: *CNC inshop* . [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/>
- [2] ABE.TEC: *shop*. [online]. [vid. 15. 3. 2017].
Dostupné z: <http://www.abetec.cz>
- [3] AliExpress: *shop*. [online]. [vid. 17. 1. 2017].
Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/400W-DC-Motor-Air-cooled-Spindle-With-Mount-Bracket-and-Speed-Controller-for-DIY-CNC-Router/32710524726.html>
- [4] *Arduino návody*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/>
- [5] ARDUINO: *O Arduinu*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <https://arduino.cz/>
- [6] ARDUINO: *shop*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <http://arduino-shop.cz/176-vyvojove-platformy>
- [7] ATP GROUP s.r.o.: *Jaká bude továrna budoucnosti?* [online]. [vid. 20. 4. 2017].
Dostupné z: <http://atp-elektro.cz/jaka-bude-tovarna-budoucnosti/>
- [8] *Automatizace, simulace a optimalizace, chytré továrny jako součást konceptu Průmysl 4.0*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/54791.pdf
- [9] V. BORSKÝ: *Základy stavby obráběcích strojů*, Brno: VUT, 1991. Učební texty vysokých škol. [vid. 30. 6. 2015].
- [10] CNCshop: *CNC & automatizace*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/>
- [11] *Čtvrtá průmyslová revoluce*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <https://www.roznovskastredni.cz/data/files/pel2016/musil.pdf>
- [12] eHLINIK: *shop*. [online]. [vid. 15. 4. 2017].
Dostupné z: <http://www.ehlinik.cz/index.php>
- [13] ELUC : *Frézování*. [online]. [vid. 12. 5. 2017].
Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1224>

- [14] GRAVOS: *CNC technologie a obráběcí stroje*. [online]. [vid. 15. 3. 2017].
Dostupné z: <http://www.gravos.cz/>
- [15] HIWIN: *shop*. [online]. [vid. 15. 4. 2017].
Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/>
- [16] HOBBY ROBOT: *Arduino a Raspberry*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <http://www.hobbyrobot.cz/mikrokontrolery/>
- [17] HOBBY ROBOT: *shop*. [online]. [vid. 15. 3. 2017].
Dostupné z: <http://shop.hobbyrobot.cz/38-konstrukni-profilu>
- [18] *Jak bude vypadat 4. průmyslová revoluce?* [online]. [vid. 14. 5. 2017].
Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/msv-2015-jak-bude-vypadat-4-prumyslova-revoluce/>
- [19] *Jsme připraveni na Průmysl 4.0.* [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <http://ezu.cz/prumysl-4-0-2/>
- [20] jPRINT3D: *e-shop*. [online]. [vid. 15. 4. 2017].
Dostupné z: <http://www.jprint3d.cz/e-shop/dily-reprap-prusa-i3?cookies=yes&ordering=ordering-asc&paging=24&page=3>
- [21] P. KELLER: *Programování a řízení CNC strojů* – prezentace přednášek 2. část, TU Liberec, 2005. [online]. [vid. 30. 3. 2017].
Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf
- [22] J. LEINVEBER, P. VÁVRA: *Strojnické tabulky*. Albra – pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2008. [vid. 19. 5. 2017].
- [23] LINEÁRNÍ VEDENÍ: *shop*. [online]. [vid. 15. 4. 2017].
Dostupné z: <http://www.vedeni-linearni.cz/>
- [24] *LinuxCNC*. [online]. [vid. 10. 4. 2017].
Dostupné z: <http://linuxcnc.org/docs/html/user/user-intro.html>
- [25] MACH3: *Uživatelská příručka*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: http://www.cncshop.cz/PDF/Mach3Mill_1.84_CZ.pdf
- [26] J. MAREK A KOLEKTIV : *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha, MM publishing, s.r.o., 2010. [vid. 15.5. 2017]
- [27] MATIS: *shop*. [online]. [vid. 15. 4. 2017].
Dostupné z: <http://www.matis.cz/>

