

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

NÁVRH A KONSTRUKCE ŘÍDICÍ JEDNOTKY CNC FRÉZY

Bc. Lukáš Horník

Diplomová práce
2019

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Horník**
Osobní číslo: **I17189**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Návrh a konstrukce řídicí jednotky CNC frézy**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

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

Cílem práce je návrh a realizace řídicí jednotky tříosé CNC frézy pomocí jednodeskového počítače Raspberry Pi. Pro ovládání výkonové elektroniky CNC stroje bude použita integrovaná sběrnice jednodeskového mikropočítače - GPIO. Signály sběrnice budou generovány překladačem NC kódů (tzv. interpreter G kódů). Pro správný chod zařízení je nutné zajistit implementaci funkce řízení pomocí standardní sady G kódů. Pro ověření funkčnosti jednotky bude zkonstruována vlastní, tříosá CNC fréza. Dílčí součástí práce bude otestování robustnosti řešení a dosažených maximálních kvalitativních parametrů (např. maximální, stabilní, frekvence ovládacích signálů). Výsledky testování budou následně porovnány s parametry dostupných řídicích jednotek pro ovládání NC strojů, určených pro nekomerční účely. Tímto směrem bude také zaměřena rešerše zpracovávaného tématu. Nedílnou součástí bude kompletní výrobní dokumentace, včetně příslušných zdrojových kódů realizovaného software jednotky, testovacích NC kódů a podrobný uživatelský návod řídicí jednotky.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 80

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4
ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4
MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: **1. listopadu 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.



Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. listopadu 2018

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15.4.2019

Bc. Lukáš Horník

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D., za odbornou pomoc a za další cenné rady při zpracovávání podkladů. Dále děkuji své rodině za podporu v průběhu celého studia.

V Pardubicích dne 15.4.2019

Bc. Lukáš Horník

ANOTACE

Tato práce je věnována problematice řízení tříosých CNC fréz. Popisuje doposud vyvíjené řídicí jednotky, které jsou určeny pro nekomerční použití, například GRBL, SmoothieWare aj. Dílčí část této práce se zabývá vhodným výběrem mechanické konstrukce a jejích komponent. Dále se věnuje vlastnímu návrhu a realizaci jak mechanické konstrukce, tak řídicí jednotky využívající GPIO port jednodeskového počítače Raspberry Pi.

KLÍČOVÁ SLOVA

řídicí jednotka, tříosá fréza, raspberry pi, krokový motor, CNC, GPIO.

TITLE

DESIGN OF THE CNC CONTROL UNIT

ANNOTATION

This diploma thesis focuses on problematics of controlling of 3-axis CNC milling machine. It rates heretofore developed control units meant for non-commercial use, such as GRBL, SmoothieWare etc. The thesis partly describes choosing of suitable mechanical construction and components. There is also included schema and realization of construction and control unit, using GPIO port of single-board computer Raspberry Pi.

KEYWORDS

Control unit, Three axis milling cutter, Raspberry pi, Stepper motor, CNC, GPIO.

OBSAH

	SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	10
	SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ	11
	SEZNAM ILUSTRACÍ	12
	SEZNAM TABULEK	14
	ÚVOD	15
1	CHARAKTERISTIKA CNC STROJŮ	16
1.1	Historie NC a CNC strojů	16
1.2	Souřadnicový systém CNC stroje	19
1.3	Základní rozdělení CNC strojů	20
1.3.1	Rozdělení dle druhu technologických operací	20
1.3.2	Rozdělení dle počtu řízených os	20
1.4	Výhody a nevýhody použití CNC strojů	22
2	ZÁKLADNÍ ČÁSTI CNC STROJŮ	23
2.1	Lineární vedení	23
2.1.1	Druhy lineárních vedení CNC strojů	23
2.1.2	Vybraná konstrukční řešení lineárních vedení	24
2.2	Lineární pohybový mechanismus	25
2.2.1	Vybraná konstrukční řešení lineárních pohybových mechanismů	26
2.3	Akční členy CNC strojů	27
2.3.1	Akční členy pro realizaci pohybu os	27
2.3.2	Akční členy pro realizaci třískového obrábění	28
2.4	Frekvenční měniče	29
2.5	Koncové snímače polohy	30
2.5.1	Vybraná technologická řešení koncových snímačů polohy	30
2.5.2	Umístění koncových snímačů na CNC stroji	32
2.6	Řídicí elektronika	32
2.7	Napájecí zdroje	33
2.8	Kabelové řetězy	33
3	KROKOVÉ MOTORY	34
3.1	Konstrukce krokových motorů	34
3.1.1	Krokový motor reluktanční	34
3.1.2	Krokový motor s permanentními magnety	34

3.1.3	Hybridní krokový motor	35
3.1.4	Lineární krokový motor	35
3.2	Způsoby řízení krokových motorů	36
3.2.1	Unipolární řízení	36
3.2.2	Bipolární řízení	37
3.2.3	Jednofázové řízení a dvoufázové řízení	37
3.2.4	Mikrokrokování	38
4	RASPBERRY PI	39
4.1	Rozhraní GPIO	40
4.2	Napájení	40
4.3	Operační systém	41
4.4	Způsoby programování	42
5	ALGORITMY RASTERIZACE	43
5.1	Úsečka	43
5.2	DDA algoritmus	43
5.3	Error control DDA	44
5.4	Bresenhamův algoritmus	44
6	Charakteristika programování CNC strojů	46
6.1	Struktura programu	46
6.2	G-kód (ISO-kód)	47
6.3	Absolutní a přírůstkové programování	48
6.4	Programování CNC strojů pomocí CAD/CAM programů	48
7	Nekomerční Firmware řídicích jednotek	50
7.1	GRBL	50
7.1.1	Technická omezení	50
7.2	Smoothieware	51
7.3	Machinekit	51
7.4	LinuxCNC	52
8	MECHANICKÁ ČÁST	53
8.1	Požadavky na konstrukci	53
8.2	Návrh konstrukce	53
8.3	Realizovaná fréza	56
9	ELEKTRONICKÁ ČÁST	57
9.1	Blokové schéma propojení součástí	57

9.2	Použitá zařízení v rozvaděči a jejich význam.....	58
9.2.1	Raspberry Pi	58
9.2.2	Drivery krokových motorů	59
9.2.3	Jistící prvky.....	59
9.2.4	Frekvenční měnič	60
9.2.5	Zdroje napětí.....	60
9.2.6	Svorkovnice	61
9.2.7	Dotykový monitor.....	61
9.2.8	Bezpečnostní tlačítko nouzového zastavení	62
9.3	Vřeteno	62
9.4	Pohon posuvového mechanismu	63
9.5	Koncová čidla	64
9.6	Realizace rozvaděče	65
9.6.1	Konstrukční návod řídicí jednotky	66
10	NÁVRH A REALIZACE PROGRAMU	69
10.1	Požadavky na program	69
10.2	Blokové schéma programu	69
10.3	Podporované G-kódy.....	70
10.4	Spuštění programu.....	71
10.5	Grafické uživatelské rozhraní.....	71
10.6	Uživatelský návod	72
10.6.1	Konfigurace výstupních pinů portu GPIO.....	73
10.6.2	Konfigurace parametrů	74
10.6.3	Přepočet kroků krokového motoru	75
10.6.4	Stanovení parametrů rychlosti motorů	76
10.7	Kvalitativní parametry a robustnost	76
11	KALIBRACE A VLASTNOSTI.....	78
12	ZHODNOCENÍ.....	80
13	ZÁVĚR.....	81
	POUŽITÁ LITERATURA	82
	PŘÍLOHY	86

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AC	Alternating Current, Střídavý proud
CAD	Computer Aided Manufacturing, Počítačem podporované projektování
CAM	Computer Aided Manufacturing, Počítačem podporované obrábění
CNC	Computer Numeric Control, Číslicové řízení počítačem
DC	Direct Current, Stejnosměrný proud
DDA	Digital Differential Analyser
DMA	Direct Memory Access, Přímý přístup do paměti
DPS	Deska Plošných Spojů
GND	Nulová svorka – zem
GPIO	General Purpose Input Output, Vstupně-výstupní porty pro všeobecné účely
GUI	Grafické uživatelské rozhraní
LCD	Liquid Crystal Display, Displej z tekutých krystalů
NC	Normaly Closed, Normálně sepnuto
NC	Numeric Control, Číslicové řízení
NO	Normaly Open, Normálně rozepnuto
PC	Personal Computer, Osobní počítač
RAM	Random Access Memory, Paměť s přímým přístupem
TTL	Tranzistorově – Tranzistorová Logika

SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

I	elektrický proud, A
M_s	počet mikro-kroků driveru
N	počet kroků na jednu otáčku motoru
N_m	počet kroků
N_m	rozteč závitů trapézového šroubu
R	elektrický odpor, Ω
T	délka periody, s
U	elektrické napětí, V
U_{in}	vstupní elektrické napětí, V
U_{out}	výstupní elektrické napětí, V

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – První CNC stroj	17
Obr. 1.2 – Obráběcí centrum Hurco VMX42UHSi	18
Obr. 1.3 – vlevo kartézský a vpravo polární souřadnicový systém	19
Obr. 1.4 – Principiální obrázek jednoosé CNC vrtačky	20
Obr. 1.5 – Principiální obrázek CNC soustruhu	21
Obr. 1.6 – Principiální obrázek tříosé frézy	21
Obr. 2.1 – Součásti vedení s nepodepřenou tyčí	24
Obr. 2.2 – Součásti vedení s podepřenou tyčí	24
Obr. 2.3 – Prizmatická kolejnice – vlevo, prizmatický vozík – vpravo	25
Obr. 2.4 – Trapézový šroub s maticí	26
Obr. 2.5 – Popis kuličkového šroubu a jeho matice	26
Obr. 2.6 – Servomotory	27
Obr. 2.7 – Krokový motor Nema 23	28
Obr. 2.8 – Profesionální vřeteno	28
Obr. 2.9 – Frekvenční měniče Siemens řada Sinamics G120	29
Obr. 2.10 – Koncový snímač pákový	30
Obr. 2.11 – Koncový snímač magnetický	30
Obr. 2.12 – Koncový snímač pákový	30
Obr. 2.13 – Koncový snímač magnetický	31
Obr. 2.14 – Indukční snímače válcové	31
Obr. 2.15 – Síťový zdroj Puls Dimension QS20.244, 24 V/DC	33
Obr. 3.1 – Konstrukce hybridního krokového motoru	35
Obr. 3.2 – Konstrukce lineárního krokového motoru	35
Obr. 3.3 – Způsoby zapojení vinutí dvoufázového krokového motoru	36
Obr. 3.4 – Bipolární buzení hybridního krokového motoru	37
Obr. 4.1 – Raspberry Pi 3 Model B+	39
Obr. 4.2 – GPIO port Raspberry Pi 3	40
Obr. 4.3 – Operační systém Raspbian Stretch	41
Obr. 4.4 – Ukázka programovacího prostředí Visual Studio Code	42
Obr. 5.1 – Příklad kódu DDA algoritmu v jazyce C	43
Obr. 5.2 – Příklad kódu Algoritmu Error control DDA v jazyce C	44
Obr. 5.3 – Příklad kódu Bresenhamova algoritmu v jazyce C	44

Obr. 5.4 – Vývojový diagram Bresenhamova algoritmu.....	45
Obr. 6.1 – Příklad Struktury programu a jeho komentářů	46
Obr. 6.2 – Princip využití CAD/CAM systémů.....	49
Obr. 7.1 – Ukázka možností nastavení Machinekitu	52
Obr. 8.1 – Kompletní navržená konstrukce v prostředí programu Solidworks	54
Obr. 8.2 – Detail osy Y navržené konstrukce a vyobrazené sváry	55
Obr. 8.3 – Detail osy X navržené konstrukce a vyobrazené sváry	55
Obr. 8.4 – Realizovaná CNC fréza	56
Obr. 9.1 – Principiální blokové schéma propojení řídicích součástí	57
Obr. 9.2 – Raspberry Pi s rozšiřujícím modulem GPIO	58
Obr. 9.3 – Připojení driveru krokového motoru osy X.....	59
Obr. 9.4 – Připojení frekvenčního měniče	60
Obr. 9.5 – Detail osazené svorkovnice v rozvaděči.....	61
Obr. 9.6 – Připojení dotykového monitoru	61
Obr. 9.7 – Připojení bezpečnostního tlačítka stop	62
Obr. 9.8 – Zapojení konektorové přípojky (vlevo), včetně FT4C52R (vpravo)	63
Obr. 9.9 – Připojení krokového motoru osy X	64
Obr. 9.10 – Zapojení snímače typu NPN a PNP.....	64
Obr. 9.11 – Připojení koncových indukčních čidel	65
Obr. 9.12 – Osazovací schéma rozvaděče	66
Obr. 9.13 – Příprava zapojovací desky (vlevo), osazení rozvaděče přístroji (vpravo).....	67
Obr. 9.14 – Příprava kabeláže osazovací desky (vlevo), kompletní rozvaděč (vpravo).....	68
Obr. 9.15 – Kompletní sestavená jednotka a připojená CNC fréza	68
Obr. 10.1 – Blokové schéma programu RaspiNC	69
Obr. 10.2 – Příkazy pro spuštění programu	71
Obr. 10.3 – Grafické uživatelské prostředí naprogramovaného řídicího programu	72
Obr. 10.4 – Výstupní signály STEP a DIR osy X.....	77
Obr. 11.1 – Výsledek testu obrábění tvrdé plastové desky s parametry z tab. 11.4	79

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Označení os a jejich využití.....	19
Tab. 3.1 – Proudění ve fázích při mikrokrokování.....	38
Tab. 6.1 – Příklad základních funkcí jazyka G.....	47
Tab. 6.2 – Příklad pomocných funkcí jazyka G.....	47
Tab. 7.1 – Podporované G a M kódy firmwaru GRBL.....	50
Tab. 10.2 – Podporované funkce řídicí jednotky.....	70
Tab. 10.1 – Konfigurace pinů portu GPIO jednodeskového počítače.....	74
Tab. 10.3 – Označení a význam konfiguračních parametrů v souboru conf.py.....	75
Tab. 11.1 – Odchytky skutečné a požadované polohy při posuvu od nuly.....	78
Tab. 11.2 – Odchytky skutečné a požadované polohy při posuvu z maximální hodnoty.....	78
Tab. 11.3 – Skutečné vlastnosti stroje v jednotlivých osách.....	78
Tab. 11.4 – Nastavené parametry v conf.py řídicí jednotky k navržené CNC frézce.....	79

ÚVOD

Cílem této diplomové práce je návrh a konstrukce řídicí jednotky CNC stroje. Za účelem otestování funkčnosti byla navržena a zkonstruována funkční tříosá CNC fréza. Pro veškeré ovládací signály je použit integrovaný port GPIO jednodeskového mikropočítače Raspberry Pi 3 verze B a jsou generovány na základě souboru s NC kódy skrze překladač G kódů (tzv. interpreter G kódů). Dále byly stanoveny kvalitativní parametry výstupních signálů zrealizované řídicí jednotky a porovnány s ostatními nekomerčně vyráběnými jako je GRBL, SmoothieWare, či Machinekit.

První, teoretická část se věnuje obecné charakteristice CNC strojů včetně jejich historie a základního rozdělení. Dále jsou zde uvedeny veškeré informace o konstrukčních prvcích těchto obráběcích strojů, včetně popisu a funkce jejich řídicích elektronických částí, jako jsou akční členy a sensorové zařízení. Další část se věnuje popisu jednodeskového mikropočítače Raspberry Pi a možnostmi jeho programování. V šesté kapitole je vysvětlen princip algoritmů rasterizace vektorové grafiky, která je důležitá pro správné řízení CNC frézy. Dále se práce zabývá charakteristikou programovacího jazyka CNC kódů počítačem řízených strojů a standardně používanými nekomerčními firmware řešení řídicích jednotek.

V druhé části, tj. praktická část práce je nejprve popsán návrh a realizace mechanické části vlastní CNC frézy. Taktéž je v této části uveden návrh elektronické řídicí jednotky a její implementace do rozvaděče, včetně všech potřebných součástí pro automatické ovládání mechanické konstrukce. V další kapitole praktické části je uveden popis programové části zařízení. Rovněž jsou zde rozebírány kvalitativní parametry a jejich porovnání s ostatními nekomerčně vyráběnými jednotkami.

1 CHARAKTERISTIKA CNC STROJŮ

Z počátku byly obráběcí stroje na rozdíl od nynějších řízené pouze ručně, například pomocí různých ovládacích kol, pák, vaček apod. První NC stroj vyroben v 50. letech 20. století a byl ovládaný pomocí naprogramovaných příkazů v paměti přístroje, nebo na přenosném médiu (děrných páskách). Prvotní myšlenkou bylo předělat stávající konvenční stroje na automaticky řízené. Tyto myšlenky byly nejprve zdokonaleny analogovými a poté digitálními počítači, což vedlo ke vzniku slovního spojení počítačově ovládané obráběcí stroje, tedy CNC stroje (z anglického computer numerical control). Nynější počítačem řízené stroje vychází z naprosto jiných myšlenek než v prvopočátku, jejich základ je v záměně klasické konstrukce, automatické výměně nástrojů, automatické kalibraci, automatizovaném měření rozměrů a úchylek či v kompenzování vnějších vlivů při obrábění, jako je například teplota aj. (Štulpa, 2006).

S pokrokem informačních technologií je výrobní proces zdokonalen pomocí CAD a následně CAM systémů. Z kooperace těchto programů je získán výpis ovládacích instrukcí, bez nichž se CNC obráběcí stroj neobejde, protože dle něj vykonává své lineární nebo radiální posuvy. Nejobvyklejší používanou instrukční sadou jsou tzv. G-kódy (ISO-kódy), které se zavedou jako dávkový soubor pro obráběcí stroj a dle nich je zhotoven výrobek nebo jeho část (Štulpa, 2015).

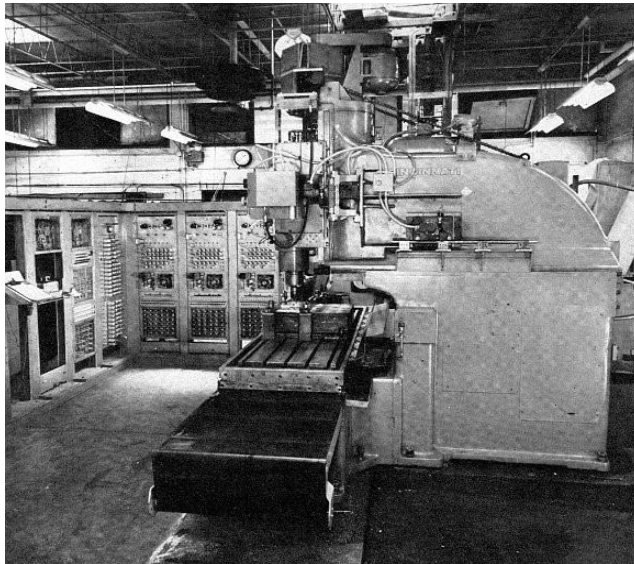
1.1 Historie NC a CNC strojů

Jak již bylo řečeno, první číslicově řízený stroj vznikl v 50. letech 20. století, podnětem k jeho vývoji byl požadavek letectva Spojených států na výrobu přesných součástí motorů letadel v co nejkratším čase. S touto problematikou byla oslovena firma Parsons Corporation, která se zabývala řídicími systémy. Tato korporace ve spolupráci s Massachusettským technologickým institutem (MIT) vyrobila první zkušební tříosou frézu ovládanou čistě číslicovou technikou. Z pozorování a zaznamenaných dat vyplynulo, že možnosti těchto strojů jsou obrovské a započal jejich dotovaný vývoj. V tomto období také vzniká myšlenka na vytvoření univerzálního jazyka pro programování CNC strojů, který je dnes znám pod pojmem G-kód nebo ISO-kód (Štulpa, 2006; Marek, 2010).

Celý přehled historie vývoje lze shrnout do šesti kategorií, které jsou uvedeny níže v textu. Tyto kategorie pojednávají pouze o technologickém pokroku, záměrně neuvádím, jaká firma technologii aplikovala jako první, jelikož v mnoha případech byl vývoj utajován a nedá se s naprostou přesností vyjádřit komu přiřknout zásluhy za tuto aplikaci (Marek, 2010).

1. generace (50. léta, 20. století)

První generace těchto strojů spočívala v doplnění dosavadních konvenčních konstrukcí o řídicí systém. Trasování pohybu vřetene nad obráběcí plochou bylo možné pouze po navzájem kolmých trajektoriích. Vykonávané instrukce byly ukládány na děrných nebo magnetických páskách, či na jiném přenosném médiu. Velmi brzy se tento typ strojů stal nevyhovující z hlediska spolehlivosti a přesnosti a byl nahrazen další generací (Marek, 2010).



Obr. 1.1 – První CNC stroj (Ragan, 2012)

2. generace (60. léta, 20. století)

Ve druhém vývojovém stupni je mechanická část upravena s ohledem na NC řízení. A to hlavně pomocí záměny stávajících pohonů za servomotory, dále se stává standardem systém výměny nástrojů, který je nejčastěji realizován pomocí tzv. revolverové hlavy. U této generace byla však výměna realizována pouze ručně pracovníkem obsluhy. Řízení probíhá v obecných cyklech (Marek, 2010).

3. generace (70. léta, 20. století)

Stroje této generace mají ještě více upravenou mechanickou část než předešlé konstrukce, a to z hlediska uzpůsobení pro provoz v obráběcích soustavách. Začínají se zde používat kuličkové šrouby pro převod rotačního pohybu motoru na lineární, dále se využívá hydrostatické a valivé vedení. Jsou osazovány velkoobjemové zásobníky obráběcích nástrojů a jejich výměna je poloautomatická. Také se uplatňuje implementace automatické dopravy a upevňování obrobku na obráběcí plochu (Marek, 2010).

4. generace (80. léta, 20. století)

U této generace jsou nástroje měněny plně automaticky. Sleduje se opotřebení těchto komponentů a při zjištění jakékoli chybové události stroj upozorňuje pracovníka obsluhy. Je-li to možné, stroj koná automatizované kroky k řešení problému. Ve výrobním procesu jsou sledovány výstupní parametry výrobku a dle nich jsou upravovány řídicí parametry obrábění, jako je rychlost obrábění určitého materiálu, přesnost, otáčky vřetene atd. Nově je brán ohled i na problematiku vnějších vlivů, jako je například teplota, vibrace, opotřebenosti posuvných mechanismů aj. (Marek, 2010).

5. generace (90. léta, 20. století)

Zde je poprvé zavedeno měření obrobků přímo při obráběcím cyklu. Stroj upravuje své parametry přímo při chodu dle získaných hodnot ze sond. Chyby, které vznikají polohováním, jsou elektricky kompenzovány (Marek, 2010).

6. generace (21. století)

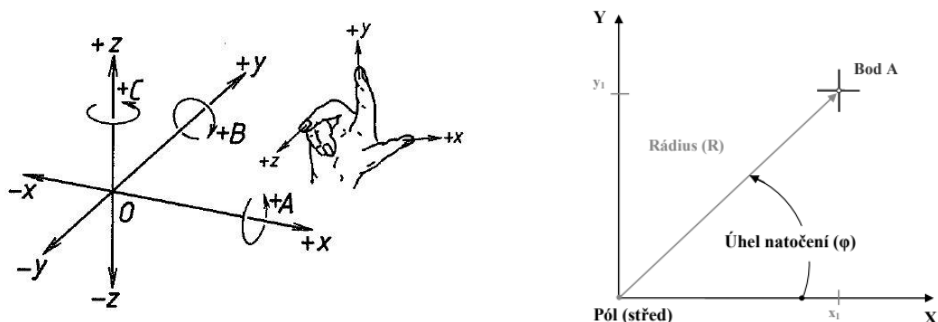
V této generaci se objevuje víceosé obrábění, snižuje se čas obrábění a výměny nástrojů. Zvyšuje se přesnost obráběného výrobku až na desetiny mikrometrů. Takto sofistikované stroje se již vyrábí dle konkrétních požadavků zákazníka. Rovněž zde začíná vývoj robotických ramen určených přímo k trískovému obrábění (Marek, 2010).



Obr. 1.2 – Obráběcí centrum Hurco VMX42UHSi (Smith, 2019)

1.2 Souřadnicový systém CNC stroje

Nejobvyklejším používaným typem souřadnicového systému u CNC strojů je systém kartézský. Souřadné osy (X, Y, Z) jsou navzájem kolmé a celý systém je pravotočivý. Rotační osy nazýváme písmeny A, B, C a jsou umístěny tak, že rotují kolem souřadných os, jak je patrné z obr 1.3. Kartézský systém je nedílnou součástí CNC strojů, jelikož bez definovaného prostoru by nebylo možné se pohybovat v prostoru, kompenzovat šířku nástroje, či provádět kalibraci apod. (Štulpa, 2006; Wagner 1994).



Obr. 1.3 – vlevo kartézský a vpravo polární souřadnicový systém (Řasa aj., 2005)

Druhým používaným typem je polární systém souřadnic, kde první souřadnice udává vzdálenost bodu od počátku a druhá hodnota udává úhel svírající s počátkem. Na rozdíl od kartézského systému popisují polární souřadnice polohu pouze v jedné rovině (X-Y, X-Z nebo Y-Z). Tento systém je velice vhodný pro výrobky s více úhlovými rozměry, příkladem může být vrtání otvorů, které jsou umístěné na obvodu kružnice (Wagner, 1994).

Všechny osy CNC strojů mají přiřazené určité označení a je vhodné ho používat, z důvodu kompatibility s číslicovým řízením. V mnoha řídicích systémech sice lze tyto osy přejmenovat, ale tím se uživatel vystavuje možným chybám při zpracování řídicích programů. Standardní užívané označení a využití os je uvedeno v tab.1 (Štulpa, 2006).

Tab. 1.1 – Označení os a jejich využití (Štulpa, 2006; upraveno)

Název osy	Označení	Využití
Základní	X, Y, Z	Geometrie pohybu nástroje
Rotační	A, B, C	Rotační pohyby v základních osách
Doplňkové	I, J, K	Parametry interpolace
Sekundární doplňkové	U, V, W	Přídavné pohyby v osách
Terciální doplňkové	P, Q, R	Osy manipulátorů u stroje.

1.3 Základní rozdělení CNC strojů

1.3.1 Rozdělení dle druhu technologických operací

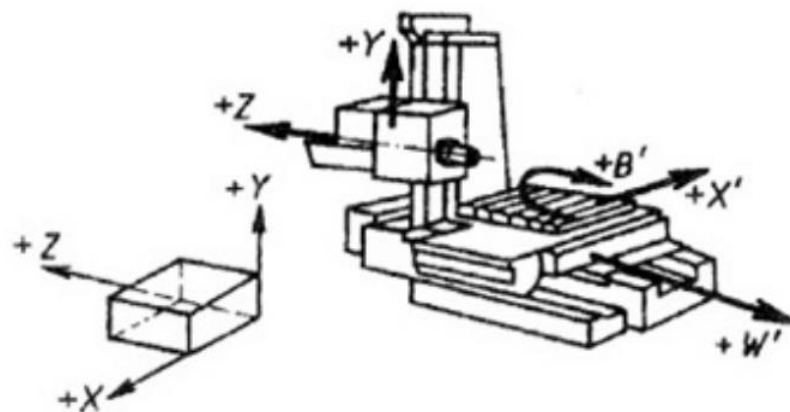
Počítačem řízené stroje lze dle druhu vykonávaných technologických operací bezesporu rozdělit do dvou hlavních kategorií. První z nich jsou tzv. jednoprofesní obráběcí stroje, které při jednom upnutí výrobku vykonávají pouze jednu činnost (např. vrtání, frézování, řezání závitů aj.). Naproti první skupině stojí stroje víceprofesní, které dokáží provádět více operací při jednom upnutí. Tyto stroje jsou známy pod pojmem obráběcí centra. Stroje druhé kategorie jsou v dnešní době hojně využívané, a to především z důvodu multifunkčnosti a úspory finančních prostředků při nákupu stroje (Svoboda, 1998; Polášek, 2012).

1.3.2 Rozdělení dle počtu řízených os

Dalším možným rozdělením číslicově řízených obráběcích strojů je dle počtu řízených os v souřadnicovém systému (Svoboda, 2015).

Jednoosé CNC stroje (1D)

Tyto stroje jsou jednoúčelové a vykonávají automatický pohyb pouze ve směru jedné osy. Většinou jsou určeny pro vrtání, řezání závitů nebo broušení obrobku. Na obr. 1.4 je vyobrazena 1D CNC vrtačka, která slouží pro vrtání děr do obráběného dílce (Svoboda, 2015).

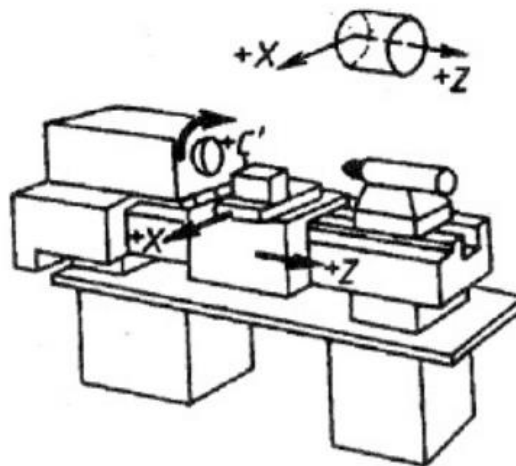


Obr. 1.4 – Principiální obrázek jednoosé CNC vrtačky (Vávra, 2010)

Dvouosé CNC stroje (2D)

Za dvouosý stroj se považuje CNC soustruh. Je to stroj, který koná rotační pohyb upevněným obrobkem ve sklíčidle a obráběcí nástroj (soustružnický nůž) se pohybuje ve směru osy X a Z jak je patrné z obr. 1.5.

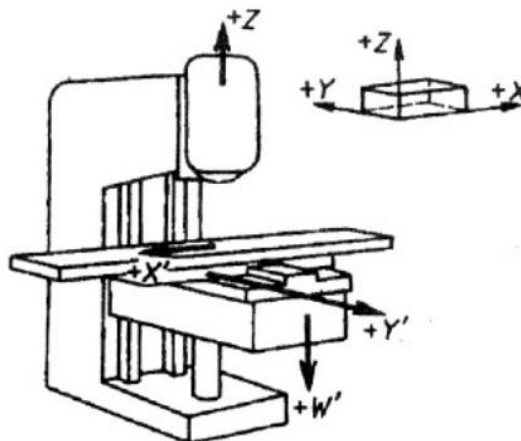
Druhým typem dvouosého CNC stroje je tzv. 2,5D fréza. Obsluha nastaví frézu na hloubku třísky, tedy vykoná pohyb ve směru osy Z a poté probíhá automatické frézování pohybem os X a Y (Svoboda, 2015; Polášek 2012).



Obr. 1.5 – Principiální obrázek CNC soustruhu (Vávra, 2010)

Tříosé CNC stroje (3D)

Frézovací nástroj vykonává rotační pohyb kolem své osy. Pohyblivý stůl koná pohyb v osách X, Y a hloubka třísky je definována automaticky pomocí osy Z, která je umístěna nad pohyblivým stolem (viz obr. 1.6). U tohoto stroje jsou programem ovládány všechny tři osy najednou na rozdíl od 2,5D frézy, kde osa Z je ovládána manuálně (Svoboda, 2015).



Obr. 1.6 – Principiální obrázek tříosé frézy (Vávra, 2010)

Víceosé CNC stroje (4D, 5D atd.)

Tento typ CNC strojů je prakticky pouze rozšířená verze tříosého obráběcího stroje o další osy. Zpravidla se tyto nové osy umísťují tak, aby bylo možné kolem os X a Y konat rotační pohyb. Tyto víceosé obráběcí stroje jsou nazývány jako multifunkční obráběcí centra. Ukázku tohoto centra můžete nalézt na obr 1.2 výše v textu (Svoboda, 2015; Polášek, 2012).

1.4 Výhody a nevýhody použití CNC strojů

Každá technologie, kterou lze v dnešní době použít má jak své klady, tak zápory a záleží tak na uživateli, jestli je pro jeho účely natolik výhodná, aby do ní investoval své finanční prostředky, čas, případně obětoval pracovní pozici svých zaměstnanců, či zaměstnal nové.

Níže v textu jsou uvedeny základní výhody a nevýhody při využití CNC obráběcích strojů. Je vhodné podotknout, že většina důvodů se týká finančních prostředků (Polášek, 2012).

Mezi výhody patří (Marek, 2010; Polášek, 2012):

- vysoká výstupní přesnost a kvalita,
- produktivnější výroba opakujících se výrobků,
- omezení chyb způsobených lidským faktorem,
- velice rychlé změny tvaru nebo úpravy obrobku,
- není nutné realizovat výrobu tzv. „do skladu“,
- příprava programů je oddělena od samotné výroby.

Mezi nevýhody patří (Marek, 2010; Polášek, 2012):

- velice vysoká pořizovací cena stroje,
- nutné vynaložení prostředků na kalibraci a servis,
- potřeba speciálních obráběcích nástrojů,
- jsou kladeny vyšší nároky na kvalifikaci a zaškolování pracovníků,
- výroba se provádí ve více fázích (projektování, příprava a samotná výroba),
- nákup licencí podpůrných programů.

2 ZÁKLADNÍ ČÁSTI CNC STROJŮ

2.1 Lineární vedení

Základním stavebním prvkem každého CNC stroje je lineární vedení, které zajišťuje přímočarý pohyb v dané ose. Jeho kvalita provedení ovlivňuje přesnost zařízení jako takového, dále omezuje nežádoucí trhavé pohyby při rozjezdech. Z toho lze usuzovat, že velkým problémem při konání posuvů je tření mezi styčnými plochami, a je cílem, aby jeho součinitel byl co nejmenší. Dalším důležitým požadavkem je tuhost provedení a minimalizace vůle ve vedení. Při provádění návrhu konstrukce je nutné brát v potaz hlavně hmotnost unášenou vedením, délku a také síly, které působí při obrábění (Polášek, 2012).

2.1.1 Druhy lineárních vedení CNC strojů

Nejvíce používané druhy lineárního vedení pro CNC stroje v profesionálních, ale i v některých amatérských konstrukcích jsou následující (Polášek, 2012):

- vedení kluzná,
- vedení valivá,
- vedení hydrostatická,
- vedení servostatická,
- vedení aerostatická,
- vedení kombinovaná.

Kluzná vedení jsou tvořena kruhovou, rovinnou nebo prizmatickou styčnou plochou mezi pohyblivou a pevnou částí stroje. U tohoto typu lineárního vedení je velice důležité snižování tření pomocí různých maziv. Správně namazané vedení totiž napomáhá k rovnoměrnému rozložení tření při různých rychlostech posuvu a také prodlužuje dobu opotřebování. Výhodou kluzného vedení oproti ostatním je jednoduchá konstrukce, údržba a nízká cena (Polášek, 2012; Marek, 2010).

Valivá vedení jsou konstruována obdobně jako vedení kluzná, ale s tím rozdílem, že mezi styčnými plochami se nachází valivé těleso, které se při lineárním posuvu pohybuje a tím snižuje tření. Obsažená tělesa mohou mít různá provedení, a to kuličkové, válečkové nebo jehlové. Výhodou tohoto vedení je velmi malé tření mezi pohyblivou a pevnou částí stroje, naproti tomu je však podstatně vyšší cena z důvodu složité výroby (Polášek, 2012).

Ostatní vedení jsou uvedena spíše pro informovanost čtenáře o jejich existenci, jelikož se využívají v profesionálních konstrukcích CNC strojů pro zvýšení přesnosti až na několik desetin mikro-metrů, což značně přesahuje požadavky na zařízení, jež je konstruováno v rámci této diplomové práce.

2.1.2 Vybraná konstrukční řešení lineárních vedení

Nepodepřené tyče

Základem tohoto druhu vedení je broušená a povrchově kalená tyč (obr. 2.1 - vlevo), která se vyznačuje velmi vysokou tuhostí a přesností. Při návrhu konstrukce ho lze realizovat pomocí kluzných (obr. 2.1 - uprostřed), či valivých pouzder (obr. 2.1 - vpravo). Oproti jiným typům konstrukcí lineárních vedení je nevýhoda především v tuhosti, proto se tento typ využívá pro posuvy lehkých břemen na krátké dráze. Výhodou je velmi příznivá cena.



Obr. 2.1 – Součásti vedení s nepodepřenou tyčí (Lineární technika, 2015)

Podpřené tyče

Tento druh lineárního vedení vychází z konstrukčního provedení nepodepřených tyčí s doplněním o podpěru v celé délce tyče, jak je vidět na obr. 2.2 - vlevo. Je možné použít jak kluzná (obr. 2.2 – uprostřed), tak valivá pouzdra (obr. 2.2 – vpravo), která se však od nepodepřené konstrukce liší provedením, a to z důvodu přidané podpěry. Princip funkce je totožný s nepodepřeným vedením.



Obr. 2.2 – Součásti vedení s podepřenou tyčí (Lineární technika, 2015)

Prizmatické vedení

Toto vedení je konstruováno s velkým požadavkem na minimalizaci součinitele tření a jeho konstantním rozložením. Toho je docíleno obíháním kuliček ve frézovaných kalených drážkách vozíku a prizmatické kolejnice, z čehož lze usoudit, že se jedná o vedení valivé. Tyto dvě součásti jsou uvedeny na obr. 2.3. Prizmatické vedení umožňuje velice přesné přímočaré pohyby, kvůli tomu je značně rozšířeno u profesionálních konstrukcí CNC strojů. U amatérských CNC se zpravidla nepoužívá z důvodu vyšší nákupní ceny.



Obr. 2.3 – Prizmatická kolejnice – vlevo, prizmatický vozík – vpravo (Pav, 2019a)

2.2 Lineární pohybový mechanismus

Lineární pohybový mechanismus je důležitý pro realizaci řízení číslicovým způsobem, protože převádí rotační pohyb akčního členu (motoru) na pohyb lineární. Je sice možné použít lineární motory, ale tento způsob není běžný z důvodu vyšší pořizovací ceny a složitější údržby.

Základním požadavkem na tento mechanismus je v první řadě minimální vůle a přesnost, jelikož každá odchylka výroby snižuje i přesnost konstruovaného zařízení. Vůle v systémech je sice možné elektronicky kompenzovat, ale pouze do určité míry. Při překročení maximální nepřesnosti systému se lineární pohybový mechanismus mění za nový kus. Druhým požadavkem je tuhost a odolnost proti opotřebení.

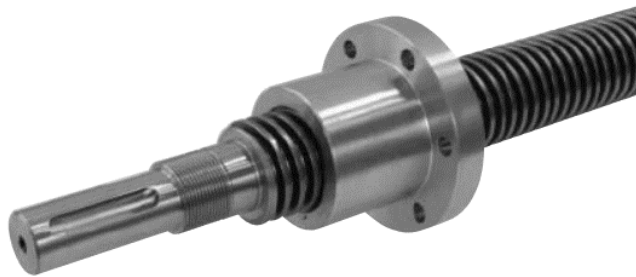
Nejčastěji používanými typy těchto mechanismů jsou:

- trapézové šrouby a matice,
- kuličkové šrouby a matice,
- válečkový šroub a matice,
- ozubený řemen a pastorek,
- ozubený řemen a řemenice.

2.2.1 Vybraná konstrukční řešení lineárních pohybových mechanismů

Trapézové šrouby a matice

Běžným používaným způsobem transformace rotačního pohybu je trapézový šroub, jenž může být také nazýván jako šroub lichoběžníkový (obr. 2.4). Výhodou jeho použití při návrhu konstrukce je především jeho nízká cena, naproti tomu je však mnoho nevýhod, a to kupříkladu vůle závitů při změně směru otáček, velký součinitel tření a tím pádem i rychlé opotřebení šroubu a jeho matice. Vůli závitů při změně směru otáčení lze kompenzovat použitím dvou matic, které se pružinou rozeprou proti sobě, čímž je každá z nich umístěna na jedné straně závitů (Pohybové šrouby, 2015).



Obr. 2.4 – Trapézový šroub s maticí (Pohybové šrouby, 2015)

Kuličkové šrouby a matice

Je nejvíce používaným typem lineárních pohybových mechanismů při návrhu konstrukce CNC stroje v dnešní době. Vůči trapézovému šroubu má podstatně menší součinitel tření, to je docíleno vložením kuliček do závitů šroubu a jejich následnému odvalování, z tohoto důvodu je i podstatně nižší rychlost opotřebování. Nevýhodou tohoto lineárního pohybového mechanismu je hlavně složitost výroby, což se neblaze projevuje na ceně, která dle délky šroubu šplhá i k řádům desetitisíců (Polášek, 2012; Pohybové šrouby, 2015).



Obr. 2.5 – Popis kuličkového šroubu a jeho matice (Pohybové šrouby, 2015)

2.3 Akční členy CNC strojů

Aby bylo možné číslicově řídit pohyby os a třískově obrábět výrobek, je nutné mít v návrhu mechanické konstrukce obsaženy akční členy, které tento stroj rozpohybují. Je vhodné vybírat motory k tomu určené, a to hlavně z hlediska přesnosti a rychlosti polohování či maximální rychlosti otáček rotoru.

Akční členy CNC strojů lze rozdělit do dvou kategorií, a to dle způsobu použití. První kategorie jsou akční členy, které realizují lineární pohyby ve směru os zařízení a druhou kategorií jsou vřetena, které slouží k třískovému obrábění obrobku. Požadavky na konstrukční řešení a typy těchto akčních členů jsou uvedeny v příslušných podkapitolách níže v textu.

2.3.1 Akční členy pro realizaci pohybu os

U akčních členů pro realizaci pohybu os jsou kladeny vysoké požadavky na přesnost požadovaného pootočení na určitý úhel a co nejvyšší dynamiku pohybu, bez možných chyb. Dále musí být zaručen plynulý pohyb při rozjezdu a brždění i v případě rychlých nebo pomalých otáček.

Servomotory

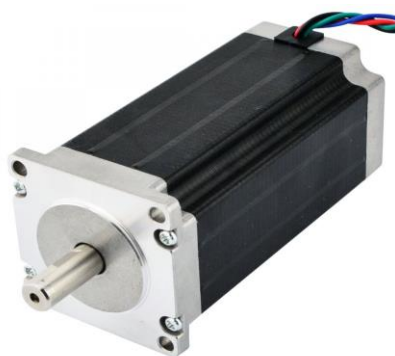
Prvním typem pro realizaci pohybu pracovních strojů jsou servomotory (obr. 2.6). Tyto pohony jsou tvořeny třemi hlavními součástmi a to elektromotorem, regulátorem otáček a snímači polohy, a to buď absolutními nebo relativními. U těchto motorů lze nastavit přesný úhel natočení v optimálním čase, jelikož zpětná vazba z integrovaného snímače poskytuje řídicí jednotce informaci o poloze a dle ní může být dopočítána i rychlost posuvů v jednotlivých krocích řízení. Servomotory se používají hlavně ve strojích náročných na rychlost pohybu s vysokou přesností a neobejdou se bez řídicí elektroniky, tzv. driverů (Suh, 2008).



Obr. 2.6 – Servomotory (Šabata, 2006)

Krokové motory

Druhým hojně používaným typem jsou krokové motory (obr. 2.7), jsou to nejjednodušší akční členy pro převod digitálních signálů na úhel natočení. Jedná se o synchronní stroj, v němž je postupným spínáním napájecího napětí na pólové dvojice generováno točivé magnetické pole. Nevýhodou těchto motorů je možnost ztráty kroku při nadměrném zatížení hřídele, což může vyvolat chyby v polohování, protože se krokové motory většinou používají bez zpětné vazby. Výhodou těchto motorů je vysoká životnost a nízká cena oproti servomotorům. Stejně jako servomotory se krokové motory neobejdou bez tzv. driverů. Způsob řízení krokových motorů je vysvětlen v samostatné kapitole 3.2 (Novák, 2005; Bařina aj. 2015a).



Obr. 2.7 – Krokový motor Nema 23 (Svoboda, 2016)

2.3.2 Akční členy pro realizaci třískového obrábění

Tyto akční členy lze nazvat obráběcí vřetena a slouží k realizaci rotačního pohybu upnutým obráběcím nástrojem. Důležitým požadavkem na konstrukci je dostatečný výkon dle zatížení pro obrábění určitého typu materiálu a rozsah otáček. Dále lze řešit jaký typ přívodní energie bude roztáčet vřeteno. V dnešní době se hojně využívají elektrické motory v kombinaci s frekvenčními měniči a pneumatické motory, které jsou určeny pro vysokootáčkové obrábění. Příklad obráběcího elektrického vřetene lze spatřit na obr. 2.8.



Obr. 2.8 – Profesionální vřeteno (PAV, 2019b)

2.4 Frekvenční měniče

Jelikož pro každý obráběný materiál jsou potřeba různé otáčky obráběcího nástroje, je vhodné do návrhu řídicí elektroniky zakomponovat frekvenční měnič (měnič kmitočtu), který se využívá právě k tomuto účelu. Příkladem může být obrábění plastů, pokud zde použijeme vyšší otáčky, tak se s nejvyšší pravděpodobností začne tento plast přehřívat, což je nechtěný stav z hlediska výstupní přesnosti. Pokud by tedy v předešlém případě nebyly sníženy otáčky motoru, musel by být obrobek ochlazován drahými médii jako například chladicí kapalinou nebo vysokotlakým vzduchem. Příklad novodobého frekvenčního měniče je uveden na obr. 2.9, výrobcem je firma Siemens a uvedená řada nese název Sinamics G120 (Doleček, 2016).



Obr. 2.9 – Frekvenční měniče Siemens řada Sinamics G120 (Daro, 2016)

Typ frekvenčního měniče se volí dle typu vybraného motoru, jeho výkonu, napájecího napětí sítě a druhu řízení. Je vždy nutné používat měnič se stejným nebo vyšším výstupním výkonem, než je výkon motoru. Například pro motor 0,5 kW bude vhodným výběrem měnič s výkonem 0,75 kW. Zkratka není vhodné měnič přetěžovat, protože přesné parametry motoru je možné v každém průmyslovém měniči nastavit na požadovanou hodnotu (Doleček, 2016).

Co se týče napájecího napětí měniče, musí být připojen na napájení pro které je určen, v žádném případě se nesmí připojit na jiné, protože by mohlo dojít k jeho nenávratnému poškození. Nejčastěji se jedná o jednofázové napětí 230 V, nebo třífázové napětí 400 V. Dále je nutné dimenzovat přívodní vodič na maximální zatěžovací proud motoru a dle typu měniče volit jistící prvky, které ho ochrání před přetížením či zkratem (Doleček, 2016).

Výstup z frekvenčního měniče je nutné provést stíněným kabelem, protože bez stínění se do okolí může vyzařovat vysokofrekvenční rušení, což elektronickým prvkům kolem tohoto kabelu může způsobovat nechtěné poruchy.

2.5 Koncové snímače polohy

Další velice důležitou součástí CNC stroje jsou koncové snímače polohy, které zajišťují více funkcí. První funkce je ochrana lineárních posuvových mechanismů a motorů před nechtěným přetížením či nenávratným zničením. Druhou funkcí je možnost automatické kalibrace na nulový bod obráběcího stolu, tedy na souřadnice X, Y, Z rovné nule.

Typů koncových snímačů je velké množství a z nich jsou nejvíce využívány tyto technologické principy:

- mechanické snímače,
- indukční snímače,
- magnetické snímače,
- optické snímače.

2.5.1 Vybraná technologická řešení koncových snímačů polohy

Mechanické snímače

Tyto snímače fungují na principu změny polohy kontaktů v koncových polohách. Uvnitř nalezneme z mechanickou a elektrickou část (kontakty). Mechanická část je tvořena pákou nebo jiným mechanickým dílem, který ovládá přepínací kontakt. Velice nepříjemnou nevýhodou použití tohoto typu snímačů je nutnost sledování mechanického opotřebení, proto každý výrobce v katalogích uvádí maximální počet cyklů zařízení (Koncové a bezpečnostní snímače, 2017).