- [28] MERKUR: *shop*. [online]. [vid. 15. 4. 2017].
Dostupné z: <http://eshop.merkurtoys.cz/category/?cat=5-16>
- [29] MICROCON: *Motory SX*. [online]. [vid. 12. 5. 2017].
Dostupné z: <http://www.microcon.cz/pdf2015/motorySX.pdf>
- [30] MOAS: *shop*. [online]. [vid. 15. 4. 2017].
Dostupné z: <http://www.moas.cz/systemy-hlinikovych-profilu>
- [31] P. POKORNÝ: *Obráběcí stroje*. [online]. [vid. 30. 4. 2017].
Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni_stroje/obrabeci.pdf
- [32] PRAMET: *Frézování – tabulky, 2012*. [online]. [vid. 20. 4. 2017].
Dostupné z: ftp://kres.cz/katalogy_kres/KATALOGY_rucni_naradi_vybaveni_dilen/P_RAMET/PRAMET_frezovani_2012_CZ.pdf
- [33] *Průmysl 4.0 a čtvrtá průmyslová revoluce*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prumysl-4-0-a-ctvrta-prumyslova-revoluce.html>
- [34] *Průmysl 4.0: Chytré továrny? Vláda nesmí zaspát*. [online]. [vid. 12. 5. 2017].
Dostupné z: <http://euractiv.cz/clanky/obchod-a-export/prumysl-40-nova-era-prumyslove-vyroby-012762/>
- [35] *Raspberry - GPIO*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2012/06/simple-guide-to-the-rpi-gpio-header-and-pins/>
- [36] *Raspberry - Windows*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <http://rpiblog.cz/archiv/674>
- [37] REBEL 3D: *obchod*. [online]. [vid. 15. 3. 2017].
Dostupné z: <http://obchod.rebelove.org/elektronika/20-krokovy-motor-nema-sx17-10051qef.html>
- [38] *Referenční model struktury Industrie 4.0 RAMI 4.0*. [online]. [vid. 15. 5. 2017].
Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/referencni-model-struktury-industrie-4-0-rami-4-0-2015_11_54254_6868/
- [39] REM: *shop*. [online]. [vid. 5. 5. 2017].
Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/pohyb-pohony-prevody/hrebeny-a-pastorky/hrebeny-a-pastorky-58.htm>

- [40] ROOT: *Arduino*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/arduino-jak-pro-nej-zacit-programovat/>
- [41] SANDVIK COROMANT: *Výpočty a tabulky*. [online]. [vid. 6. 4. 2017].
Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/pages/default.aspx
- [42] SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ: *Průmyslové inženýrství 2015*. Mezinárodní studentská vědecká konference Ostrava, říjen 2015. [vid. 20. 4. 2017].
- [43] SCHEMATICS: *PWM regulátor*. [online]. [vid. 14. 5. 2017].
Dostupné z: http://www.schematics.wz.cz/schemata-PWM_regulator.html
- [44] SnailShop: *shop*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <http://www.snailshop.cz/216-klasicke>
- [45] SERVO-DRIVE: *Krokové motory*. [online]. [vid. 15. 3. 2017].
Dostupné z: https://www.servo-drive.cz/specialni_krokov_e_motory_krokov_e_motory_na_miru.php
- [46] *Úvod do problematiky a základní modely Industry 4.0*. [online]. [vid. 5. 5. 2017].
Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/clanky/uvod-do-problematiky-a-zakladni-modely-industry-4.0.htm>
- [47] *Volba kuličkových šroubů*. [online]. [vid. 20. 4. 2017].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu.html>
- [48] VOLTY.CZ.: *Čtvrtá průmyslová revoluce*. [online]. [vid. 20. 4. 2017].
Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor//clanky/2016/Volty-Prima.pdf>
- [49] VŠE PRO 3D TISK: *shop*. [online]. [vid. 20. 5. 2017].
Dostupné z: <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/pruzna-spojka-5-8mm?gclid=CNvOnYf2hdQCFOgW0wodSokKcg>
- [50] WEBNODE: *CNC frézky*. [online]. [vid. 15. 3. 2017].
Dostupné z: <http://cnc-frezky.webnode.cz/>
- [51] WIKIPEDIA: *Arduino*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [52] WIKIPEDIA: *Raspberry*. [online]. [vid. 10. 5. 2017].
Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi

- [53] WIKIPEDIA: *Raspbian*. [online]. [vid. 12. 5. 2017].
Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Raspbian>

Seznam obrázků

Obr. 1 – Model RAMI 4.0 [46].....	14
Obr. 2 – Malá modelářská CNC frézka pro gravírování a rytí [1].....	17
Obr. 3 – Frézovací stroj MC30FT [28].....	18
Obr. 4 – Základní stolní CNC frézka [1]	19
Obr. 5 – CNC frézka Hobby A3 [2].....	20
Obr. 6 – CNC frézka 30x40 [50]	21
Obr. 7 – Frézka GV 21 2A [14].....	21
Obr. 8 – Frézka_1	22
Obr. 9 – Frézka_2	22
Obr. 10 – Frézka_3	23
Obr. 11 – Frézka_4	23
Obr. 12 – Popis portálová frézky [9]	25
Obr. 13 – Vodící tyč a kuličkové ložisko v domku [10].....	26
Obr. 14 – Podepřená tyč a kuličkové ložisko v otevřeném domku [20].....	27
Obr. 15 – Lineární prizmatické vedení Hiwin [15]	27
Obr. 16 – Trapézový šroub a matice [10]	28
Obr. 17 – Kuličkový šroub s maticí [47]	28
Obr. 18 – Lineární osa s ozubeným hřebem [21].....	29
Obr. 19 – Ozubený hřeben s pastorkem [39].....	29
Obr. 20 – Řez krokovým motorem [45]	31
Obr. 21 – Rozložení pinů na Raspberry [35].....	33
Obr. 22 – Raspberry PI 3 [52].....	34
Obr. 23 – Ukázka Arduino Mini a Arduino Micro [44]	34
Obr. 24 – Arduino UNO [44].....	35
Obr. 25 – Arduino Leonardo [6].....	35
Obr. 26 – Arduino GRBL [4].....	36
Obr. 27 – Příklad Arduina s WiFi shieldem [16].....	36
Obr. 28 – Ukázka okna vývojového prostředí [5]	37
Obr. 29 – Ukázka prostředí Mach3 [25].....	40
Obr. 30 – Ukázka prostředí programu Armote [14]	40
Obr. 31 – Uživatelské rozhraní LinuxCNC [24].....	41
Obr. 32 – Vřeteno s PWM regulátorem [3]	45

Obr. 33 – Posuvová souřadnice X [26].....	46
Obr. 34 – Účinnost šroubu s lichoběžníkovým závitem.....	47
Obr. 35 – Krokový motor SX17-1005VLQCEF [37].....	50
Obr. 36 – Momentová charakteristika motoru SX17-1005VLQCEF.....	50
Obr. 37 – Hliníkové profily [30].....	52
Obr. 38 – Hliníkové profily 30 x 30 mm	52
Obr. 39 – Návrh konstrukce rámu a jeho hlavní rozměry	53
Obr. 40 – Nastavitelná noha	53
Obr. 41 – Šroub s límcem - ISO 7380 [302].....	53
Obr. 42 – Vyrobená vložka.....	53
Obr. 43 – Ukázka uložení krytování do drážky profilu	54
Obr. 44 – Rám frézky s krytováním	54
Obr. 45 – Závitová destička.....	55
Obr. 46 – Hliníkový profil stolu	55
Obr. 47 – Uložení nepodepřené tyče	55
Obr. 48 – Rám frézky s nepodepřenými vodícími tyčemi.....	56
Obr. 49 – Schéma průhybu tyče.....	56
Obr. 50 – Podepřená vodící tyč s domečkem	57
Obr. 51 – Rám frézky s podepřenými vodícími tyčemi.....	58
Obr. 52 – prizmatická kolej s prizmatickým vozíkem.....	58
Obr. 53 – Rám frézky s prizmatickým vedením.....	59
Obr. 54 – Domek – matice – pružná spojka [49].....	59
Obr. 55 – Uložení trapézového šroubu	60
Obr. 56 - Rám frézky s trapézovým šroubem a krokovým motorem	60
Obr. 57 – Návrh portálu 1	61
Obr. 58 – Návrh portálu – pohled zředu i zezadu.....	61
Obr. 59 – Návrh bočnic portálu	62
Obr. 60 – Návrh bočnic portálu z hliníkových profilů	63
Obr. 61 – Kloubová spojka	63
Obr. 62 – Deska nesoucí vřeteno a vedení osy Z.....	64
Obr. 63 – Deska s vozíky pro vodící tyče a s prizmatickými vozíky	64
Obr. 64 – Sestava portálu.....	64
Obr. 65 – Celková sestava frézky	65
Obr. 66 – Krokový motor Microcon SX17-1005VLQCEF.....	66