Obr. 2.10 – Koncový snímač pákový (T-Matic, 2013)

Magnetické snímače

Jejich základem je jazýčkový kontakt, který je citlivý na magnetické pole. Tyto snímače se vyrábí jak rozpínací, spínací tak i přepínací. Oproti mechanickým snímačům magnetické díky své citlivosti nemají problém měřit i při namrznutí. Nelze je ovšem používat tam, kde hrozí nechtěné vystavení magnetickému poli z okolí (Vojáček, 2018).



Obr. 2.13 – Koncový snímač magnetický (Vojáček, 2018)

Induktivní snímače

Aktivním prvkem těchto snímačů je cívka, kterou protéká vysokofrekvenční střídavý proud. Tento proud vytváří v okolí cívky magnetické pole. Když umístíme do blízkosti předmět z elektricky vodivého materiálu, změní se impedance cívky. Tato změna je vyhodnocena elektronikou senzoru, zesílena a převedena na požadovaný výstup. Výhodou snímání polohy skrze tyto snímače je, že není nutné sledovat mechanické opotřebení, jelikož je-li zařízení správně připevněno, k žádnému nedochází (Vojáček, 2005).



Obr. 2.14 – Indukční snímače válcové (Infrasensor, 2013)

2.5.2 Umístění koncových snímačů na CNC stroji

Koncové snímače polohy se nejčastěji umísťují pouze na snímání minimální polohy u každé osy. Toto řešení vyžaduje pouze tři snímače, ale také nutnou kalibraci na nulový bod obráběcího stolu před každým použitím, protože by se lehce mohlo stát, že se vřeteno stroje bude snažit dostat dále, než je aktivní prostor obrábění. Tento problém je většinou ošetřen programově, ale není standardem. Z tohoto důvodu se velmi často osazují další tři snímače polohy na konec každé z os, které brání nechtěným pohybům mimo aktivní obráběcí plochu a tím udržují základní bezpečnost celého stroje.

2.6 Řídicí elektronika

Řídicí elektronika je nejpodstatnější částí CNC stroje, jelikož bez ní je celý stroj jen soubor částí neplnící žádnou funkci. Jejím hlavním úkolem je generování řídicích impulsů pro drivery krokových motorů na základě naprogramovaných G-kódů (více v kapitole č. 6), zpracovávání signálů z koncových snímačů, řízení otáček skrze frekvenční měnič aj.

Vyráběné řídicí jednotky lze rozdělit dle tří typů. Prvním je zařízení zcela komplexní, které nevyžaduje externě připojený počítač na, kterém je spuštěn řídicí program. U tohoto typu je zdrojový soubor zaváděn například pomocí SD karet, USB flash disků nebo jiných přenosných médií. Lze tedy říci, že si program sám načítá a zpracovává veškeré výpočty pro posuv os, či je provádí podle předdefinovaných rutin. Výhodou takové řídicí elektroniky je, že je dodávána s veškerými potřebnými funkcemi a není nutné zakoupení dalších licencí podpůrných software. Nevýhodou je absence možnosti následného rozšiřování systémů například o další pohyblivé osy či další nestandardní funkce.

Druhým typem je zařízení, které má počítač jako nedílnou součást. Tuto řídicí elektroniku lze nazvat jako interpreter G-kódu, jelikož počítač skrze komunikační kanál odesílá řídicí zprávy a dle nich jsou dopočítávány veškeré pohyby. Výhodou je možnost použití jakéhokoliv softwaru, který dokáže odesílat příkazy do této řídicí elektroniky, a to i open-source programy, které lze v některých případech používat i pro komerční využití zcela zdarma.

Třetím typem je počítač s připojenou akvizitní kartou, která realizuje řízení posuvových mechanismů a zaznamenává signály z čidel. Veškeré načítání souborů, výpočty, obsluha rutin, to vše je realizováno přímo v operačním systému. V tomto případě je nutné, aby byl počítač velice výkonný a jádro systému bylo reálnodobé, jinak by se mohlo stát, že některé signály počítač nezpracuje, či na ně zareaguje pozdě. Příkladem může být LinuxCNC pro 32bitové platformy, nebo Machinekit, který lze spustit i na ARM procesorech.

2.7 Napájecí zdroje

Nedílnou součástí každého elektronicky řízeného systému je napájecí zdroj. Nejčastěji se u CNC strojů vyskytují dva napájecí zdroje. První zdroj je určen k napájení řídicí elektroniky a čidel, druhý pak pro napájení pohonů os. Při využití krokových motorů jsou kladeny vysoké požadavky na jejich výstupní stabilizované napětí, protože každé zakolísání může znamenat ztrátu kroku a znehodnocení obráběcího cyklu.

Velikost napájecího napětí motorů se neřídí pouze dle maximálního napětí motorů, ale také podle maximálního napětí driverů krokových motorů. Nejvíce používané napájecí zdroje pro CNC stroje mají nominální stejnosměrné napětí od 12 V do 36 V. Nejčastěji se však používá standardní průmyslové napětí 24 V, a to z důvodu aplikovaných průmyslových čidel. Příkladem může být zdroj vyobrazený na obr. 2.13.

Na rozdíl od napájení motorů a driverů je pro řídicí elektroniku nejčastěji používaným napájecím napětí klasické TTL tedy 5 V stejnosměrných.



Obr. 2.15 – Síťový zdroj Puls Dimension QS20.244, 24 V/DC (Nowak, 2019)

2.8 Kabelové řetězy

Aby nedocházelo k nepřiměřenému ohýbání kabelů, které by následně mohlo vyústit až k protržení PVC izolace a následnému zkratu, je vhodné použít kabelové řetězy, které zajistí, aby k destruktivnímu zlomení kabelu nedocházelo. Tento způsob uložení je velice nákladný, ale ve srovnání s některými speciálními typy připojovacích kabelů je jejich cena zanedbatelná.

3 KROKOVÉ MOTORY

Jak již bylo řečeno, krokový motor je nejjednodušším akčním členem, který převádí digitální impulzy na mechanický pohyb. Lze ho přirovnat synchronním strojům, v němž je postupným spínáním napájecího napětí na pólové dvojice generováno točivé skokové magnetické pole. Pro realizaci řízení je nutné krokový motor doplnit o řídicí elektroniku, tzv. drivery krokových motorů. Počet poloh (kroků) tohoto motoru je dán jeho typem řízení a konstrukcí motoru (Novák, 2005).

V podkapitolách jsou popsány tři typy rotačních motorů a jeden typ lineárního krokového motoru. Dále je zde vysvětlen princip řízení.

3.1 Konstrukce krokových motorů

Dle typu konstrukce lze krokové motory rozdělit na (Novák, 2005; Bařina aj. 2015a):

- motory s pasivním rotorem (reluktanční),
- motory s permanentními magnety,
- hybridní motory,
- lineární krokové motory.

3.1.1 Krokový motor reluktanční

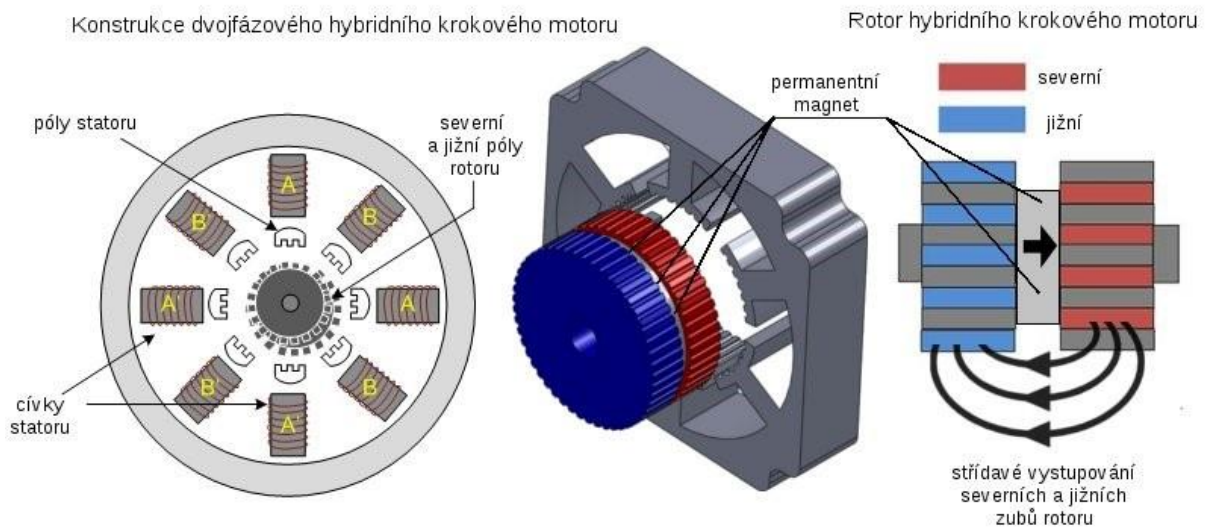
Tyto krokové motory využívají schopnost magnetického pole natáčet mechanickou část do místa, kde je magnetické pole s nejmenší energií. Rotor je tvořen póly lisovaných plechů nebo z jednoho kusu ocele. Stator je tvořen stejně jako rotor, ale na jeho póly jsou navinuty ovládací cívky. Dvojice protilehlých cívek tvoří jednu fázi motoru. Princip je takový, že se póly z magneticky vodivého materiálu natočí pod póly statoru s cívkami, tak aby zvýšily magnetický tok a byla snížena reluktance (magnetický odpor) celé konstrukce. Postupným spouštěním přírodního proudu do cívek se uvádí rotor do pohybu (Novák, 2005; Bařina aj. 2015a).

3.1.2 Krokový motor s permanentními magnety

Tento typ krokového motoru využívá magnetického pole tvořeného permanentním magnetem v rotoru, z tohoto důvodu se v motoru tvoří podstatně větší magnetické pole, než je tomu u motorů reluktančních. Severní a jižní póly vytvářejí různě směřované magnetické toky v celé konstrukci motoru a vhodným elektrickým proudem se pak motor roztáčí do požadované pozice (Novák, 2005; Bařina aj. 2015a).

3.1.3 Hybridní krokový motor

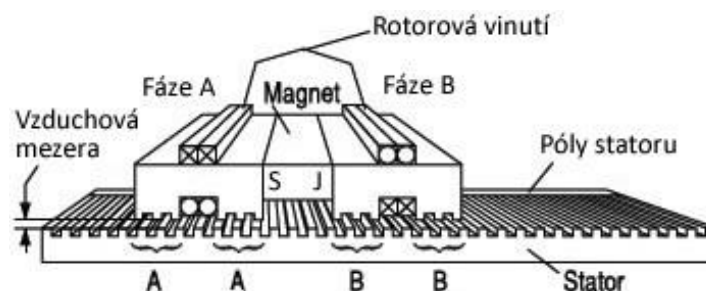
V dnešní době nejpoužívanějším typem krokových motorů. Využívá v sobě oba dva výše uvedené typy motorů. Rotor tvoří nemagnetická hřídel a dva pólové nástavce složené z lisovaných plechů, mezi nimi je umístěn permanentní magnet, jak je patrné z obr 3.1. Rotorové nástavce mají po celém svém obvodu tzv. zuby a jejich počet určuje maximální počet kroků na jednu otáčku kolem osy. Stator je tvořen póly, na kterých jsou navinuty řídicí cívky. Při odpojeném napájecím napětí tvoří magnetické pole jen permanentní magnet a tím je motor uveden do stabilní klidové polohy (Novák, 2005; Bařina aj. 2015a).



Obr. 3.1 – Konstrukce hybridního krokového motoru (Bařina aj. 2015a)

3.1.4 Lineární krokový motor

U konstrukce tohoto typu krokového motoru je rotor změněn na ozubenou stacionární přímou dráhu a stator na pohyblivou část, která se pohybuje po této přímé dráze. Nevýhodou těchto motorů je nemožnost využití v prašných, či jinak znečištěných prostředích. Jejich cena je velmi vysoká a zvyšuje se s délkou dráhy statoru (Bařina aj. 2015b).



Obr. 3.2 – Konstrukce lineárního krokového motoru (Bařina aj. 2015b)

3.2 Způsoby řízení krokových motorů

Řízení krokových motorů lze provést několika způsoby, ale každý je vhodný pro jiný druh motoru. Zvolený princip řízení je vhodné volit dle očekávaných parametrů, jako jsou kroutící moment, velikost kroku, rychlost otáčení, proudové zatížení. Je však vhodné upozornit, že všechny krokové motory, ač mají stejné konstrukční řešení, nemusí být shodné. Jedná se totiž o rozdíly v zapojení vnitřního vinutí motoru. Způsoby řízení můžeme rozdělit dle provedení napájení, a to na unipolární a bipolární. Statický moment může být zvýšen pomocí jednofázového či dvoufázového řízení (Novák, 2005; Pohony s krokovými motorky, 2006).

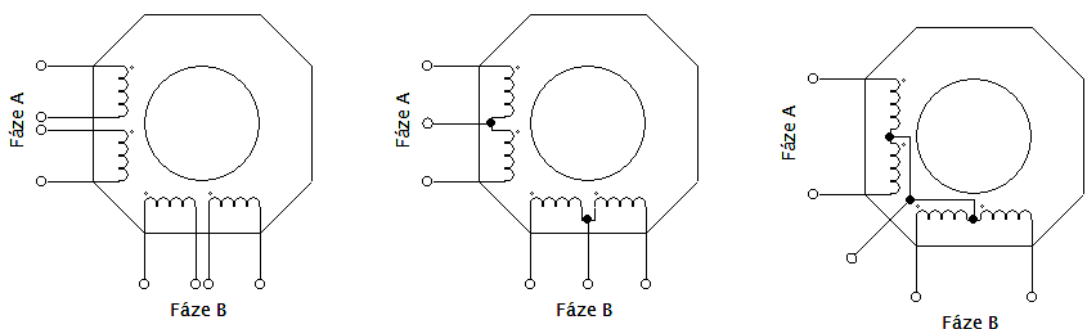
Rychlost otáček těchto motorů je omezena mezní rychlostí, která je dána typem motoru. Pokud krokový motor bude provozován na této rychlosti a bude více zatížen, tak cívky nedokážou vybudit takové magnetické pole k otočení rotoru a hrozí ztráta kroků.

3.2.1 Unipolární řízení

Při realizaci řízení unipolárně pouze jednou cívku prochází proud určité fáze. Motor má malý kroutící moment a menší spotřebu elektrické energie. Jedinou podstatnou výhodou je však jednoduchost zapojení, jelikož pro každou cívku motoru stačí pouze jeden spínací prvek. Rozdělením fází získáme možnost řídit směr průchodu magnetického toku bez nutnosti připojení H-můstku nebo symetrického napájecího zdroje (Novák, 2005).

Dle způsobu vyvedení konců vinutí můžeme rozdělit motory na:

- osmi-vodičové (vyvedeny jsou všechny poloviny fází samostatně),
- šesti-vodičové (vyveden střed vinutí u všech fází),
- pěti-vodičové (jsou spojeny středy vinutí a následně vyvedeny).



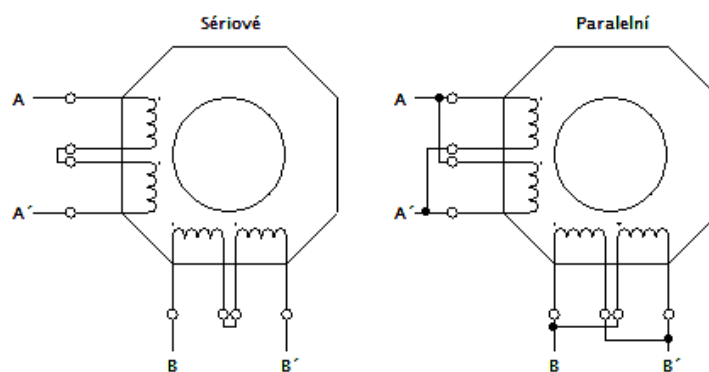
Obr. 3.3 – Způsoby zapojení vinutí dvoufázového krokového motoru (Novák, 2005)

3.2.2 Bipolární řízení

U tohoto typu řízení prochází proud pokaždé dvojicí protilehlých fází motoru, ty jsou uvnitř motoru zapojeny tak, aby vytvářely magnetické pole s opačnou polaritou. Řídicí elektronika musí umožňovat změnu směru procházejícího proudu v jednotlivých cívkách vinutí, tento stav lze docílit pomocí (Novák, 2005):

- zdvojeným (bifilárním) vinutím motoru,
- kombinací H-můstku a napájení z nesymetrického zdroje,
- kombinací symetrického zdroje a jednoduchých spínacích prvků.

Většina krokových motorů určené k bipolárnímu řízení mají osm vývodů a uživatel si sám může vybrat, jestli zvolí sériové nebo paralelní zapojení vinutí motoru. Při sériovém zapojení je indukčnost a odpor každé fáze čtyřnásobná oproti paralelní verzi zapojení, tím je dosaženo zvýšení momentu při nízkých rychlostech. Naproti tomu paralelní typ zapojení dosahuje vyššího momentu při vysokých otáčkách (Novák, 2005).



Obr. 3.4 – Bipolární buzení hybridního krokového motoru (Novák, 2005)

3.2.3 Jednofázové řízení a dvoufázové řízení

Při použití jednofázového řízení prochází proud pouze jednou (unipolární buzení) nebo dvojicí protilehlých cívek (bipolární buzení). Nevýhodou tohoto řešení oproti dvoufázovému řízení je nižší statický moment motoru. Klidová poloha motoru je vždy u nejbližšího zubu rotorového nástavce proti statoru (Novák, 2005).

Použitím dvoufázového řízení získáme zhruba dvojnásobek vazebního momentu, než tomu je u jednofázového řízení. To je způsobeno tím, že jsou napájeny vždy dvě sousední cívky, které generují magnetické pole současně. Nevýhodou je dvojnásobná spotřeba elektrické energie oproti jednofázovému řízení. Klidová poloha u tohoto typu řízení je vždy v geometrickém středu napájených vinutí statoru.

3.2.4 Mikrokrokování

Plná délka kroku krokového motoru může být rozdělena na menší dílce pohybu rotoru, tento způsob se nazývá mikrokrokování. Základním principem je, že každá fáze je buzena jinak velkým proudem. Při snižování hodnoty budícího proudu v jedné fázi a v jeho následném zvyšování v sousední fázi se výsledný magnetický vektor indukčnosti pohybuje mezi krajními polohami jednotlivých fází a nastaví hřídel na požadovaný úhel natočení (Pohony s krokovými motorky, 2006).

Výhody použití mikrokrokování (Pohony s krokovými motorky, 2006):

- klesne zvlnění momentu se vzrůstáním nastaveného počtu mikrokroků,
- poklesnou přirozené rezonance, jelikož došlo k omezení přechodových dějů,
- poklesne hodnota hluku vydávaného motorem,
- přizpůsobení motoru přímo pro danou aplikaci,
- účinnost je zlepšena díky lepšímu využití momentu.

Určitou nevýhodou je, když začneme zvyšovat počet poloh motoru, začne značně klesat točivý moment motoru, který se ho snaží nastavit do poloh vložených mezi jednotlivé celé kroky, tím může být způsobena ztráta kroků. Celkový počet poloh motoru se sice zvýší, ovšem přesnost polohování bude stejná nebo dokonce nižší než u nastavení jednoho celého kroku (Pohony s krokovými motorky, 2006).

V tab. 4.1 je uveden příklad napájecích proudů při rozdělení kroku na čtvrtiny. Je patrné, že v určité fázi je nutné proud zvýšit násobkem konstanty, která je dána typem motoru.

Tab. 3.1 – Proudové ve fázích při mikrokrokování (Pohony s krokovými motorky, 2006)

Poloha mikrokroku	Proud fáze 1	Proud fáze 2
0	I	0
1/4	0,924 I	0,383 I
1/2	0,707 I	0,707 I
3/4	0,383 I	0,924 I
1	0	I

4 RASPBERRY PI

Raspberry Pi je jednodeskový počítač, jehož rozměry můžeme přirovnat k velikosti kreditní karty. Byl vyvinut univerzitou v Cambridge s podporou britské nadace Raspberry Pi Foundation. Prvotním cílem tohoto projektu bylo podpořit výuku programování na školách, dále pak rozšířit povědomí o operačních systémech Linux (Upton a Halfacree, 2012).



Obr. 4.1 – Raspberry Pi 3 Model B+ (Raspberry Pi 3, 2018)

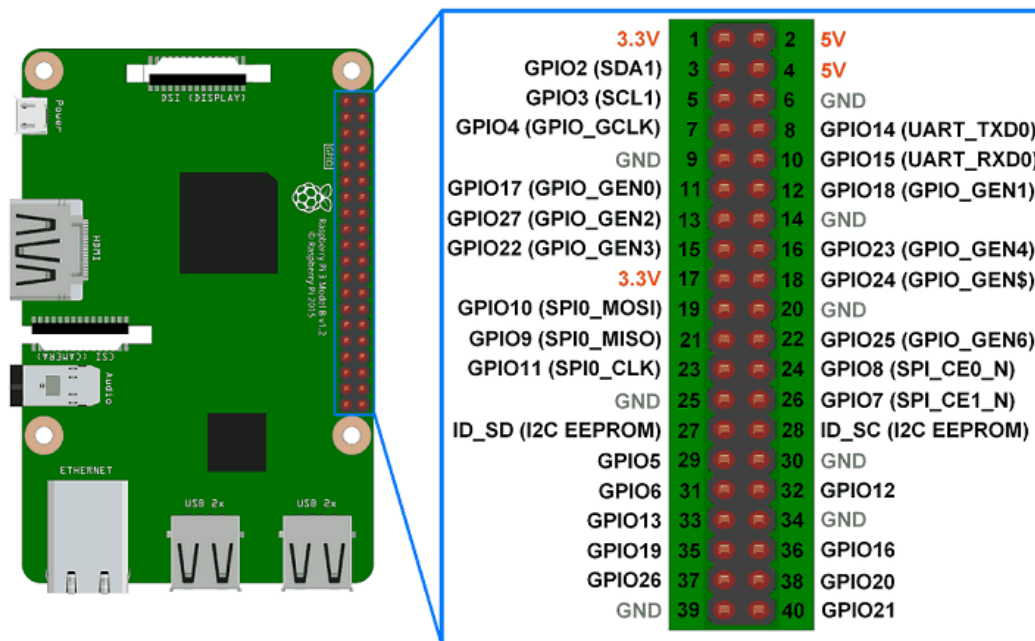
V dnešní době je dostupných několik verzí tohoto počítače včetně modulů pro průmyslové využití. Verze se oproti sobě liší hlavně rozměrem základní desky, velikostí RAM paměti, procesorem, počtem výstupních portů a v neposlední řadě počtem pinů sběrnice GPIO. Jelikož je celý projekt veden pod licencí GPL (General Public License) vznikají různé modifikace tohoto počítače, mezi nejznámější patří například Banana Pi, Orange Pi nebo ODROID (Heath, 2018).

Momentálně nejvýkonnější vydanou verzí tohoto počítače je Raspberry Pi 3 model B+, která obsahuje čtyř-jádrový procesor Broadcom BCM2837B0 pracující na frekvenci 1,4 GHz a 1 GB operační paměť. O grafické operace se stará grafická karta Broadcom VideoCore IV s maximální frekvencí 400MHz. Obsahuje širokou škálu výstupních portů, např.: HDMI, čtyři USB porty verze 2.0, audio výstup, rozhraní GPIO, port pro připojení kamery CSI, port pro připojení displeje DSI. Verze 3 je z doposud vydaných jediná, která obsahuje plnohodnotný Wi-Fi a Bluetooth modul. Pro instalaci systému a ukládání dat slouží micro-SD karta, jež je umístěna na spodní straně desky (Heath, 2018).