Obr. 67 – CNC shield k Arduinu [6]	67
Obr. 68 – Joystick pro Arduino [6].....	67
Obr. 69 – Zapojení pro jednu osu	68
Obr. 70 – Zapojení vřetene k Arduinu pomocí zesilovače	68
Obr. 71 – Zapojení osvětlení.....	70

Seznam tabulek

Tab. 1 – Parametry malé modelářské CNC frézky [1]	18
Tab. 2 – Parametry frézovacího stroje MC30FT [28]	19
Tab. 3 – Parametry základní stolní frézky 200x300x65 mm [1]	19
Tab. 4 – Parametry CNC frézky Hobby A4 a A3 [2]	20
Tab. 5 – Parametry CNC frézky 30x40 [50].....	21
Tab. 6 – Parametry frézky GV 21 2A [14]	22
Tab. 7 – Navržené parametry pro konstrukci frézky	42
Tab. 8 – Technologické parametry materiálu	43
Tab. 9 – Materiálové konstanty obráběného materiálu.....	43
Tab. 10 – Parametry frézy.....	44
Tab. 11 – Vypočtené hodnoty pro volbu vřetene.....	45
Tab. 12 – Parametry vřetene	45
Tab. 13 – Parametry trapézového šroubu pro výpočet	47
Tab. 14 – Vypočtené hodnoty pro volbu krokového motoru.....	49
Tab. 15 – Parametry krokového motoru	50
Tab. 16 – Tabulkové parametry navrženého ložiska typ 607	51
Tab. 17 – Parametry pro výpočet průhybu tyče	56

Seznam použitých zkratek

CAD	počítačová kontrola konstrukce (Computer Aided Design)
CAD/CAM	počítačový systém s integrovanou podporou konstrukce
CAM	počítačová podpora výroby (Computer Aided Manufacturing)
CNC	stroj s číslicovým řízením (Computerized Numerical Control)
CPS	kyberneticko-fyzikální systémy (Cyber-Physical Systems)
GPIO	obecný účel vstup/výstup (General Purpose Input/Output)
GUI	grafické uživatelské prostředí (Graphical User Interface)
IDE	vývojové prostředí (Integrated Development Environment)
IoP	internet lidí (Internet of People)
IoS	internet služeb (Internet of Services)
IoT	internet věcí (Internet of Things)
IP	internetový protokol (Internet Protocol)
IT	informační technologie (Information Technology)
KSA	katedra výrobních systémů a automatizace
NC	číslicově řízený stroj (Numerical Control)
OS	operační systém
PWM	pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
RAMI	Reference Architecture Model Industry 4.0
ŘS	řídící systém
USB	univerzální sériová sběrnice