4.1 Rozhraní GPIO

Rozhraní GPIO se u nejnovější verze skládá ze čtyřiceti pinů rozdělených do dvou řad, které jsou umístěny přímo na plošném spoji počítače. Tyto vývody lze využít ke komunikaci, napájení a ovládání různých periférií. Piny tohoto portu, které jsou označené pomocí zkratky GPIO jsou vstupně/výstupní a lze je softwarově nastavit, ostatní vývody slouží pro připojení napěťových úrovní a uzemnění (GPIO, 2017).

Velice důležitá je skutečnost, že všechny piny jsou přímo připojené k procesoru a je nutné dodržovat maximální vstupní napětí 3,3V, pokud by bylo připojeno napětí vyšší, dojde k nenávratnému poškození celého počítače. Dále je nutné dodržovat maximální zatížení jednoho pinu, které je stanoveno na 16 mA, při použití více pinů GPIO rozhraní nesmí součet všech proudů na těchto vývodech překročit 50 mA (GPIO, 2017).



Obr. 4.2 – GPIO port Raspberry Pi 3 (Raspberry Pi GPIO Access, 2019)

4.2 Napájení

Raspberry Pi je možné napájet pomocí dvou způsobů. Jedním z nich je standardně připojit napájecí zdroj přímo na micro-USB konektor, který je součástí základní desky. Druhým způsobem je připojit napájení pomocí rozhraní GPIO, a to konkrétně pinu 4 a 6. Takto ale bude vyřazena vratná pojistka 1A1, která chrání desku před přetížením a následným poškozením počítače. Při návrhu napájení pomocí druhého způsobu je vhodné tento ochranný prvek zakomponovat do navrhovaného obvodového schématu zdroje (Upton a Halfacree, 2012).

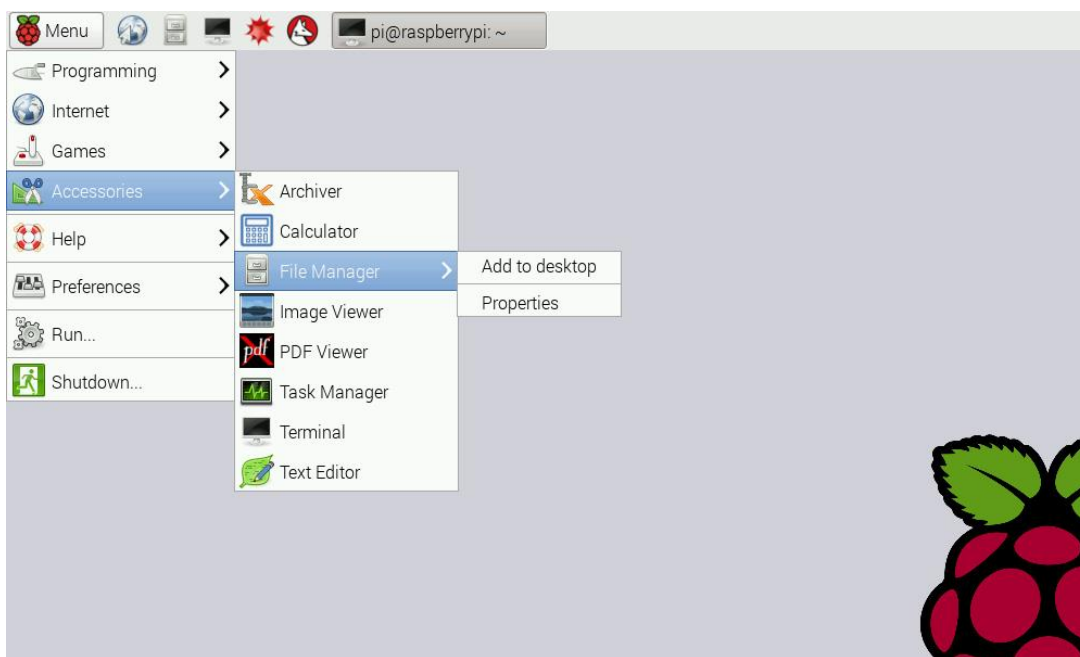
Pro správnou funkci by zdroj měl být dimenzován alespoň na proud 2 A s výstupním napětím 5 V. Při nedostatečném napětí je uživatel při spouštění systému počítačem upozorněn symbolem žlutého blesku v pravém horním rohu obrazovky a provede omezení svých funkcí (Power supply, 2017).

4.3 Operační systém

U tohoto jednodeskového počítače se operační systém načítá z paměťové karty. U starších modelů se používala klasická SD karta, u novějších modelů již standardně micro-SD. Je vhodné používat karty s typovým označením vyšším jak Class 10, z důvodu rychlosti načítání systémových souborů do paměti a práci se soubory v souborovém systému. Vyšší třída také určuje životnost počtu prepisů jedné buňky, což je u systémového úložiště nutností (Upton a Halfacree, 2012).

Základním stavebním pilířem většiny operačních systémů pro Raspberry Pi je operační systém Linux, je však možné nainstalovat i systém od firmy Microsoft s označením Windows 10 IOT, který je určený pro tzv. internet věcí (Downloads, 2017).

Oficiálním operačním systémem, který je vyvíjen přímo pro Raspberry Pi je systém Raspbian, který vychází z Linuxové distribuce Debian. Aktuální verzi lze pořídit na oficiálních stránkách projektu, dále se zde nachází podrobné návody na instalaci a průvodce prvním spuštěním (Upton a Halfacree, 2012).



Obr. 4.3 – Operační systém Raspbian Stretch

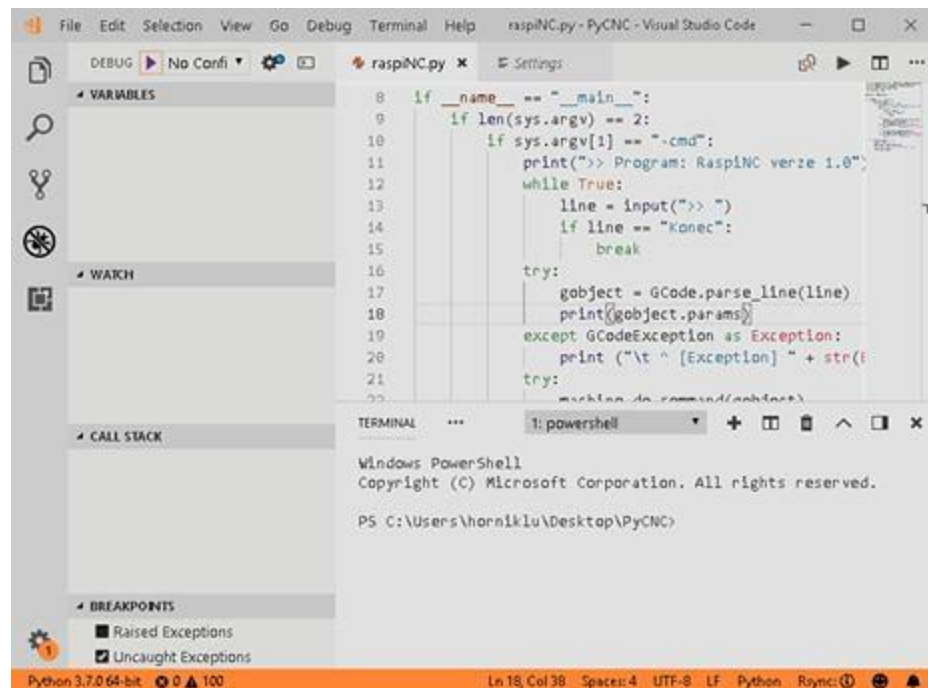
4.4 Způsoby programování

Raspberry Pi lze programovat prakticky ve veškerých známých programovacích jazycích. Lze využít jazyk C, C++, Java, Python, Bash a další. Je však nutné upozornit, že jazyk C# je dominantou pouze u operačního systému Windows 10 IOT.

Oficiálně podporovaným programovacím jazykem pro Raspberry Pi je jazyk Python. Odlišnosti od ostatních typů jazyků nejsou nijak zásadní. Mezi první rozdíl patří rozpoznávání začátku a konce prováděného kódu pomocí „odtabulátorování“ od kraje, nelze používat klasickou syntaxi tzv. závorkování. Dalším rozdílem je například absence přepínače typu switch a jiné drobné odlišnosti.

Velkou výhodou je hlavně rozsáhlost pokrytí. V tomto jazyku lze například jednoduše naprogramovat webové stránky, jednoduchou databázi, či aplikace pro operační systém, a to najednou a v jednom souboru, bez nutnosti importovat různé knihovny. Jelikož se jedná o interpretovaný jazyk, tzn. kompiluje se pouze ta část kódu, která je právě používána, je možné spustit program i s nezásadními chybami, se kterými by jiné programovací jazyky měly při spouštění problém. Další výhodou je nejlepší implementace obsluhy GPIO portu.

Pro programování lze využít programovací prostředí Thonny, které je součástí každé instalace Raspbian, já osobně jsem však využil Visual Studio Code (obr. 4.4) s možností vzdáleného programování.



Obr. 4.4 – Ukázka programovacího prostředí Visual Studio Code

5 ALGORITMY RASTERIZACE

Rasterizace je proces, při němž se vektorová grafika transformuje na rastrově definovaný obraz. Pro zobrazování těchto objektů na výstupních zařízeních v reálném světě je důležitá vysoká podobnost mezi vektorově a rastrově popsáním objektem, lze tedy říci že cílem je nalézt takovou množinu bodů, které nejlépe vystihují reálný objekt. Základním stavebním prvkem v rastrové grafice je bod, ze kterých se skládají základní objekty jako jsou úsečky, elipsy, kružnice, oblouky atd. Složitější objekty lze pak definovat jako soubor těchto základních objektů. Aby bylo možné realizovat tuto transformaci je nutné používat algoritmy k tomu určené, mezi něž patří (Procházková aj., 2007):

- DDA algoritmus,
- error control DDA,
- Bresenhamův algoritmus.

5.1 Úsečka

Je nejjednodušším grafickým prvkem, kterým lze vytvářet lomené čáry a další útvary. Její vykreslování musí být co nejefektivnější, jelikož je tento typ objektu hojně využíván. Úsečku lze vyjádřit dvěma způsoby. Prvním je pomocí souřadnic počátečního a koncového bodu a druhý je pomocí počátečního bodu a směrového vektoru (Procházková aj., 2007).

5.2 DDA algoritmus

Jedná se o přírůstkový algoritmus pro výpočet souřadnic bodů úsečky. Jeho principem je pohyb po ose x od prvního bodu k druhému, přičemž v každém kroku počítáme hodnotu y přičítáním směrnice úsečky. Tuto hodnotu zaokrouhlujeme a vykresluje na koncové zařízení. Algoritmus je velice jednoduchý na implementaci, ale jelikož pracuje v oboru reálných čísel je vcelku pomalý. Příklad je uveden na obr. 5.1 (Tastyfish, 2019).

```
1  int x, dx, dy;
2  double y = y1;
3  dx = x2 - x1;
4  dy = y2 - y1;
5  double smernice = dy / (double) dx;
6
7  for (x = x1; x <= x2; x++)
8  {
9      vykresli_bod(x, (int) y);
10     y = y1 + smernice;
11 }
```

Obr. 5.1 – Příklad kódu DDA algoritmu v jazyce C (Tastyfish, 2019)

5.3 Error control DDA

Tento typ algoritmu je pouze rozšíření předchozího DDA o výpočet chyb při zaokrouhlování. Pokud chyba přesáhne hodnotu 0,5 pixelu, posuneme se o řádek výš a od chyby odečteme 1, aby zůstala relativní k danému řádku (Tastyfish, 2019).

```
1  int x, y, dx, dy;
2  dx = x2 - x1;
3  dy = y2 - y1;
4  double smernice = dy / (double) dx;
5  double chyba = 0;
6
7  y = y1;
8
9  for (x = x1; x <= x2; x++)
10 {
11     vykresli_bod(x, (int) y);
12     chyba += smernice;
13
14     if (chyba >= 0.5)
15     {
16         y++;           // posun na další řádek
17         chyba -= 1.0; // aby chyba zůstala relativní k řádku
18     }
19 }
```

Obr. 5.2 – Příklad kódu Algoritmu Error control DDA v jazyce C (Tastyfish, 2019)

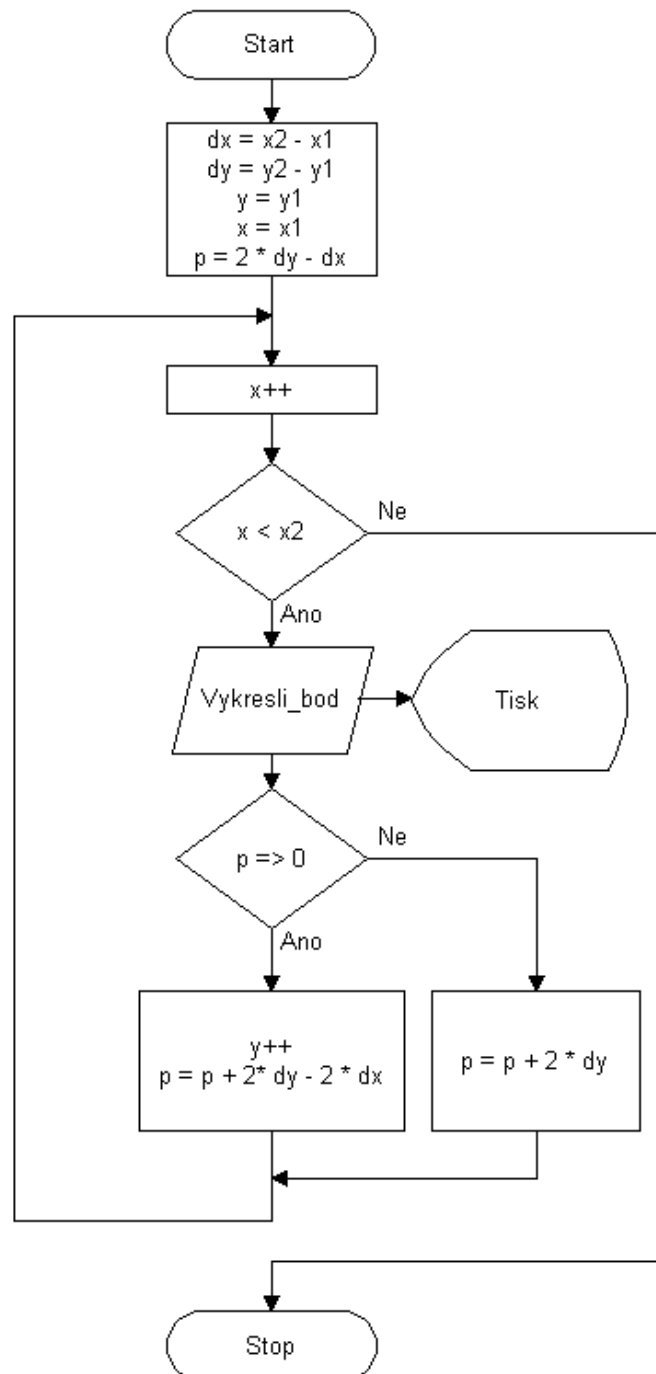
5.4 Bresenhamův algoritmus

Předchozí typ algoritmů byl znevýhodněn tím, že jejich výpočty musí probíhat v oboru reálných čísel. Tento datový typ float je značně náročnější na výpočetní výkon a paměť než celočíselné vyjádření. Takový problém řeší právě Bresenhamův algoritmus, který se dnes používá nejčastěji (Tastyfish, 2019).

```
1  int x, y, dx, dy, p;
2
3  dx = x2 - x1;
4  dy = y2 - y1;
5  y = y1;
6  p = 2 * dy - dx;           // prediktor
7
8  for (x = x1; x <= x2; x++)
9  {
10     vykresli_bod(x, (int) y);
11
12     if (p >= 0)
13     {
14         y++;           // přesun na další řádek
15         p = p + 2 * dy - 2 * dx;
16     }
17     else
18     {
19         p = p + 2 * dy;
20     }
21 }
```

Obr. 5.3 – Příklad kódu Bresenhamova algoritmu v jazyce C (Tastyfish, 2019)

Prvním krokem ke správné implementaci je zavedení prediktoru, dále se postupuje v ose X po jednotlivých bodech a dle prediktoru se rozhoduje, co dělat dále. Když je hodnota prediktoru větší nebo rovna nule přesune se o řádek výše a vypočítá hodnotu p, v opačném případě se vypočítá pouze proměnná p. Příklad Bresenhamova algoritmu je uveden na obr. 5.3 a jeho vývojový diagram na obr 5.4 (Tastyfish, 2019).



Obr. 5.4 – Vývojový diagram Bresenhamova algoritmu

6 CHARAKTERISTIKA PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Aby bylo možné pohybovat osami CNC stroje, je nutné dodat řídicímu systému patřičný dávkový soubor, který má přesně definovaná pravidla. Tento soubor obsahuje především data popisující dráhu nástroje, ale mimo jiné také informace o rychlostech posuvu, rychlosti otáčení vřetene, různé technologické pozastavení programu apod. (Keller, 2005).

Prvním a zároveň nejstarším způsobem je ruční tvorba programu dle výkresové dokumentace, takto psaný program však vyžaduje velice dobrou znalost programovacího jazyka typu G a technologii obrábění. Tento způsob programování se již v dnešní době prakticky nepoužívá z důvodu vyšší časové náročnosti a složitosti modifikací (Keller, 2005).

Více používanou metodou programování je tzv. dílenské programování, zde programátor vytváří program na počítači přímo u CNC stroje na základě definovaných vlastností stroje a konečné podoby výrobku. Tento typ je sice flexibilnější a rychlejší, nicméně má za následek neproduktivitu stroje při přípravě programovacího NC kódu (Keller, 2005).

V dnešní době nejvíce využívaným typem programování CNC strojů je pomocí CAD a CAM systémů. Zde se program vytváří automaticky, dle zadaného (2D či 3D) výkresového souboru. Tento způsob je nejvíce výhodný z hlediska efektivity výroby na stroji. Více informací o tomto typu programování je uvedeno v podkapitole níže v textu (Štulpa, 2015).

6.1 Struktura programu

Program se skládá z jednotlivých po sobě jdoucích bloků, které jsou označeny pomocí písmena N a číselným označením (např. 0010). Každý blok je posloupností přesně definovaných slov dle programovacího jazyka typu G. Komentáře k programu mohou být zapisovány pomocí dvou způsobů, prvním způsobem je zapisování do závorek a druhým je zapisovat za lomítko. Takto zapsané komentáře překladač kódu vylučuje z režimu zpracování. Existují dva formáty těchto programů, a to s konstantní délkou, kde se vypisují i parametry, které nezměnily svou hodnotu oproti předchozímu řádku. Druhým formátem je kód s proměnlivou délkou, kde se zapisují pouze změněné parametry (Wagner, 1994).

1	/Absolutní programování frézování čtverce 50x50x3mm
2	N0005 G90 (nastavení absolutního programování)
3	N0010 G00 X20 Y0 Z40 (Lineární interpolace rychloposuvu)
4	N0015 G00 X20 Y0 Z3 (rychloposuv)
5	N0020 G01 X50 Y0 Z3 (začátek frézování hloubka 3mm)
6	N0025 G01 X50 Y50 Z3
7	N0030 G01 X0 Y50 Z3

Obr. 6.1 – Příklad Struktury programu a jeho komentářů

6.2 G-kód (ISO-kód)

G-kód je standardizovaným univerzálním jazykem pro počítačem řízené obráběcí stroje, jeho historie započala v roce 1952 na Massachusettském technologickém institutu (MIT). Jeho podoba se od té doby prakticky nezměnila, pouze se konstrukce tohoto kódu rozšiřovala o další funkce (Štulpa, 2015; Wagner, 1994).

Program je tvořen pomocí několika funkčních bloků, základní funkce (G), pomocné funkce (M), funkce rychlosti posuvů (F), otáčkové funkce (S), funkce výměny nástrojů (T). Všechny náležitosti pro zápis těchto funkcí vycházejí z normy ISO 6983-1. Příklad významu jednotlivých základních a pomocných funkcí je uveden v tab. 7.1 a tab. 7.2 (Štulpa, 2015).

Tab. 6.1 – Příklad základních funkcí jazyka G (Štulpa, 2015, upraveno)

Kód	Význam
G00	Lineární interpolace-rychloposuv
G01	Lineární interpolace-pracovní posuv
G02	Kruhová interpolace-směr hodinových ručiček
G03	Kruhová interpolace-proti směru hodinových ručiček
G28	Návrat nástroje do nulového bodu
G41	Zapnutí korekce-ekvidistanta vlevo od kontury
G42	Zapnutí korekce-ekvidistanta vpravo od kontury
G54	Posunutí nulového bodu
G90	Nastavení absolutního programování
G91	Nastavení Přírůstkového programování
G92	Omezení otáček vřetene

Tab. 6.2 – Příklad pomocných funkcí jazyka G (Štulpa, 2015, upraveno)

Kód	Význam
M01	Volitelné zastavení (většinou po ukončení cyklu nástroje)
M03	Spuštění otáček vřetene ve směru hodinových ručiček
M04	Spuštění otáček vřetene proti směru hodinových ručiček
M05	Zastavení vřetene
M06	Výměna nástroje, doplnění délkovými korekcemi
M17	Konec podprogramu
M30	Ukončení hlavního programu

6.3 Absolutní a přírůstkové programování

Pro zadání souřadnic do programového kódu se využívají dva přístupy, prvním je tzv. programování absolutní a druhým je programování přírůstkové (inkrementální).

Absolutní programování

Popisuje koncový bod dráhy nástroje vzhledem k předem zvolenému počátku souřadnic, například to může být nulový bod stolu nebo relativní nulový bod obrobku. Při použití tohoto způsobu programování je ihned jasná pozice nástroje. Kód tohoto programu se dobře kontroluje a tím je dána i nižší pravděpodobnost chyb (Kopr, 2013).

Inkrementální programování

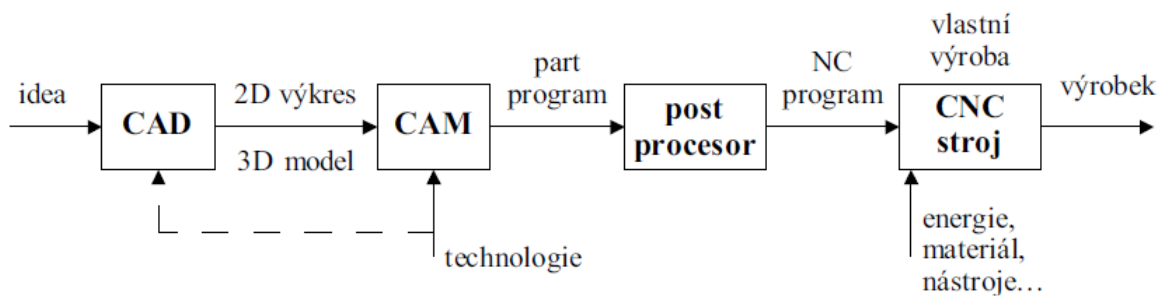
Tento způsob je pro programátora poněkud složitější z hlediska orientování se v kódu, jelikož je cílový bod popisován pouze jako přírůstek od předcházejícího bodu. Při následné kontrole je nutné kontrolovat vždy celý program od začátku až po hledaný rozměr. Pro návrh výkresů pomocí tohoto typu programování je vhodné použít řetězové kóty. Dále je vhodné poukázat na to, že v přírůstkovém programování se každá další chyba sčítá s chybami předcházejícími (Mana, 2012).

6.4 Programování CNC strojů pomocí CAD/CAM programů

Počítačové programové vybavení typu CAM (Počítačová podpora výroby) jsou v dnešní době nenahraditelným pomocníkem v efektivní výrobě. Dříve byly implementovány přímo do CAD systémů, dnes už jsou spíše známé jako sofistikované samostatné programy, které se zaměřují na řízení vhodný výběr obráběcích strategií a výroby celkově (Trčka, 2012).

CAM systémy jsou velice inteligentní programy pro technologické stránky obrábění, jsou schopny provést optimální výběr obráběcího nástroje z těchto dostupných v zásobnících, naplánovat co nejefektivnější možné trasy obrábění, případně dokážou i upozorňovat na opotřebené nástroje, či plánovat jejich nákup. Použitím simulačních algoritmů lze velice efektivně odstraňovat chyby v programu, upravovat program a sledovat celý proces obráběcího cyklu (Trčka, 2010; Štulpa 2015).

Součástí každého CAM systému je post processor, který na základě předem určených parametrů obráběcího stroje a seznamů podporované instrukční sady dle normy ISO 6983-1 vygeneruje CNC kód, který je pak poskytnut CNC stroji jako dávkový soubor (Trčka, 2010).



Obr. 6.2 – Princip využití CAD/CAM systémů (Keller, 2005)

Principiální schéma využití CAM software od nápadu po konečný výrobek je uvedeno na obr 6.2. První zleva je nápad, ten je poté nakreslen v programu typu CAD, výstupem je buď 3D výkres nebo 2D výkres, který je následně zpracován v systému typu CAM. Do tohoto bloku jsou již zařazeny všechny výrobní parametry a vlastnosti používaného výrobního stroje. Po nakonfigurování všech potřebných parametrů je v post procesoru vygenerován G-kód, který je následně předán CNC stroji, který dle něj vyrobí obrobek (Keller, 2005).

Výhody CAM systémů (Trčka, 2010):

- rychlé zpracování modelů na obráběcí strategie,
- optimalizace výrobních tras,
- zkrácení výrobních procesů,
- snadná kontrola skladových zásob obráběcích nástrojů,
- snadné propojení nebo přímá implementace v CAD systémech,
- efektivní využití pracovní doby obsluhy CNC stroje,
- přesná simulace výrobního procesu.

7 NEKOMERČNÍ FIRMWARE ŘÍDICÍCH JEDNOTEK

Každá doposud navržená řídicí deska (PCB) nekomerčních jednotek vychází z firmware GRBL a Smoothieware, které jsou pak pouze rozšiřovány. Další skupinou je přímé řízení z počítače skrze akvizitní karty v systému Linux, zástupcem tohoto řešení je LinuxCNC a multiplatformový Machinekit, zde je již hardwarové řešení velice důležité.

7.1 GRBL

GRBL je určen především pro uživatele s požadavkem na minimální náklady řídicí elektroniky k ovládní vlastního CNC stroje poháněného krokovými motory. Pracuje s podmnožinou standardu RS274 a autoři tvrdí, že při vývoji byl tento firmware testován s mnoha CAM programy bez jediné chyby (Rotta, 2019; Sungeun, 2016).

Firmware je určen pro mikroprocesory ATmega 168 a ATmega 328, lze tedy říci, že je vhodný pro Arduino Uno či Arduino Nano. Tyto mikroprocesory umožňují generovat řídicí signály s lehce vyšší frekvencí než 30 kHz. V programu je integrována i funkce inteligentního řízení rozjezdů a brždění krokových motorů, aby nedocházelo ke ztrátám kroků při náhlých změnách směru pohybu (Rotta, 2019; Sungeun, 2016).

7.1.1 Technická omezení

Tento firmware umožňuje řízení pohybu pouze ve třech osách souřadného systému s názvy X, Y, Z. Další typy přídatných os, jako jsou například osy rotační, nejsou podporovány. Záměrně je zredukována instrukční sada zpracovávaných G-kódů, jelikož je předpokládáno, že se tento program bude implementovat pouze pro jednoduché CNC obráběcí stroje. Program GRBL v nejnovější verzi 1.1 podporuje pouze G a M kódy uvedené v tab. 8.1 (Rotta, 2019).

Tab. 7.1 – Podporované G a M kódy firmwaru GRBL (Sungeun, 2016)

G00	G18	G38.2	G55	G91	M2
G01	G19	G38.5	G56	G91.1	M3
G02	G20	G40	G58	G92	M4
G03	G21	G43.1	G59	G94	M5
G04	G28	G49	G61	G92.1	M8
G10	G28.1	G53	G80	G93	M9
G17	G30	G54	G90	M0	M10

7.2 Smoothieware

Smoothie je bezplatný vysoce výkonný firmware pro řízení tříosých CNC strojů, ale i 3D tiskáren atd. Je naprogramován v objektově orientovaném jazyce C++ a je určen pro mikroprocesory LPC17xx (architektura ARM Cortex M3). V hojném počtu lze na internetu najít různá hardwarová řešení, například mBed, LPCXpresso, Smoothieboard a další, je však možné tento firmware provozovat na jakémkoliv vývojovém kitu založeném na již zmíněném mikroprocesoru (Smoothieware, 2019).

Ve zdrojových kódech je patrné, že projekt GRBL a Smoothieware spolu velice úzce spolupracují, jelikož se objevují části kódů, které jsou licencované jedním subjektem v kódu druhého a naopak. Nedá se však tvrdit, že se jedná o stejný produkt, protože v mnoha případech oba tyto projekty řeší některé problémy zcela odlišně.

Tento firmware má možnost připojit až šest os v souřadném systému, tedy je možné použít klasické osy X, Y, Z, ale i rotační osy A, B, C. Přímo ve firmware jsou definované netriviální kinematiky ovládání os, mezi něž patří například Hbot, Core-XY, Morgan Scara atd. Komunikace probíhá buď pomocí USB nebo ethernet portu nebo i WiFi. Maximální dosažitelná frekvence výstupů tohoto firmware je 100 kHz, a to při používání pouze tří os, pro využití více os je maximální frekvence omezena na 45 kHz (Smoothieware, 2019).

Podporovaná instrukční sada G kódů je prakticky stejná jako u GRBL, je zde však podstatně více M kódů, které slouží převážně k nastavování různých režimů tohoto firmware.

7.3 Machinekit

Machinekit je sada softwarových nástrojů v systému Linux, které poskytují programátorům značnou flexibilitu při návrhu aplikací. Může být použit prakticky pro ovládání jakékoliv elektroniky tzv. internet věcí. Hlavním cílem tohoto projektu je však usnadnění vývoje složitějších aplikací CNC strojů a robotů (Siliconbrain, 2016).

Tento projekt je možné provozovat prakticky na každé platformě, která má možnost implementaci „realtime“ jádra. Machinekit je odnož od projektu LinuxCNC, který však lze na rozdíl provozovat pouze na platformě x86. Všechny součásti machinekitu jsou licencovány pod licencí GNU GPL a LGPL, což může být i velké lákadlo pro malé firmy, jelikož za licenci nemusí nutně platit (Siliconbrain, 2016).

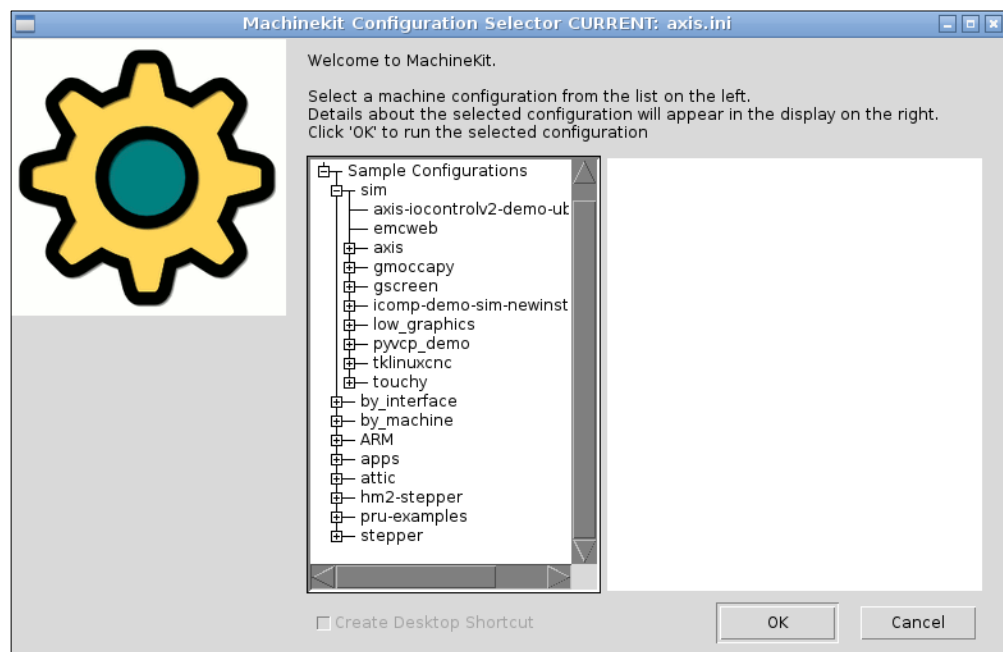
Machinekit podporuje standardní instrukce kódů G a M (RS-274), Maximální frekvence výstupních signálů je závislá pouze na hardware, protože softwarově prakticky omezena není. Podporuje nastavení různých netriviálních kinematik pohybu jako je CoreXY, Puma, Scara,

HBot a další. Další velice dobrou vlastností je, že podporuje nastavení vázaného pohybu os například při soustružení či závitování (Siliconbrain, 2016).

Machinekit nabízí tyto možnosti (Siliconbrain, 2016):

- současný pohyb až 9 os stroje,
- řízení signálů STEP a DIR v otevřené smyčce,
- kompenzaci rozměrů podle parametrů nástroje,
- elektronickou kompenzaci mechanických nepřesností stroje.

Veškeré vlastnosti CNC stroje lze po instalaci nastavit v okně vyobrazeném na obr. 8.1. Jak je z obrázku patrné, tak možností nastavení je zde velmi mnoho, ale jen část je nastavitelná v grafickém uživatelském rozhraní. Mnoho nastavení probíhá přímo v konfiguračních souborech a pro uživatele bez znalosti systému Linux je prakticky nemožné ho nastavit.



Obr. 7.1 – Ukázka možností nastavení Machinekitu

7.4 LinuxCNC

LinuxCNC zvládá to samé jako Machinekit, prakticky již tento systém není dále vyvíjen, protože mnoho jeho vývojářů přešlo právě na vývoj multiplatformního Machinekitu. LinuxCNC je ovšem stále hojně využíván, především kvůli jeho robustnímu řešení, avšak, jak již bylo řečeno, pouze na 32bitové platformě.

8 MECHANICKÁ ČÁST

8.1 Požadavky na konstrukci

Cílem práce v mechanické části bylo navrhnout a zkonstruovat malou CNC frézku, která bude mít dostatečně velký prostor pro obrábění malých konstrukčních dílů, například pro modelářství. Nejmenší možné rozměry obráběcí plochy byly stanoveny na 200 mm jak v délce osy X, tak osy Y. U vertikální osy Z jsou požadavky na její délku nižší, a to 150 mm. Dalším kritériem byla možnost jednoduchého prodloužení délek os X a Y, při zachování většiny vyrobených dílů. Konstrukce musela být navržena pro pohon pomocí krokových motorů od firmy Vexta a pro možnost použití nakoupeného třífázového vřetene. Dále bylo nutné navrhovat zařízení tak aby bylo dostatečně robustní pro obrábění hliníkových slitin.

8.2 Návrh konstrukce

Celý návrh konstrukce byl realizován pomocí komplexního 3D CAD software Solidworks verze 2013. Při návrhu byly zohledněny všechny definované požadavky v kapitole 8.1 (Požadavky na konstrukci). Veškeré součásti zařízení jsou obsaženy v příloze na kompaktním disku (CD).

Základním stavebním prvkem je podstava, která je složena z hliníkových profilů typu Minitec 45, které zajišťují dostatečnou tuhost konstrukce a mají délku 320 mm a 250 mm. Tyto profily jsou spojeny pomocí navržených rohů a běžného spojovacího materiálu. K této podstavě jsou dále připevněny veškeré vynášecí dílce lineárního a posuvového vedení os X a Y.

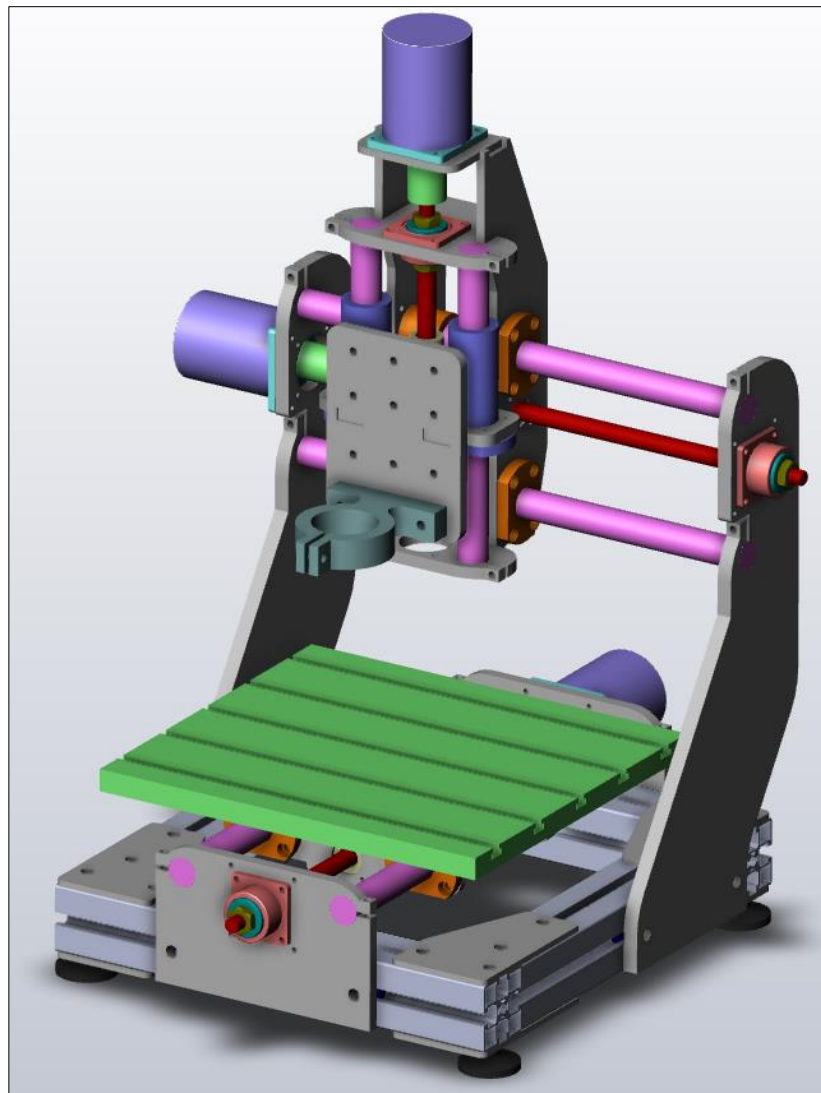
V návrhu jsou použity broušené povrchově kalené tyče o průměru 20 mm, které jsou vždy dotaženy pomocí šroubu o průměru 5 mm k nosné konstrukci. Vnitřní průměr použitých ložisek odpovídá také 20 mm a mají obdélníkovou přírubu pro napojení k pohyblivým součástem. Ložiska lineárního vedení na ose Z jsou oproti ostatním osám prodloužená z důvodu jejich zatížení mimo jejich osu.

Lineární pohybový mechanismus je zde řešen pomocí trapézových šroubů, které mají průměr 12 mm a jejich matic a čtvercovou přírubu. Připojení k motorům je navrženo pomocí pružných spojek s plastovým středem. Na druhé straně oproti motorům je vždy umístěn ložiskový domek s axiálními ložisky (SKF 342446) a pojistnými maticemi.

Třífázové vřeteno je uchyceno pomocí hliníkové příruby nad obráběcí plochou na montážní desce, která umožňuje rychlou záměnu vřetene za jiné.

Na obr. 8.1 je vyobrazena sestava veškerých dílčích konstrukčních prvků. Růžovou barvu mají lineární vedení, oranžovou a modrou lineární ložiska, červenou trapézové šrouby, tyrkysovou axiální ložiska, fialovou krokové motory a světle zelenou mají dva konstrukční prvky, a to obráběcí stůlek a pružné spojky motoru a trapézového šroubu.

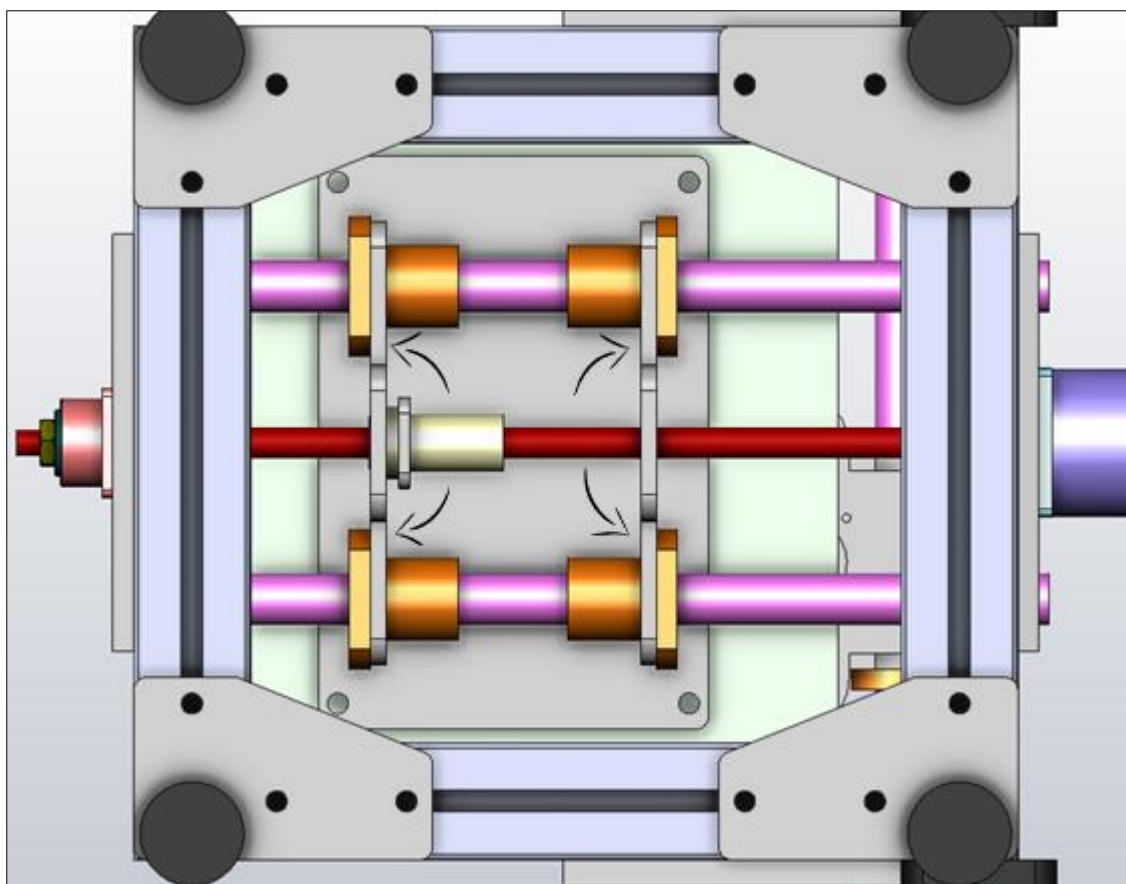
Dle navrženého zařízení by měla obráběcí plocha splňovat definované požadavky na její velikost a to konkrétně 250 mm v ose X, 200 mm v ose Y a 150 mm v ose Z. Navržený stůl je lehce větší, než jsou možnosti dosahu souřadnic vřetene, aby bylo možné pohodlně uchytit veškeré obrobky.



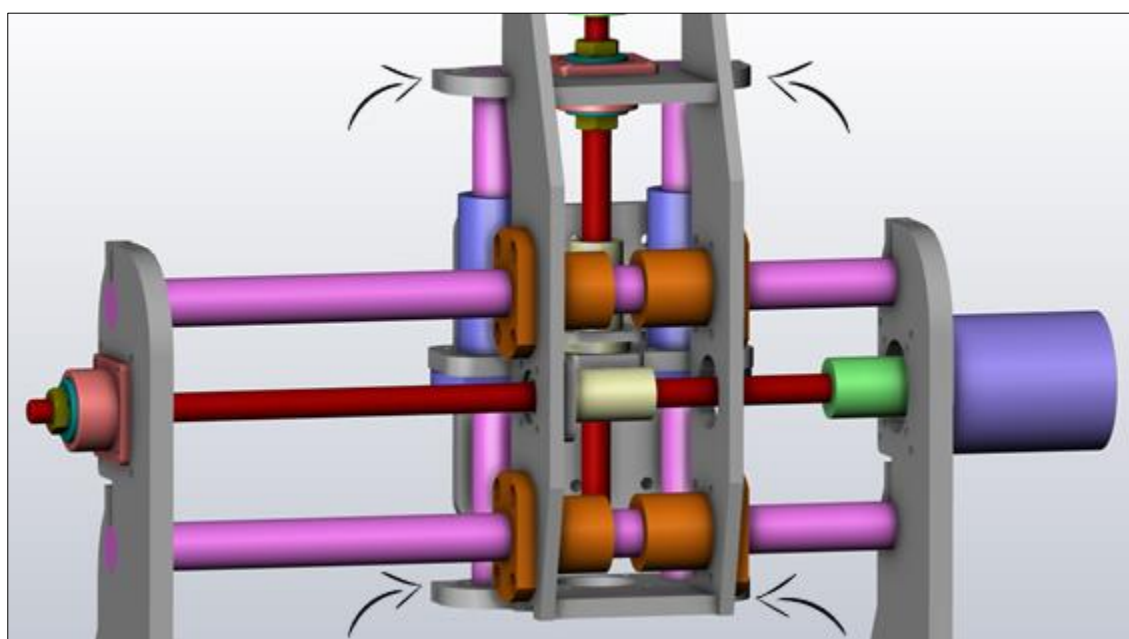
Obr. 8.1 – Kompletní navržená konstrukce v prostředí programu Solidworks

Jelikož celé zařízení bylo konstruováno pro výrobu pomocí 2,5D výrobních strojů, je potřeba některé dílce před instalací svařit. Jedná se hlavně o nosnou část osy Z a držák lineárních ložisek osy Y, ostatní části jsou přidělané pouze pomocí klasického spojovacího materiálu a předem připravených závitů.

Na obr. 8.2 a obr. 8.3 jsou vyobrazeny detaily mé navržené konstrukce, které není možné spatřit na kompletní sestavě (obr. 8.1), dále jsou zde také zvýrazněny potřebné sváry pomocí šipek, které je nutné realizovat před samotným sestavováním konstrukce.



Obr. 8.2 – Detail osy Y navržené konstrukce a vyobrazené sváry



Obr. 8.3 – Detail osy X navržené konstrukce a vyobrazené sváry

8.3 Realizovaná fréza

Celé zařízení je kompletně realizováno dle výrobní 2D dokumentace, tyto výkresy byly odeslány na laserové vypálení, proto není třeba zde uvádět kóty, protože firmy mají dispozici CAM systémy a kóty zde pak často vyvolávají problémy. K výrobě byla zvolena velice tvrdá ocel Hardox tloušťky 8 mm, která by měla zajistit dostatečnou tuhost celého zařízení. Dále byly provedeny veškeré svářečské a zámečnické práce, jako je například dovrtávání děr, řezání závitů, srážení hran a opilování otřepů pilníkem. V poslední fázi bylo nutné provést sešroubování zbylých součástí, zde bylo zjištěno, že ve výkresech byly opomenuty otvory pro koncová čidla, které se následně musely dovrtat a osadit.

Celé zhotovené zařízení je vyobrazeno na obr. 8.4, při porovnání s obrázkem 8.1 je patrné, že se navržená a realizovaná konstrukce naprosto shodují. Více obrázků CNC frézy lze nalézt v příloze B.