Seznam použitých veličin

a_e	šířka záběru	[mm]
a_p	hloubka řezu, záběru	[mm]
b	šířka ložiska	[mm]
C	základní dynamická únosnost	[N]
C_0	základní statická únosnost	[N]
d	vnitřní průměr ložiska	[mm]
D	průměr rezného nástroje	[mm]
DL	vnější průměr ložiska	[mm]
D_t	průměr tyče	[mm]
d_L	průměr hřídele pro ložisko	[mm]
d_n	průměr trapézového šroubu	[mm]
d_s	střední průměr trapézového šroubu	[mm]
e	mezní hodnota vztahu F_a/F_r určující hodnotu koeficientu X a Y	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	zatěžující síla	[N]
f_1	součinitel tření ve vodících plochách	[-]
f_2	ekvivalentní součinitel tření v KŠM redukováný na poloměr šroubu	[-]
f_3	ekvivalentní součinitel tření redukováný na poloměr čepu	[-]
F_A	axiální síla	[N]
F_a	axiální zatížení ložiska	[N]
F_c	řezná síla při frézování	[N]
F_r	radiální zatížení ložiska	[N]
g	gravitační zrychlení	[m/s ²]
h_m	střední tloušťka třísky	[mm]
I	moment setrvačnosti	[mm ⁴]
i	převodový poměr	[-]
k_c	měrný řezný odpor – specifická řezná síla	[MPa]
k_{c11}	měrný řezný odpor na 1 mm třísky	[MPa]
L	délka stolu	[m]
l	délka tyče	[mm]
L_{10}	základní trvanlivost ložiska	[mil.ot]
L_{10h}	základní trvanlivost ložiska	[hod]
m	hmotnost portálu	[kg]
m_c	nárůst měrné řezné rychlosti	[-]
M_i	momenty pro statické hledisko	[Nm]
M_k	krouticí moment	[Nm]

M_m	moment motoru	[Nm]
n	otáčky	[ot/min]
P	výkon	[W]
P	dynamické ekvivalentní zatížení ložiska	[N]
q	tíhové zrychlení	[m/s ²]
s	stoupání šroubu	[mm]
s_t	stoupání trapézového šroubu	[mm]
s_z	posuv na zub	[mm]
v_c	řezná rychlost	[m/min]
v_f	rychlost posuvu	[m/min]
X	koeficient radiálního dynamického zatížení	[-]
Y	koeficient axiálního dynamického zatížení	[-]
z	počet zubů frézy	[-]
α	úhel sklonu vedení	[°]
γ_0	nástrojový úhel čela	[°]
δ_{\max}	maximální průhyb	[mm]
η_l^j	účinnost ložisek	[-]
η_p	účinnost převodu	[-]
η_s	účinnost šroubu – matice	[-]
κ_f	úhel nastavení ostří	[°]

Zdrojové kódy

A. Pohyb motoru pomocí joysticku

```
1: //piny motoru
2: #define stepXpin 2 // krok X pin 2
3: #define dirXpin 5 // směr X pin 5
4: #define enableXpin 8 // zapnutí pin 8
5:
6: //DEFINICE PINŮ JOYSTICKU
7: #define joyXpin A13 // osa X joysticku
8: #define joyYpin A12 // osa Y joysticku
9:
10: int speedX = 10; // rychlost otáčení, čím větší, tím pomalejší
11: int enableX = 0;
12: int joyX = 0;
13:
14: void setup() {
15:
16: pinMode(dirXpin, OUTPUT); // definování pinů jako výstupy
17: pinMode(stepXpin, OUTPUT);
18: pinMode(enableXpin, OUTPUT);
19:
20: digitalWrite(enableX, LOW); // ipočáteční nastavení motoru X
21: delay(10);
22: }
23:
24: void loop() {
25:
26: joyX = analogRead(joyXpin); // Načtení hodnot z Osa X A10
27:
28: if (joyX > 700) { // joystick L - pohyb L
29: digitalWrite(dirXpin, HIGH); // (HIGH = proti směru hod. ručiček /
                                LOW = po směru hod. ručiček)
30: digitalWrite(stepXpin, HIGH);
31: delay(speedX);
32: digitalWrite(stepXpin, LOW);
33: delay(speedX);
34: }
35:
36:
37: if (joyX < 200) { //joystick P - pohyb P
38:
39: digitalWrite(dirXpin, LOW); // (HIGH = proti směru hod. ručiček /
                                LOW = po směru hod. ručiček)
40: digitalWrite(stepXpin, HIGH);
41: delay(speedX);
42: digitalWrite(stepXpin, LOW);
43: delay(speedX);
44: }
45:
```

B. Řízení otáček vřetene

```
1: void setup() {
2:   pinMode(13, OUTPUT);
3: }
4:
5: void loop() {
6:
7:   analogWrite(13, analogRead(0)/4);
8:
9: }
10:
```