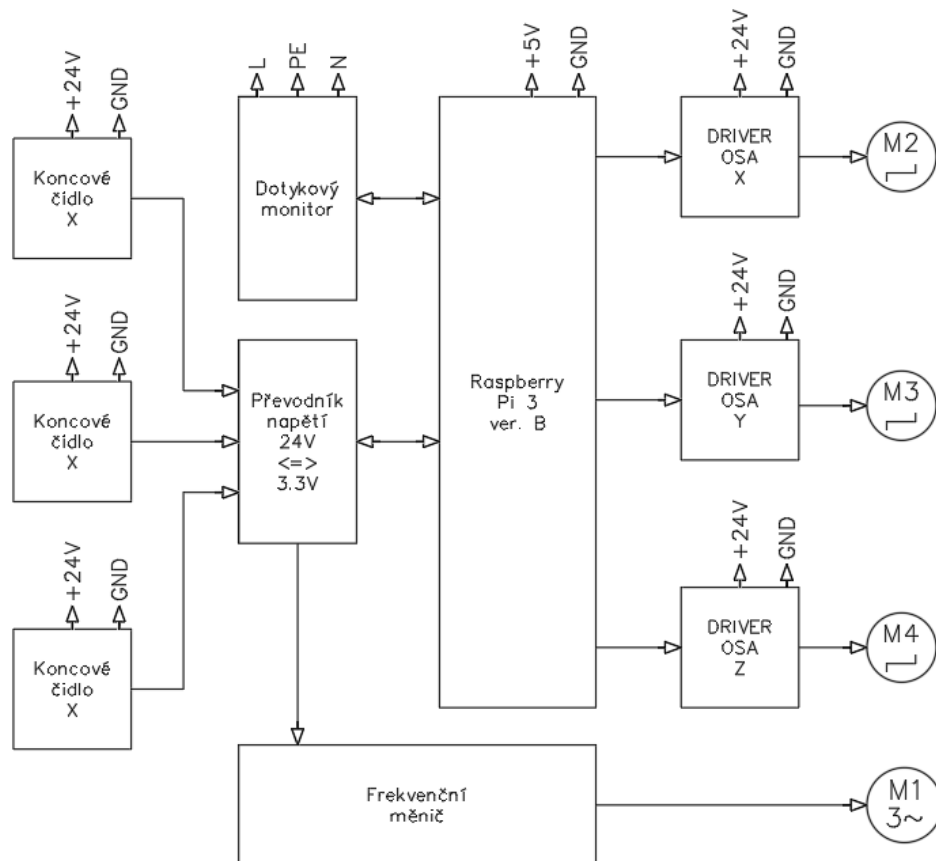


Obr. 8.4 – Realizovaná CNC fréza

9 ELEKTRONICKÁ ČÁST

Tato kapitola obsahuje praktickou realizaci řídicí jednotky včetně jejího návrhu. Je zde rozebráno zapojení, které je navrženo v projektové dokumentaci obsažené v příloze. Samotná praktická realizace rozvaděče je popsána v kapitole 9.2.

9.1 Blokové schéma propojení součástí



Obr. 9.1 – Principiální blokové schéma propojení řídicích součástí

Na obr. 9.1 je uvedeno blokové principiální schéma řídicí části, neobsahuje naprosto všechny prvky, které se nachází v realizovaném rozvaděči, a to z důvodu přehlednosti.

Je patrné, že hlavním řídicím prvkem celé řídicí jednotky je Raspberry Pi, které zajišťuje zpracování signálů z koncových čidel a dále generuje řídicí signály pro drivery motorů (STEP a DIR).

Vřeteno (M1) je připojeno na frekvenční měnič, který určuje rychlost otáčení a zároveň je zde protože je k dispozici pouze jedna fáze napájecího napětí 230 V, ale vřeteno je stavěno na fáze tři. Tento problém při správném zapojení motoru a využití frekvenčního měniče je jednoduše odstraněn, zároveň máme možnost nastavit otáčky motoru na požadovanou hodnotu.

Jelikož jsou k detekci koncových poloh použita čidla s výstupním napětím 24 V, bylo nutné převést jejich výstupní napětí na napětí určené pro Raspberry Pi (tj. 3,3 V), to realizuje modulový převodník napětí.

Veškeré řídicí pokyny zadává uživatel skrze dotykový monitor, který je umístěn na dveřích rozvaděče. Jedinými mechanickými ovládacími prvky jsou zde pouze hlavní vypínač, tlačítko stop a start.

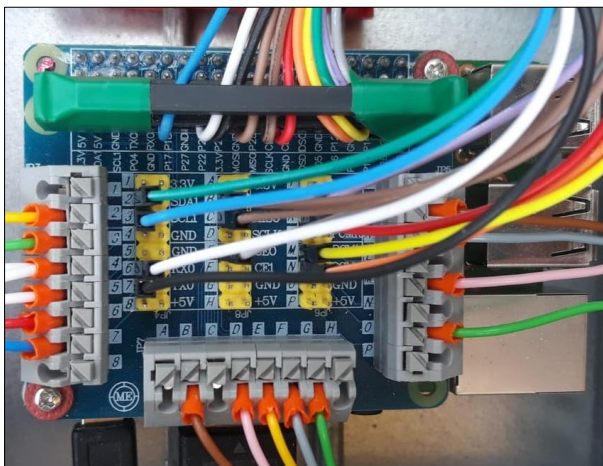
9.2 Použitá zařízení v rozvaděči a jejich význam

Tato kapitola je určena k popisu zapojení rozvaděče, který byl realizován za účelem řízení konstruované tříose CNC frézy. Vychází z projektové dokumentace, která je přiložena disku CD. Zároveň se v této části textu nachází tabulka s přehledným soupisem použitého elektroinstalačního materiálu, včetně typů použitých přístrojů.

9.2.1 Raspberry Pi

Je hlavním řídicím zařízením celé této práce. Obsahuje program navržený jako tzv. interpreter (překladač) G-kódu, který obsluhuje veškeré výstupní a vstupní prvky. Raspberry Pi je v rozvaděči ukotveno pomocí navržených a následně vytištěných držáků na DIN lištu. Seznam použitých GPIO pinů je uveden v kapitole 10.6, nebo lze využité piny vyčíst z projektové dokumentace.

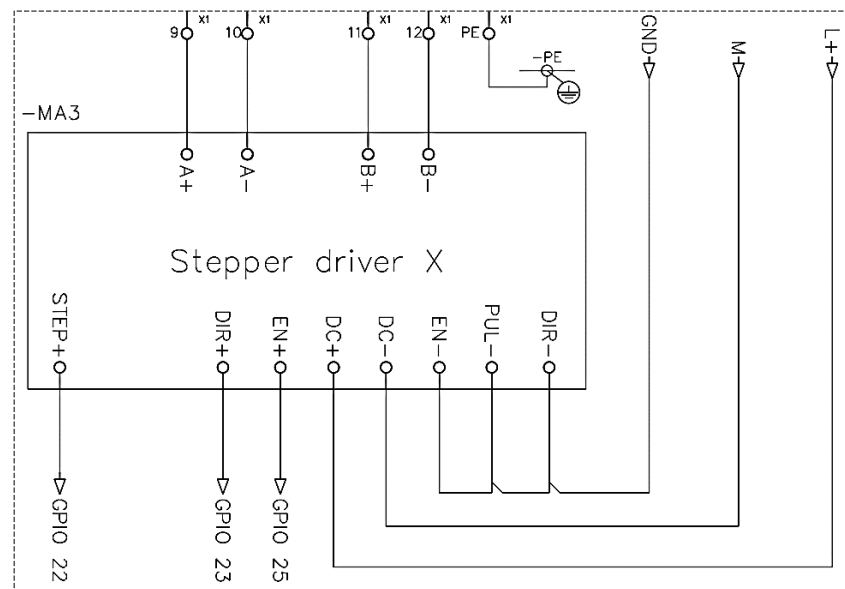
Raspberry Pi je vybaveno zakoupeným rozšiřujícím modulem (obr. 9.2), který slouží pouze pro rychlé připojení kabeláže. Pro konečnou verzi by bylo vhodné navrhnout plošný spoj, který by neumožňoval změny konfigurace pinů, mé řešení bylo vyhovující z hlediska rychlého připojení sondy z osciloskopu, a tak je prozatím zachováno pro možnosti důkladného testování.



Obr. 9.2 – Raspberry Pi s rozšiřujícím modulem GPIO

9.2.2 Drivery krokových motorů

Drivery slouží ke generování řídicích signálů pro krokové motory na základě impulzů “STEP“ a “DIR“, ty jsou připojeny přímo k Raspberry Pi bez převodníků napětí, jelikož použité drivery s označením HY-DIV268N-5A mohou být ovládané pomocí napětí 3,3 V. Celé zařízení je napájeno pomocí svorek DC+ a DC-, může zde být přivedeno stejnosměrné napětí od 12 V do 48 V, tento interval vyhovuje mému přivedenému napětí 24 V. Výstupní svorky motoru jsou označeny písmeny A a B a jsou vyvedeny na svorkovnici rozvaděče X3. Všechny signálové vodiče jsou vždy v páru, protože je na vstupním obvodu optočlen 6N137. Jelikož z řídicí jednotky vychází kladné řídicí napětí, jsou tyto signály přivedeny na vstupní svorky označené plusem a přizemněny na svorkách označené mínusem. Vývody EN+ u všech driverů jsou propojeny a připojeny na port GPIO pin 25, tímto je zajištěno řízení přívodní napájení k motorům.



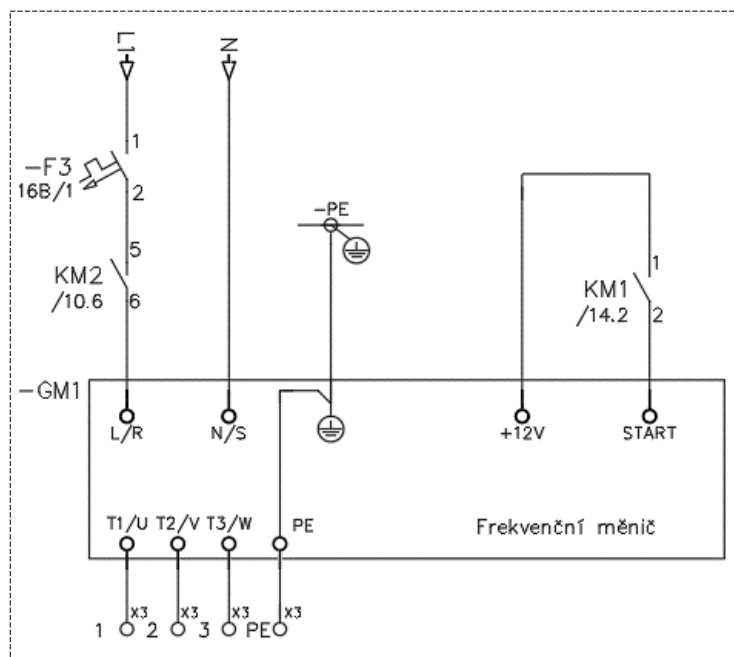
Obr. 9.3 – Připojení driveru krokového motoru osy X

9.2.3 Jistící prvky

Prvky v projektové dokumentaci označené jako “-Fx“ jsou jistící prvky. První jistící prvek zajišťuje ochranu na hlavním přívodu napájení. Dále je každé zařízení připojené na rozvodnou síť 230 V doplněno o dodatkové jištění, a to konkrétně o jistič 16 A charakteristiky. Celkový počet jistících prvků v obvodu je pět, a jistí zásuvku (-XS1 a -XS2), přívod frekvenčního měniče (-GM1), přívod ke stejnosměrnému zdroji napětí (-GU1) a po hlavním vypínači jsou jištěny také přívodní vodiče do rozvaděče. U tohoto rozvaděče je předpokládáno, že hlavní přívodní kabel je jištěn proudovým chráničem a pojistkami.

9.2.4 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič je napájen pouze jednou fází elektrické rozvodné sítě, kontakty cívky KM2 na tomto přívodu slouží pro plnění bezpečnostní funkce, tedy když není uzavřen bezpečnostní okruh, tak není napájen ani tento frekvenční měnič a potažmo pak ani akční člen (vřeteno), které by mohlo ublížit obsluze zařízení. Kontakty relé KM1 slouží ke spuštění otáček vřetene při povelu z řídicí jednotky. Výstupem frekvenčního měniče je třífázové napětí pro napájení motoru (svorky U, V, W). Motor v tomto případě musí být zapojen do tzv. zapojení “D” (do trojúhelníku), protože frekvenční měnič neumožňuje zvyšovat napětí na jeho výstupu na vyšší, než je jeho vstupní napájení.



Obr. 9.4 – Připojení frekvenčního měniče

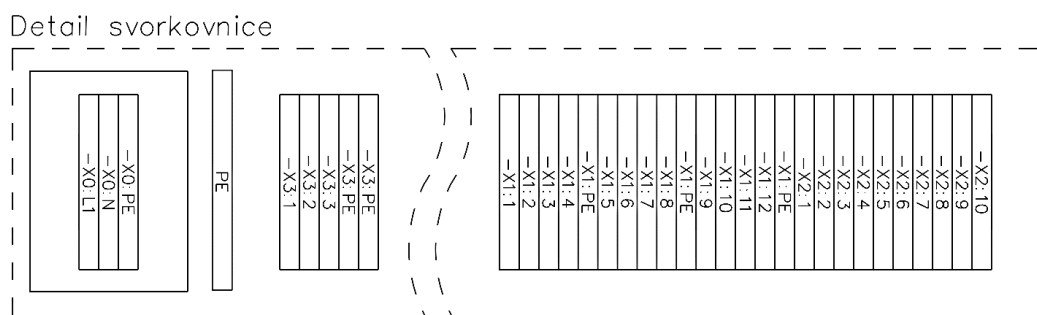
9.2.5 Zdroje napětí

Celé zařízení, pokud nejsou počítány zdroje napětí integrované na plošném spoji Raspberry Pi, obsahuje dva napěťové zdroje. Prvním je spínaný zdroj označený v projektové dokumentaci jako “-GU1“, který má nominální stejnosměrné napětí 24 V a slouží k napájení všech tří driverů motorů a koncových snímačů, které jsou rovněž provozovány na napětí 24 V.

Druhý napájecí zdroj je připojen do rozvodné sítě pomocí zásuvky “-XS1“, jeho výstupem je stejnosměrné napájení 5 V pro microUSB konektor, který slouží jako hlavní napájení jednodeskového počítače Raspberry Pi.

9.2.6 Svorkovnice

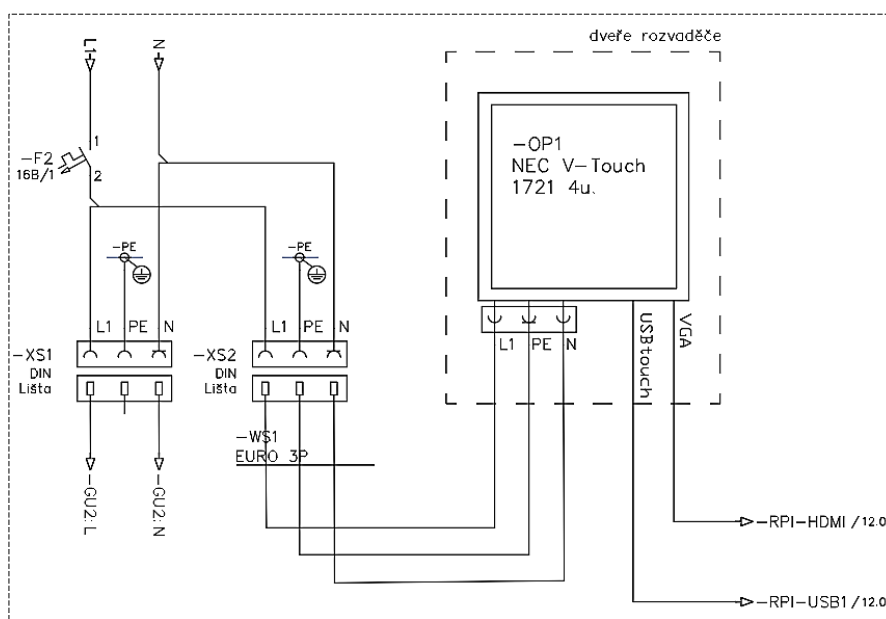
Na obr. 9.4 je uveden detail svorkovnice rozvaděče, je patrné že je rozdělena na dvě části, a to na silovou a ovládací. Vlevo je svorkovnice s názvem “-X0“, která slouží k připojení hlavního přívodu elektrické energie, tato svorkovnice je napájena i při vypnutém hlavním vypínači a je tedy nutné ji zakrytovat a informovat o tomto stavu doplňkovou tabulkou. Svorky s názvem “-X3“ slouží k připojení vřetene, svorky “-X1“ jsou určeny pro připojení krokových motorů a svorky “-X2“ slouží k připojení a napájení koncových snímačů.



Obr. 9.5 – Detail osazené svorkovnice v rozvaděči

9.2.7 Dotykový monitor

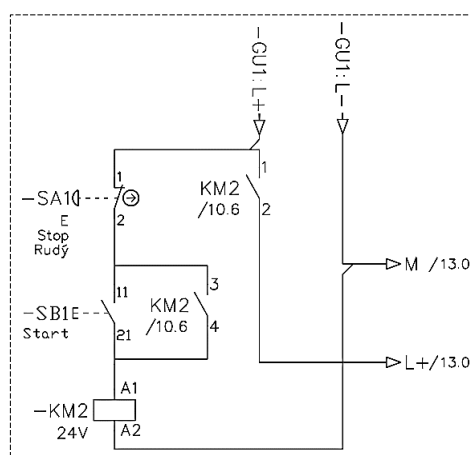
Dotykový monitor “NEC V-Touch 1721 4u“ je napájen ze zásuvky “-XS2“ pomocí klasického EURO kabelu. Dále je tento monitor připojen k HDMI portu jednodeskového počítače pomocí redukce VGA-HDMI a jeho dotyková periferie je připojena pomocí USB konektoru též k Raspberry Pi. Po jeho připojení bylo nutné provést kalibraci dotykové vrstvy.



Obr. 9.6 – Připojení dotykového monitoru

9.2.8 Bezpečnostní tlačítko nouzového zastavení

Tlačítko “-SA1“ slouží pro odpojení veškerých akčních členů mimo rozvaděč od napájení, tento stav je zajištěn pomocí stykače “-KM2“, který odpojí hlavní napájecí napětí 24 V od driverů motoru a také hlavní napájení frekvenčního měniče. Dalším požadavkem normy je, že se zařízení nemůže po opětovném uzavření bezpečnostního okruhu zařízení samovolně spustit, k tomu slouží tlačítko “-SB1“, které je nutné po každém přerušení bezpečnostního okruhu nebo po každém odpojení napájecího napětí znovu stisknout. Takto zapojené tlačítko by mělo splňovat požadavky normy ČSN EN ISO 13849-1 (2007).



Obr. 9.7 – Připojení bezpečnostního tlačítka stop

9.3 Vřeteno

V zařízení je použit malý třífázový motor FT4C52R od firmy Atas elektromotory Náchod a.s., který je určen k pohonu obráběcího vřetene malého výkonu. Výrobce v jeho technické dokumentaci uvádí, že je motor určen pro připojení k frekvenčnímu měniči s maximální možnou nastavitelnou frekvencí 400 Hz, výkon motoru je 500 W a jeho napájecí napětí je třífázové s hodnotou 230 V. Maximální otáčky motoru jsou 23 700 za minutu, a to právě při maximální frekvenci napájecího napětí 400 Hz.

Připojení je provedeno pomocí konektorové nástrčky DIN 43650, bohužel mi od dodavatele byl doručen konektor bez krytu, tak jsem byl nucen konektor dodatečně ochránit před dotykem živých částí instalační krabicí. Na obr. 9.9 vlevo je znázorněna svorkovnice motoru, a dle jejího rozložení vývodů je nutné zapojit i připojovací konektor. Na témže obrázku vpravo je vyobrazen reálné konstrukční řešení motoru.

Hřídel motoru je uzpůsobena pro kleštiny řady ER16, která poskytuje možnost použití frézek od 3 mm do 10 mm. Povolení kleštiny se provádí pomocí speciálního klíče souběžně s klíčem 17 mm, oba jsou součástí dodávky firmy.

Motor je dle přiložené technické dokumentace a doporučení výrobce připojen k frekvenčnímu měniči Hitachi L100-004NFE, který mění jednofázové napájecí napětí na třífázové o kmitočtu 360 Hz (limitace frekvenčního měniče). Spuštění pravotočivých otáček motoru je provedeno pomocí propojení řídicích svorek měniče “P24“ a “1“ skrze relé “-KM1“, které po převedení napětí na 24 V skrze převodník ovládá Raspberry Pi vývodem GPIO 21.

ZAPOJENÍ KONEKTOROVÉ PŘÍVODKY



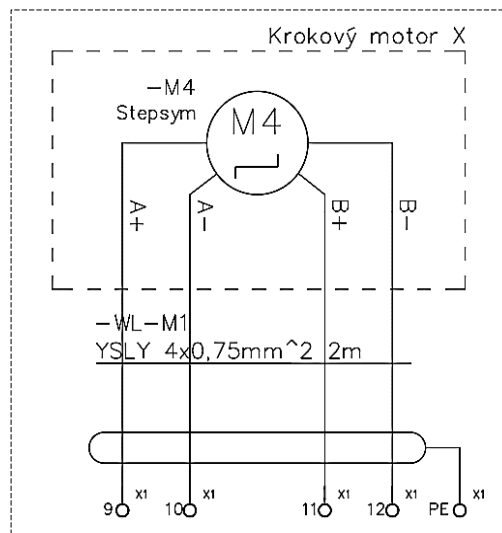
Obr. 9.8 – Zapojení konektorové přípojky (vlevo), vřeteno FT4C52R (vpravo)

9.4 Pohon posuvového mechanismu

Pro pohon posuvového mechanismu byly použity krokové motory od firmy Vexta model C6925-9212k na ose X, Y a C5524-9212 na ose Z, tyto motory zajišťují svým rotačním pohybem otáčení trapézového šroubu a po převodu pomocí trapézových matic vzniká pohyb lineární. V obou případech se jedná o dvoufázové hybridní motory s krokem po $1,8^\circ$, tedy na jednu otáčku motoru je třeba 200 kroků při nastavení driverů motorů na tzv. full step. Jejich maximální kroutící moment je 4,5 Nm, ale je vhodné motory nepřetěžovat a počítat s maximálním možným zatížením na 75 % této hodnoty, z důvodu možné ztráty kroku.

Motory jsou k zapojeny bipolárně a vinutí motoru je spojeno sériově. Pro připojení je tedy nutné použít modrý (A+) a šedivý (A-) vodič pro zapojení vinutí s označením “A“ a zelený (B+) a růžový vodič (B-) pro vinutí “B“. Pokud by bylo nutné změnit motory je velice pravděpodobné, že se toto barevné označení bude lišit, a je tedy třeba ho zkontrolovat s dokumentací k danému motoru.

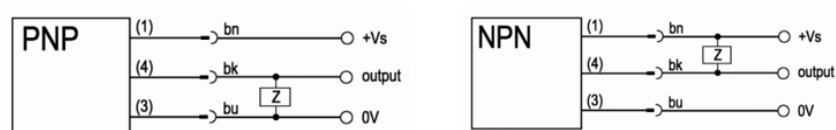
Motory jsou připojeny k řídicí jednotce skrze svorkovnici “-X1“, jak je patrné z obr. 9.7, kde je vyobrazeno zapojení motoru “-M4“ (krokový motor osy X). Řídicí napětí je ovládáno drivery krokových motorů “MA1, MA2 a MA3“ na základě signálů STEP a DIR generovanými z Raspberry Pi a také signálem EN, který dá impuls k možnostem ovládní krokového motoru a tím driver přivede napětí do krokového motoru.



Obr. 9.9 – Připojení krokového motoru osy X

9.5 Koncová čidla

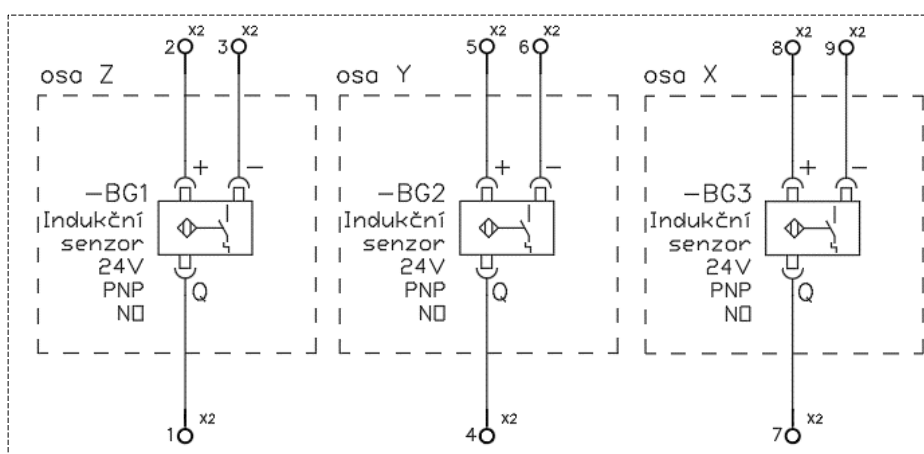
K detekci koncových poloh jsou použity indukční snímače IPS-8PO1B od firmy Best, jejichž výstupní signál je skrze převodník napětí připojený k Raspberry Pi na vstupy GPIO 10, 11 a 20. Čidla jsou typu PNP a tím pádem jejich výstupním napětím je 24 V, na rozdíl od čidel NPN, které mají po sepnutí na výstupu 0 V. Na obr 9.10 je vyobrazeno zapojení snímačů PNP a NPN a je z něj patrný rozdíl mezi zapojení zátěže.



Obr. 9.10 – Zapojení snímače typu NPN a PNP

Citlivost snímače výrobce udává na 1 mm, jako napájení je možné použít stejnosměrné napětí od 10 V do 30 V. V klidovém stavu je čidlo rozepnuté (NO) a na frézu je přiděláno pomocí závitů M8, který je po jeho obvodu.

Jelikož vývod z čidel je realizován pomocí tří pinového konektoru, bylo nutné opatřit k tomu určený kabel, v mém případě je použit E224249 od firmy Lütze. Kabel má v sobě tři barevně odlišené vodiče a to hnědý, modrý a černý vodič. Hnědý vodič slouží pro připojení napájecího napětí 24 V a je ho tedy nutné připojit na svorkovnici X2 a dle toho pro jakou osu je určeno tak na svorky č. 2, 5 nebo 8. Modrý vodič slouží k připojení "0 V" napětového zdroje "GU1", jedná se o svorky 3, 6 nebo 9. Černý vodič je určen pro výstupní napětí z čidla, které je připojeno na svorku 7 u osy X, svorku 4 u osy Y a na svorku 1 u osy Z. Více patrné je toto zapojení z obr. 9.10.



Obr. 9.11 – Připojení koncových indukčních čidel

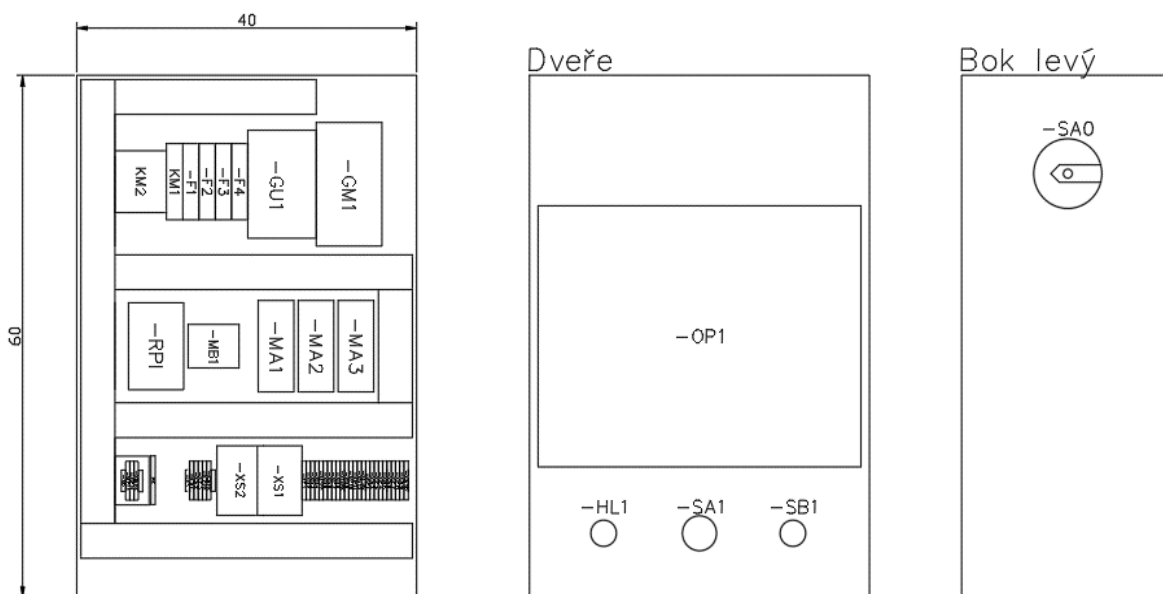
9.6 Realizace rozvaděče

Prvním počinem k realizaci rozvaděče byl nejprve návrh obvodových schémat, dle nichž bylo sestrojeno osazovací schéma a tím byly zjištěny potřebné rozměry rozvaděče, jeho šířka je stanovena na 40 cm, výška na 60 cm a jeho hloubka byla stanovena na 21 cm, s ohledem na největší výšku přístrojového prvku.

K zapojení silové části byl používán kabel s průřezem 2,5 mm², veškeré řídicí signály 24 V byly realizované tmavě modrým vodičem o průřezu 0,75 mm² a výstupy z Raspberry Pi jsou realizovány různobarevnými vodiči o průměru 0,5 mm. Označení kabeláže je provedeno pomocí žlutých označovacích štítků od firmy Weidmüller typového označení Multicard TM-I 18, mimo vodičů z Raspberry Pi, ty jsou značeny pomocí barev.

Bezpečnostní tlačítko stop je umístěno ihned pod operátorským panelem, jelikož obsluha k tomuto panelu musí přistupovat, musí mít také volný prostor před rozvaděčem, tím je zajištěna i podmínka normy o přístupnosti tohoto tlačítka.

Velice důležitou částí je pospojování veškerých částí rozvaděče zemnicí smyčkou, pro dodržení bezpečnosti. Realizace pospojování byla provedena zeleno-žlutým kabelem (PE) průměru 4 mm², který by měl splňovat požadavky normy ČSN 33 2000-4-41 (2018).

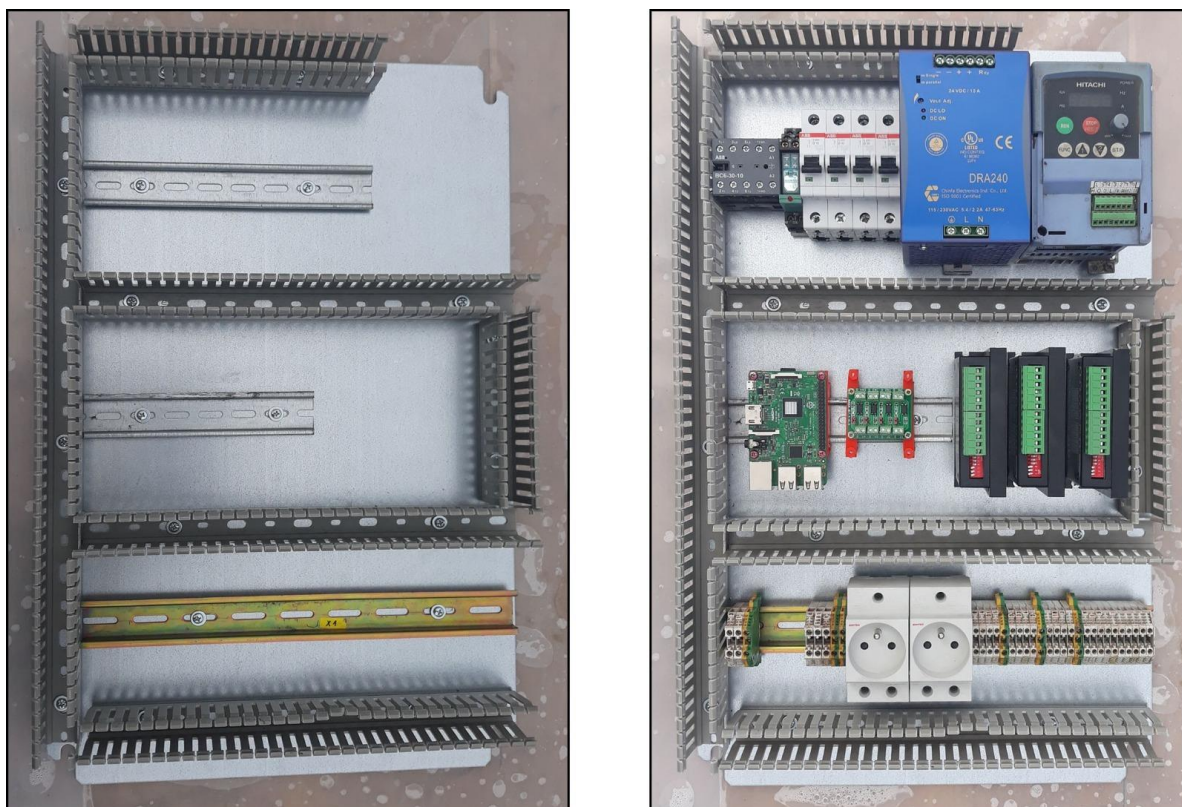


Obr. 9.12 – Osazovací schéma rozvaděče

9.6.1 Konstrukční návod řídicí jednotky

Po návrhu přišla na řadu samotná realizace rozvaděče. Prvním krokem je vyjmutí osazovací desky ze zakoupeného rozvaděče a její příprava, kde je potřeba rozměřit pozici DIN lišt, jejichž délka je 30 cm, 15 cm a 20 cm a pozici krycích perforovaných žlabů. Dále byly označeny průchozí otvory, které je nutné předvrtat vrtákem o průměru 3,2 mm a v nich provést řezání závitů závitníkem o průměru 4 mm. Přidělení DIN lišt a krycích perforovaných žlabů je provedeno pomocí šroubů M4 s délkou 10 mm a velkoplošnými podložkami, provedení je vyobrazeno vlevo na obr. 9.13.

Druhým krokem je osazení připravené desky veškerým přístrojovým vybavením dle obr. 9.12. Přístroje jako jsou drivery krokových motorů a frekvenční měnič jsou připevněny přímo na osazovací desce pomocí šroubů shodnou metodou jako při přidělování DIN lišt. Raspberry Pi je připevněno pomocí navržených a vytisknutých držáků na 3D tiskárně. Vpravo na obr. 9.13 je vyobrazena rozvaděčová deska s veškerými osazenými přístroji.

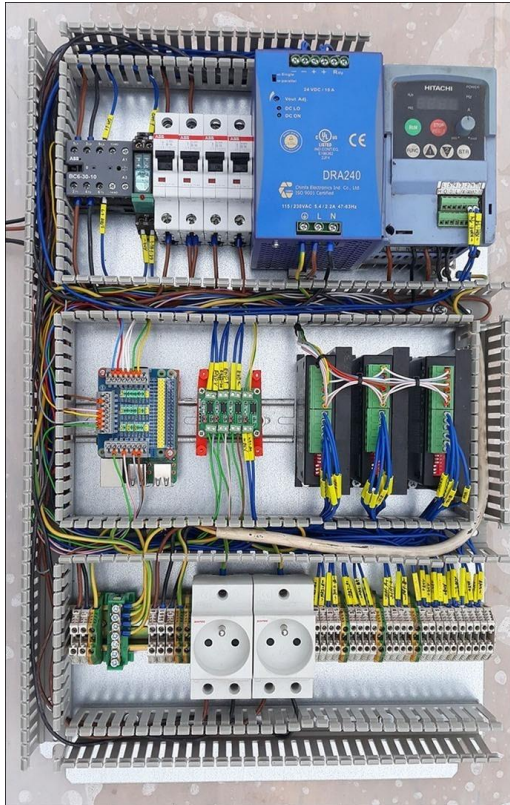


Obr. 9.13 – Příprava zapojovací desky (vlevo), osazení rozvaděče přístroji (vpravo)

Třetím krokem je pospojování přístrojů vodiči dle navržené technické dokumentace, jíž lze nalézt v příloze B. Nejvíce pozornosti je vhodné věnovat především zapojení vodičů, které jsou určené k rozvodu napětí 230 V, a to z důvodu bezpečnosti. Dále je vhodné veškeré vodiče tzv. dutinkovat, a to dle jejich průřezu. Propojené přístroje jsou vyobrazeny na obr. 9.14 vlevo, kde chybí pouze propojení GPIO pinů s výstupními piny rozšiřovací modulové desky plošného spoje.

Krok čtvrtý je příprava rozvaděče na přidělení osazovací desky, tím je myšleno připevnění monitoru, tlačítek na dveřích rozvaděče a hlavního vypínače. Díry pro tlačítka je vhodné rozměřit a předvrtat vrtákem o průměru 8 mm a následným vykroužením vykružovačem o průměru 22 mm. Poté může být do rozvaděče umístěna osazená deska s přístroji, dále je nutné připojit tlačítka “-SA0“ a “-SB1“, HDMI kabel, napájení a kabel USB dotykové vrstvy monitoru, dle technické dokumentace. Kompletní připravený rozvaděč je možné spatřit na obr. 9.14 vpravo. V mém případě jsem doplnil dveře rozvaděče o kontrolku, která svítí při spuštění napájecím zdroji 24 V, její osazení však není nutné.

Posledním krokem je připojení osmi kabelů, skrze rozvaděčové vývodky na svorkovnici rozvaděče. Jedná se o kabely hlavního přívodu, vývod ke krokovým motorům a koncových čidel. Kompletní zapojená CNC fréza a řídicí jednotka je vyobrazena na obr. 9.15.



Obr. 9.14 – Příprava kabeláže osazovací desky (vlevo), kompletní rozvaděč (vpravo)



Obr. 9.15 – Kompletní sestavená jednotka a připojená CNC fréza

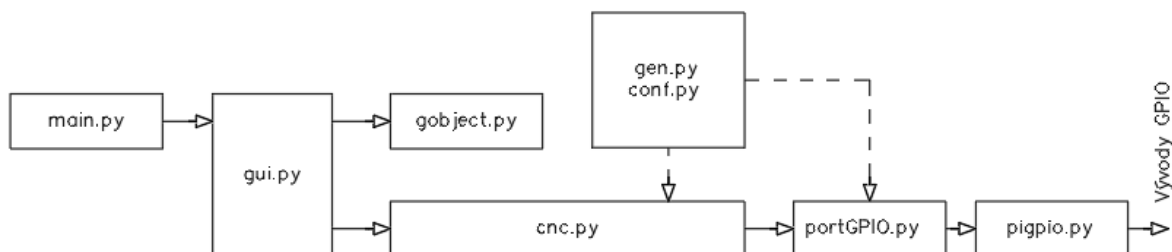
10 NÁVRH A REALIZACE PROGRAMU

10.1 Požadavky na program

Prvním a základním požadavkem pro realizaci programu bylo navrhnout jeho strukturu tak, aby veškerá elektronika v rozvaděči byla ovládána pomocí portu GPIO jednodeskového počítače. Druhým požadavkem bylo zajistit implementaci standardních funkcí typu G a některých podpůrných funkcí typu M pomocí tzv. interpreteru G kódu. Jelikož je jako hlavní ovládací prvek dotykový monitor, byly zde kladeny také požadavky na naprogramování jednoduchého grafického uživatelského rozhraní, a to jak s manuální možností řízení, tak pomocí zpracování souborů s instrukcemi. Dále by mělo být umožněno nastavovat některé parametry stroje, jako je počet kroků na jeden milimetr, maximální rychlost krokových motorů, definice výstupních pinů aj.

10.2 Blokové schéma programu

Na obr. 10.1 je uvedeno blokové schéma vytvořeného programu RaspiNC. Soubor `main.py` slouží k hlavnímu spuštění celého programu, další v sérii asociací je soubor `gui.py` ve kterém je definováno celé grafické uživatelské rozhraní. Dalším je `gobject.py`, který má za úkol vytvářet a ověřovat objekt “gc“ ze zadaného g-kódu a vracet hodnoty atributů při dotazu. Programový kód v `cnc.py` obsahuje hlavní výpočty generovaných průběhů pro lineární a kruhovou interpolaci, dále je zde obsluhováno rozhodování, o jaký typ obsluhy funkce Gkódu jde. Soubor `gen.py` slouží pro výpočet potřebných proměnných pro generování veškerých pulzů, jejichž výstup je obsluhován pomocí programu v `portGPIO.py`. Dalším je programový kód uložený v `pigpio.py`, tato knihovna není mým výtvořem a je hlavním obslužným programem pro generování impulzů skrze DMA a vývody portu GPIO. Posledním je soubor `conf.py`, ve kterém se nastavují veškeré parametry stroje.



Obr. 10.1 – Blokové schéma programu RaspiNC

10.3 Podporované G-kódy

Řídicí program podporuje základní funkce G-kódu, nicméně tento stav nebrání normálnímu používání, protože většina CAM systémů, které lze získat zdarma pro generování tohoto kódu ani více funkcí nepodporuje.

Nejdůležitější implementací jsou rychlé a pracovní posuvy lineární interpolace, tedy pohybu po přímce (G0 a G1). Další neméně důležitou funkcí pro CNC stroj je kruhová interpolace, tedy pohyb po kružnici, jak ve směru chodu hodinových ručiček (G2), tak proti směru (G3). Dále je velice zde implementována funkce automatické kalibrace na nulový bod pracovního stolu (G28) a možnost spuštění otáček motoru přímo pomocí kódů M3 a M4, nebo jeho zastavení (M5).

Další funkce jsou implementovány spíše nad rámec, aby program věděl, kde má ukončit obrábění, umožnil technologickou přestávku (G4) nebo jaký typ programování je použit.

Záměrně uvádím v tab. 10.2 a v textu rozdílný zápis G-kódů, a to buď čísla ve dvou cifrách nebo v jedné, jelikož naprogramovaná řídicí jednotka v tomto zápisu nevidí rozdíl a pracuje s oběma variantami.

Tab. 10.1 – Podporované funkce řídicí jednotky

Kód	Význam
G00	Lineární interpolace – rychloposuv
G01	Lineární interpolace – pracovní posuv
G02	Kruhová interpolace – směr hodinových ručiček
G03	Kruhová interpolace – proti směru hodinových ručiček
G04	Časová prodleva v sekundách
G28	Přesun na nulovou pozici obráběcího stolku
G90	Volba absolutního programování
G91	Volba přírůstkového programování
M00	Zastavení programu
M02	Ukončení programu
M03	Zapnutí vřetene pravotočivé otáčky
M04	Zapnutí vřetene levotočivé otáčky
M05	Zastavení otáček vřetene
M30	Ukončení programu

10.4 Spuštění programu

Spuštění programu lze provést pomocí systémové konzole, kde je důležité nejprve pomocí příkazu “cd“ zvolit adresář, kde je program umístěn. Pokud je správně zvolen cílový adresář, může být program spuštěn pomocí příkazu “sudo python3 raspiNC.py“ pro spuštění verze s grafickým uživatelským rozhraním nebo tento příkaz rozšířit o “-cmd“, aby proběhlo spuštění v příkazové řádce, kde je možné zadávat G-kódy pouze manuálně.

```
pi@raspberrypi:~ $ cd RaspiNC
pi@raspberrypi:~/RaspiNC $ sudo python3 raspiNC.py
pi@raspberrypi:~/RaspiNC $ sudo python3 raspiNC.py -cmd
>> Program: RaspiNC verze 1.0
>> G1 X10 Y20 Z30
>> █
```

Obr. 10.2 – Příkazy pro spuštění programu

10.5 Grafické uživatelské rozhraní

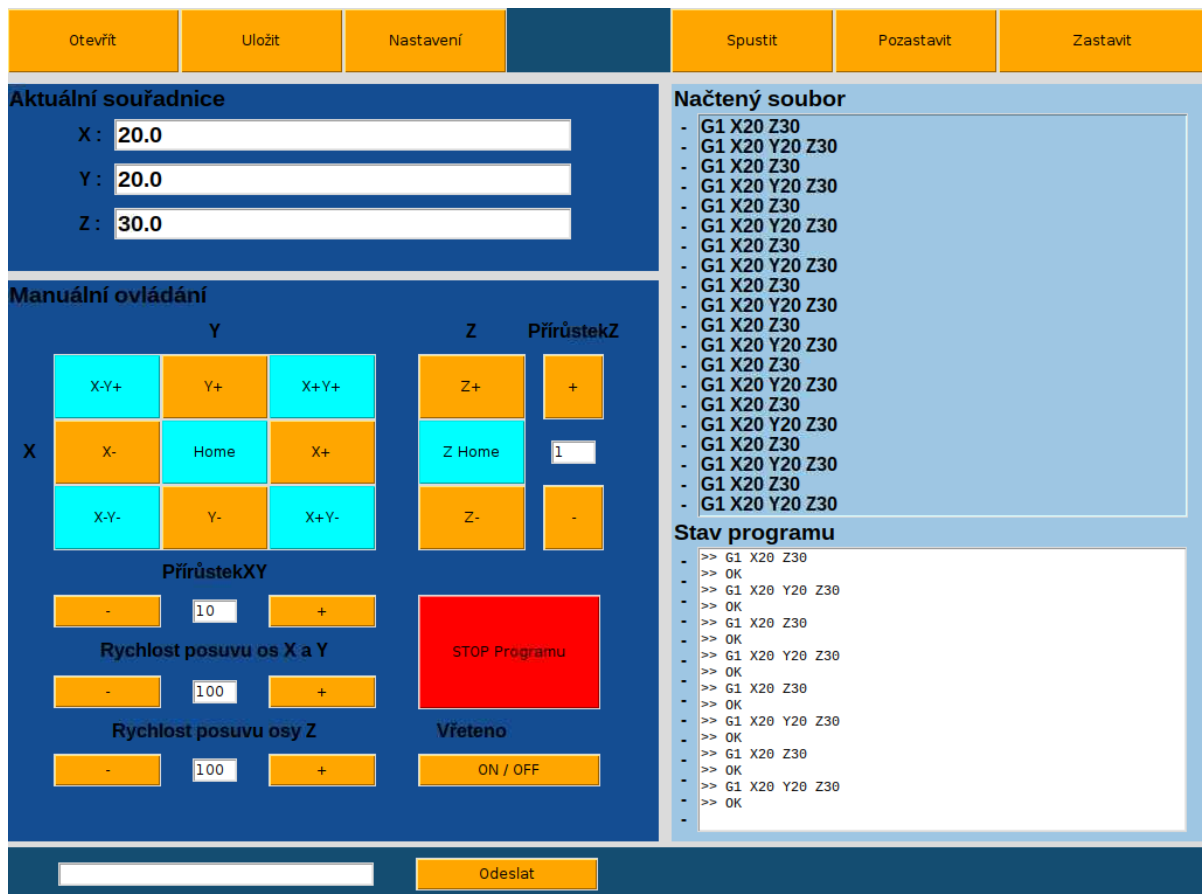
Celé prostředí programu je rozděleno do pěti částí, a to do bloků hlavní panel, aktuální souřadnice, manuální ovládání, zobrazení načteného souboru, konzolový výstup a příkazová řádka. Všechny tyto bloky jsou uzpůsobeny velikostí pro ovládání pomocí dotykových periferií.

Vlevo na hlavním panelu se nachází tlačítka na otevření a uložení úprav souboru, dalším je nastavení, které automaticky načte konfigurační soubor, kde je možné upravit parametry stroje. Dalšími tlačítky, která se nachází vpravo na hlavním panelu, se ovládá chod automatického zpracovávání načteného souboru.