C. Osvětlení pracovního prostoru

```
1: int ledR = 7;
2: int ledG = 6;
3: int ledB = 5;
4: int R = 0;
5: int G = 0;
6: int B = 0;
7:
8: void setup() {
9:   pinMode(ledR, OUTPUT);
10:  pinMode(ledG, OUTPUT);
11:  pinMode(ledB, OUTPUT);
12: }
13:
14: void loop() {
15:  analogWrite(ledR, 10);
16:  analogWrite(ledG, 40);
17:  analogWrite(ledB, 5);
18:  delay(5000);
19: }
20:
```

Kalkulace

Produkt	Rozměr [mm]	Počet kusů	Cena s DPH [Kč]
Trapézová matice - TR 10x2		3	630,00
Trapézový šroub - 10x2	470	1	89,30
Trapézový šroub - 10x2	470	1	89,30
Trapézový šroub - 10x2	550	1	104,50
Kolejnice HGR20R H	340	2	1 632,00
Kolejnice HGR20R H	380	2	1 824,00
Úzký vozík HGH20HA ZA H dlouhý		4	6 240,00
Vodící tyč - ø 16 mm	304	2	285,76
Uzavřený vozík s nast. vůlí - pro ø 16 mm		4	1 560,00
Energetický řetěz		3	400,00
Čtvercová hliníková tyč	100 x 12 x 500	1	203,00
Čtvercová hliníková tyč	150 x 15 x 304	1	229,90
Čtvercová hliníková tyč	150 x 15 x 184	1	140,62
Čtvercová hliníková tyč	120 x 10 x 380	2	305,86
U profil	40 x 40 x 40 x 3 x 50	3	18,81
L profil	25 x 15 x 2 x 500	3	39,60
Profil 30 x 150, 8F, SP	500	1	1 579,75
Profil 30 x 30, 4F, SP	340	4	624,82
Profil 30 x 30, 4F, SP	320	5	744,86
Profil 30 x 30, 4F, SP	256	4	503,31
Profil 16 x 160, 4E, LP	400	2	1 181,71
Profil 30 x 100, 10F, SP	150	2	464,03
Profil 30 x 100, 10F, SP	90	2	331,62
Profil 30 x 100, 10F, SP	247	2	678,09
Krytka 30x30, černá		4	95,20
Krytka 30x50, černá		6	254,31
Šroub nohy nastavitelné M14 x 66		4	294,74
Deska nohy nastavitelné M14 x 66		4	337,78
Deska protiskluzová		4	151,28

Produkt	Rozměr [mm]	Počet kusů	Cena s DPH [Kč]
Matice M14		4	45,65
Závitová destička M5, F		30	273,87
Závitová destička M6, F		40	365,18
Konektor pokos-kloub l. + r.		4	706,85
Konektor pokos-kloub l. + r.		4	697,73
Lišta kombi PP, F, 1-4.5, černá	340	2	94,30
Lišta kombi, PP, F, 1-4.5, černá	420	2	100,84
Polykarbonat tl. 4mm, čirý	98 x 350	1	154,00
Polykarbonat tl. 4mm, čirý	105 x 350	1	
Polykarbonat tl. 4mm, čirý	98 x 350	2	
Ložisko typ 607		6	222,00
Spojovací materiál		200	500,00
Vřeteno + držák + sada kleštín ER11		1	3 000,00
Motor SX17-1005VLQCEF		3	904,00
Arduino Mega 2560		1	1 200,00
Spínaný napájecí zdroj 200.4W 12 V 16.7 A		1	1 321,66
Spínaný napájecí zdroj 504W 48 V 10.5 A		1	2 713,93

CELKEM [Kč]

33 334,16

Seznam příloh

Obsah přiloženého CD

- text diplomové práce
 - ❖ diplomová_práce_2017_Martin_Ševic.docx
 - ❖ diplomová_práce_2017_Martin_Ševic.pdf
- výkresová dokumentace
- modely z CAD programu Autodesk Inventor Professional 2016
- zdrojové kódy pro Arduino
 - ❖ Sevic.ino – Řízení otáček vřetene
 - ❖ Sevic-krokX.ino – Pohyb motoru pomocí joysticku
 - ❖ Sevic-svetlo.ino – Osvětlení pracovního prostoru