V bloku “aktuální souřadnice“ je výpis pozic os X, Y a Z, nejedná se však o pozici, na které se stroj nachází, nýbrž o pozici, kterou dopočítává interpreter G-kódu.

Stroj lze také ovládat ručně z bloku manuální ovládání, zde je možné polohovat všechny osy, nebo jejich kombinaci, zastavit chod programu, nastavovat maximální rychlosti motoru v jednotkách mm/s, všechna tato nastavení se však projeví pouze u manuálního ovládání.

V pravém panelu se zobrazuje načtený soubor, výstup konzole programu a v panelu, který se nachází ve spodu lze zadávat příkazy přímo do příkazové řádky.



Obr. 10.3 – Grafické uživatelské prostředí naprogramovaného řídicího programu

10.6 Uživatelský návod

Nastavení a ovládání řídicí jednotky je velice intuitivní, a to i pro uživatele, kteří s prací na CNC stroji nemají žádnou zkušenost. Tato kapitola vysvětluje význam tlačítek v GUI a popisuje význam atributů v konfiguračním souboru conf.py.

Význam tlačítek v grafickém uživatelském rozhraní (GUI):

- “Home“ nastaví pozici stroje na nulový bod osy X a Y stolku dle hodnoty z čidel,
- “Nastavení“ otevře konfigurační soubor,
- “Odeslat“ odešle zadaný příkaz na zpracování programem z textového pole vlevo,
- “Otevřít“ zobrazí dialogové okno otevřít soubor, kde si uživatel vybere požadovaný zpracovávaný soubor s G-kódem,
- “Spustit“, “Pozastavit“, “Zastavit“ obsluhuje rutinu zpracování načteného souboru,
- “STOP programu“ zastaví veškeré aktuálně generované řídicí impulzy,

- “Uložit“ ukládá soubor zobrazený v okně načtený soubor,
- “X+“ sníží pozici osy X o “PřírůstekXY“,
- “X+“ zvýší pozici osy X o “PřírůstekXY“,
- “X+Y-“ zvýší pozici osy X a sníží hodnotu u osy Y o “PřírůstekXY“,
- “X+Y+“ zvýší pozici osy X a zvýší hodnotu u osy Y o “PřírůstekXY“,
- “X-Y-“ sníží pozici osy X a Y o “PřírůstekXY“,
- “X-Y+“ sníží pozici osy X a zvýší hodnotu u osy Y o “PřírůstekXY“,
- “Y-“ sníží pozici osy Y o “PřírůstekXY“,
- “Y+“ zvýší pozici osy Y o “PřírůstekXY“,
- “Z Home“ nastaví pozici v ose Z na nulu, dle hodnoty z čidla Z,
- “Z-“ sníží pozici osy Z o “PřírůstekZ“,
- “Z+“ zvýší pozici osy Z o “PřírůstekZ“,
- rychlost posuvu os X a Y slouží pro nastavení maximální rychlosti krokových motorů u os X a Y v jednotkách mm za minutu,
- rychlost posuvu osy Z, nastaví maximální možnou rychlost u krokového motoru na ose Z v jednotkách mm za minutu,
- pravotočivé otáčky vřetene lze zapnout tlačítkem “ON/OFF“.

10.6.1 Konfigurace výstupních pinů portu GPIO

K řízení CNC frézy je možné použít patnáct pinů portu GPIO, z nichž je šest použito jako vstupní a devět jako výstupní. V tab. 10.1 je uvedeno označení v programu a jejich význam.

Zjišťování maximální polohy jsem u své frézy nepoužil, nicméně jsou v programu implementovány a je ověřován jejich stav pro možné použití. Jelikož navržená CNC frézka není stavěna na řezání závitů, tak další mnou nepoužitou funkcí je možnost spouštění levotočivých otáček Spindle_Pin_L.

Veškerou konfiguraci výstupních a vstupních pinů programu lze provést v souboru “config.py“, všechny řádky v něm jsou popsány přímo ve zdrojovém kódu a nemělo by činit problém provést jakoukoli změnu. Jelikož jsou všechny piny řízené pomocí přímého přístupu do paměti pomocí knihovny rpio, není zde žádné omezení na konkrétní vývody a může být využita celá jejich škála, tedy GPIO 2 až GPIO 27, nicméně některé piny mohou být využity implicitně operačním systémem a lze je použít až po vypnutí jejich obslužného programu.

Tab. 10.2 – Konfigurace pinů portu GPIO jednodeskového počítače

Označení	Význam	Rozsah pinů
M_Enable_Pin	Výstupní signál pro spuštění napájení motorů	GPIO 2 ÷ 27
X_Dir_Pin	Směr otáčení motoru pro osu X	GPIO 2 ÷ 27
X_Step_Pin	Signál step pro řízení osy X	GPIO 2 ÷ 27
Spindle_Pin_R	Spuštění pravotočivých otáček vřetene	GPIO 2 ÷ 27
X_Min_Pin	Vstupní signál z minimální pozice osy X	GPIO 2 ÷ 27
Y_Dir_Pin	Směr otáčení motoru pro osu Y	GPIO 2 ÷ 27
Y_Step_Pin	Signál step pro řízení osy Y	GPIO 2 ÷ 27
Z_Dir_Pin	Směr otáčení motoru pro osu Z	GPIO 2 ÷ 27
Z_Step_Pin	Signál step pro řízení osy Z	GPIO 2 ÷ 27
Y_Min_Pin	Vstupní signál z minimální pozice osy Y	GPIO 2 ÷ 27
Z_Min_Pin	Vstupní signál z minimální pozice osy Z	GPIO 2 ÷ 27
X_Max_Pin	Vstupní signál z maximální pozice osy X	GPIO 2 ÷ 27
Y_Max_Pin	Vstupní signál z maximální pozice osy Y	GPIO 2 ÷ 27
Z_Max_Pin	Vstupní signál z maximální pozice osy Z	GPIO 2 ÷ 27
Spindle_Pin_L	Spuštění levotočivých otáček vřetene	GPIO 2 ÷ 27

10.6.2 Konfigurace parametrů

V konfiguračním souboru lze nastavovat mnoho parametrů, a to od maximální rychlosti krokových motorů, velikosti obráběcí plochy, maximální zrychlení motoru, možnost měnit defaultní směr otáčení motorů aj. Tento soubor nese název `conf.py` a je celý okomentován přímo ve zdrojovém kódu. Celý seznam možných konfiguračních pinů shrnuje tab. 10.1 a soupis parametrů je obsažen v tab. 10.3.

Všechny parametry délky musí být definovány v milimetrech, to se týká hlavně velikosti obráběcí plochy. Veškeré nastavované rychlosti je potřeba uvádět v jednotkách milimetrů za minutu a je vhodné tento postup nejprve otestovat, protože použité jádro nepracuje s reálným časem, a tak jsou jeho maximální rychlosti generování pulzů značně omezeny. Rozjezd stroje (`Max_Acceleration`) je v programu definován jako snížení rychlosti na požadovanou hodnotu při prvním milimetru posuvu.

Tab. 10.3 – Označení a význam konfiguračních parametrů v souboru conf.py

Označení	Význam	Hodnota	Jednotky
End_X_invert	Změna spínací logiky čidla osy X	True / False	-
End_Y_invert	Změna spínací logiky čidla osy Y	True / False	-
End_Z_invert	Změna spínací logiky čidla osy Z	True / False	-
Homing_speed	Rychlost při kalibraci – příkaz G28	1 ÷ 1 200	mm/min
Max_acceleration	Rychlost při prvním milimetru posuvu	1 ÷ 1 200	mm/min
Max_speed_X	Maximální rychlost motoru osy X	1 ÷ 1 200	mm/min
Max_speed_Y	Maximální rychlost motoru osy Y	1 ÷ 1 200	mm/min
Max_speed_Z	Maximální rychlost motoru osy Z	1 ÷ 1 200	mm/min
Min_speed	Minimální rychlost motorů	1 ÷ 1 200	mm/min
Motor_X_invert	Změna směru otáčení motoru osy X	True / False	-
Motor_Y_invert	Změna směru otáčení motoru osy Y	True / False	-
Motor_Z_invert	Změna směru otáčení motoru osy Z	True / False	-
Pulse_length	Šířka pulzu pro generovaných pulzů	1 ÷ 10	μs
Pulses_X	Počet pulzů na jeden milimetr posuvu osy X	1 ÷ 10 000	-
Pulses_Y	Počet pulzů na jeden milimetr posuvu osy Y	1 ÷ 10 000	-
Pulses_Z	Počet pulzů na jeden milimetr posuvu osy Z	1 ÷ 10 000	-
Table_size_X	Velikost obráběcí plochy osa X	1 ÷ 1 000	mm
Table_size_Y	Velikost obráběcí plochy osa Y	1 ÷ 1 000	mm
Table_size_Z	Velikost obráběcí plochy osa Z	1 ÷ 1 000	mm

10.6.3 Přepočítání kroků krokového motoru

Aby dokázala řídicí jednotka přesně pohybovat osami na dané souřadnice, je nutné vypočítat počet pulzů signálu STEP na jeden milimetr posunutí. K tomuto výpočtu je potřeba znát parametry krokových motorů, jejich driverů a také konstrukční provedení lineárního posuvového mechanismu.

Jak již bylo řečeno, v konstrukci frézy byl použit trapézový šroub 12 mm průměru, který má rozteč mezi závity 2 mm. Nastavení driverů motoru je na šestnáctinu kroku a dle štítku motoru bylo zjištěno, že úhel natočení jednoho kroku je roven 1,8°, což je 200 kroků na jednu

celou otáčku hřídele. Z těchto zjištěných parametrů lze jednoduše dopočítat, hodnotu počtu kroků na jeden milimetr posuvu N_m , dle vzorce

$$N_m = \frac{N \cdot M_s}{P}, \quad (10.1)$$

kde N je počet kroků motoru na jednu otáčku,

M_s – počet mikrokroků driveru,

P – vzdálenost mezi závity, mm.

V případě navržené konstrukce byly dopočítány hodnoty N_m pro všechny osy, které mají z důvodu použití stejných motorů a posuvových mechanismů i stejný výsledek, a to 1600.

10.6.4 Stanovení parametrů rychlosti motorů

Maximální řezná rychlost v_f , kterou se CNC fréza bude pohybovat, je nutné stanovit s ohledem na průměr obráběcího nástroje a rychlosti otáčení vřetene dle vzorce

$$v_f = \pi \cdot D \cdot n, \quad (10.2)$$

kde D je průměr nástroje, mm,

n – otáčky vřetene, ot/min.

Výsledkem tohoto vzorce je maximální hodnota počtu milimetrů posunutí za jednu minutu. Dalším kritériem správného nastavení rychlosti posuvů je, o jaký typ obráběného materiálu se jedná, například pro měkké dřeviny bylo zjištěno, že optimální rychlost posuvu v mé konstrukci při maximálních otáčkách vřetene a průměru frézky 6 mm je hodnota 800 mm/min, u tvrdých plastů je vhodná rychlost 500 mm/min. Veškeré nastavení rychlostí je vždy vhodné otestovat na daném materiálu obrobku ještě před jeho konečným obráběním.

10.7 Kvalitativní parametry a robustnost

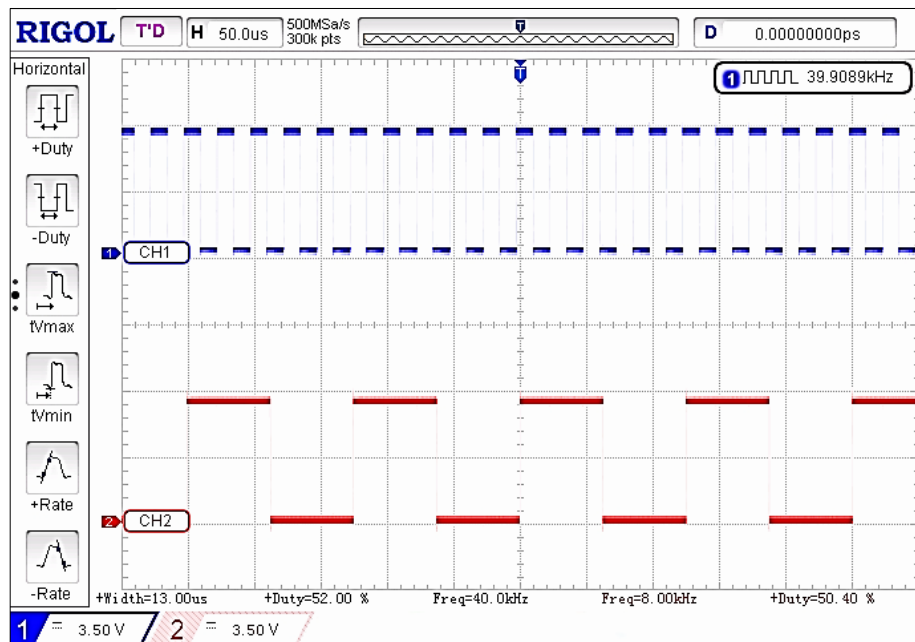
Testováním navrženého programu bylo zjištěno, že maximální stabilní frekvence při generování signálů STEP a DIR na všech osách zároveň je zhruba 40 kHz, poté se sice signál nadále generuje, avšak už není přesně patrný rozdíl mezi logickou nulou a jedničkou, což by mohlo vést ke špatné funkci řízení motorů skrze jeho drivery.

Dále bylo zjištěno, že při generování vysokého počtu řídicích pulzů, velice rychle dochází k nedostatku paměti zařízení, což by se mohlo projevit při zvyšování počtu mikrokroků driveru, či při dlouhých přejezdech nad obráběcí plochou, protože zařízení musí mít v paměti

všechny řídicí impulsy a jejich časování najednou, a to kvůli navrženému řídicího programu skrze přímý přístup do paměti. Toto řešení se však z praktického hlediska pro navrženou CNC frézu dostatečně osvědčilo a k nedostatku paměti nedocházelo.

Porovnáním již zmiňované maximální dosažené frekvence s ostatními nekomerčně vyráběnými firmware řídicích jednotek se navržený program řadí k pomalejším, jelikož například systém GRBL může dosahovat maximální možné frekvence 30 kHz a Smoothieware při řízení čtyř os najednou až 45 kHz, jak již bylo zmíněno v teoretické části práce. Je tedy zřejmé, že Raspberry Pi i bez “realtimového“ jádra je vyhovující.

Na obr. 10.4 je uveden výstupní signál z pinů GPIO 23 a 22, což jsou ovládací vývody ke driverům motoru osy X. Červený signál zde zastupuje funkci ovládání směru otáčení, tedy signál DIR a modrý signál představuje generované ovládací pulzy STEP. Z tohoto obrázku je také patrné, že výstupním napětím Raspberry Pi na portu GPIO je pouze 3,3 V.



Obr. 10.4 – Výstupní signály STEP a DIR osy X

11 KALIBRACE A VLASTNOSTI

Poté, co byla sestavena mechanická část, elektronická část a provedeno naprogramování řídicí jednotky, bylo následným testováním zařízení zjištěno, že při polohování os vznikají drobné nepřesnosti, které se přibývají s délkou prováděného posuvu. Tato anomálie byla následně posuzována a bylo konstatováno, že se jedná o nepřesně vyrobené trapézové šrouby, jelikož stoupání závitů neodpovídá tabulkovým hodnotám. Proto byl následně upraven počet pulzů na jeden milimetr délky na nižší hodnoty, a to konkrétně na 1589. Toto nastavení již vyhovovalo přesností v řádu desetin milimetru, které jsem požadoval.

Dalším zjištěným neduhem bylo lehké naklonění obráběcího stolku, který byl následně pomocí vymezovacích podložek vyrovnán tak, aby od něj byl obráběcí nástroj v celé ploše ve stejné vzdálenosti.

V tab. 11.1 a tab. 11.2 jsou uvedeny dosažené přesnosti všech tří os, a to při najíždění jak z minimální hodnoty pozice osy, tak z maximální hodnoty os. Na těchto údajích je patrné, že výrobní nepřesnosti jak u trapézových šroubů, tak u jejich matic jsou vcelku podstatné. Dále jsou v tab. 11.3 uvedeny skutečné vlastnosti stroje.

Tab. 11.1 – Odchytky skutečné a požadované polohy při posuvu od nuly

Osa	25 mm	50 mm	75 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm
X	25,01	50,02	75,03	100,04	150,09	200,15	250,25
Y	25,02	50,02	75,04	100,05	150,07	150,12	-
Z	25,01	50,02	75,03	100,04	150,00	-	-

Tab. 11.2 – Odchytky skutečné a požadované polohy při posuvu z maximální hodnoty

Osa	250 mm	200 mm	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	25 mm
X	250,02	200,03	150,05	100,07	75,12	50,17	25,23
Y	-	200,01	150,03	100,04	75,06	50,08	25,11
Z	-	-	150,02	100,02	75,05	50,06	25,09

Tab. 11.3 – Skutečné vlastnosti stroje v jednotlivých osách

Osa	Délka osy, mm	Čas pro přejetí, s	Rychlost osy, mm/s
X	250,25	19,2	13,02
Y	200,12	14,9	13,04
Z	150,00	18,3	8,2

V tab. 11.4 je uvedeno aktuální nastavení zkonstruované řídicí jednotky pro obrábění tvrdého plastu při použití frézovacího nástroje 6 mm a nastavené rychlosti otáčení vřetene na 15 000 ot/min. Dále je zde uvedena konfigurace výstupních GPIO vývodů, nastavení možností změny směru otáčení krokových motorů a změny výstupní logiky koncových čidel. Parametry uvedeny v tab. 11.4 byly po konfiguraci následně otestovány a jejich výsledek je uveden na obr. 11.1.

Tab. 11.4 – Nastavené parametry v conf.py řídicí jednotky k navržené CNC frézce

Označení	Hodnota	Označení	Hodnota	Označení	Hodnota
M_Enable_Pin	25	Z_Min_Pin	10	Motor_X_invert	False
X_Dir_Pin	23	Motor_Y_invert	False	Homing_speed	500
X_Step_Pin	22	Motor_Z_invert	False	Max_acceleration	250
Spindle_Pin_R	21	Pulse_length	2	Max_speed_X	500
X_Min_Pin	20	Pulses_X	1589	Max_speed_Y	500
Y_Dir_Pin	17	Pulses_Y	1589	Max_speed_Z	300
Y_Step_Pin	16	Pulses_Z	1589	Min_speed	100
Z_Dir_Pin	13	End_X_invert	False	Table_size_X	250
Z_Step_Pin	12	End_Y_invert	False	Table_size_Y	200
Y_Min_Pin	11	End_Z_invert	False	Table_size_Z	150



Obr. 11.1 – Výsledek testu obrábění tvrdé plastové desky s parametry z tab. 11.4

12 ZHODNOCENÍ

Elektronická řídicí jednotka je zkonstruována dle zadání skrze jednodeskový počítač Raspberry Pi, který funguje jako překladač (interpreter) G-kódů. Realizovaný program je vytvořen interpretovaným jazykem Python a dle zadání disponuje základními funkcemi pro ovládání celého CNC stroje. Dále byl navržena technická dokumentace rozvaděče a dle ní byl také realizován.

Navržená mechanická konstrukce obsahuje mírné nedostatky, které by bylo vhodné odstranit, či zvolit jiné technické řešení. Prvním nedostatkem je špatná volba lineárního posuvového mechanismu (trapézový šroub a jeho matice), který při polohování stroje vytváří mírné nepřesnosti, záměnou trapézových šroubů za kuličkové šrouby by se tento problém však jednoduše vyřešil. Dalším možným řešením tohoto problému by mohlo být použitím dvou rozepřených matic, které by zabránily vůlím při změně směru otáčení motorů. Dále by bylo vhodné použít ke spojení veškerých částí klasický spojovací materiál, nikoliv svařovat části k sobě, neboť při svařování došlo k mírnému prohnutí materiálu, a to se projevilo na kolmosti osy Z a obráběcího stolku.

Naprogramovaná řídicí jednotka má jednu zásadnější vadu, a to takovou, že možnosti klasického systému Raspbian a jednodeskového počítače Raspberry Pi jsou značně omezeny ke zpracování velmi rychlých průběhů signálu. Předpokladem bylo, že při použití přímého přístupu do paměti bude systém schopen generovat signály s maximální frekvencí 80 kHz, bohužel takové frekvence nelze se systémem bez "realtimového" jádra dosáhnout. Druhým zjištěným problémem bylo, že při přejíždění dlouhých trajektorií fréze velice rychle docházela paměť zařízení. Tento stav byl ošetřen tím, že byla snížena přiřazená sdílená paměť grafické karty. Pokud by bylo bráno v potaz, že řídicí jednotka byla navržena a konstruována pouze pro malé modelářské CNC stroje s obráběcí plochou do 1 m³, tak je plně funkční a stabilní.

Ačkoli se vyskytly některé výše zmíněné problémy, jak v mechanické konstrukci, tak v možnostech řídicí elektronické jednotky, je celé zařízení vhodné pro použití k obrábění (lehkých kovů, dřeva, polypropylenu aj.), a to v přesnosti do desetin milimetru, což bylo i mým osobním požadavkem na celé zařízení, které následně plánuji užívat pro účely vytváření polotovarů modelů.

13 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce byl návrh a realizace řídicí elektronické jednotky CNC stroje. Základní část řídicí jednotky tvoří dle zadání jednodeskový počítač Raspberry Pi, který dle zadání provádí veškeré řízení skrze port GPIO a tím ovládá výkonové prvky v navrženém a realizovaném rozvaděči. Dalším cílem bylo navrhnout a zkonstruovat tříosou CNC frézu na které bude řídicí jednotka testována.

Při realizaci celé práce jsem si prohloubil znalosti o CNC strojích, jak z hlediska mechanického konstrukčního řešení, tak i principů řízení a práci G-kódy. Dále jsem si rozšířil poznatky o tom, jak se vytváří obvodová schémata rozvaděčů a jejich celková technická dokumentace a rovněž jsem si odzkoušel práci s programovacím jazykem Python. Při realizaci všech částí jsem mnohdy musel improvizovat a poradit si v rámci svých možností s opatřením materiálů a rozvaděčových přístrojů.

Realizované zařízení je prozatím ve fázi testování, avšak zatím nebyly nalezeny žádné chyby, které by bránily normálnímu provozu a možnostem obrábění výrobků. Lehké nepřesnosti, které vznikají při polohování jsou zaviněny nepřesně vyrobenými trapézovými šrouby a jejich maticemi, nikoli řídicí elektronickou jednotkou.

POUŽITÁ LITERATURA

- BAŘINA, J.; BRINDL, P.; VLK, I. RUDOLF, M.; JEDLIČKA, R.; KOVÁŘ, Z.; MIKEŠ, L.; HALTMAR, M. 2015a. Krokový motor. In: *ELUC: Elektronická učebnice* [online]. Olomouc [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/809>
- BAŘINA, J.; BRINDL, P.; VLK, I. RUDOLF, M.; JEDLIČKA, R.; KOVÁŘ, Z.; MIKEŠ, L.; HALTMAR, M. 2015b. Lineární motory. In: *ELUC: Elektronická učebnice* [online]. Olomouc [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/809>
- ČSN 33 2000-4-41(33 2000). 2018. *Elektrické instalace nízkého napětí – Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. Ed. 3. Praha: Český normalizační institut.
- ČSN EN ISO 13849-1 (83 3205). 2007. *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů*. Praha: Český normalizační institut.
- DARO, T. 2016. *Siemens offers Sinamics G120C drives in new smaller frame size AA (FSAA)*. In: Bernard & Company Blog: Strictly Industrial AD/PR Agency [online]. Illinois: Bernard & Company [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://bernardandcompany.wordpress.com/2016/02/10/siemens-sinamics-g120-drives-smaller-frame-size-aa>
- DOLEČEK, P. 2016. Zapojení a základní nastavení frekvenčního měniče. In: *Mylms.cz* [online]. Praha: Mylms [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/text-zapojeni-a-zakladni-nastaveni-frekvencniho-menice/>
- Downloads, 2017* [online]. Cambridge: Raspberry Pi Foundation [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/downloads/>
- GPIO, 2017* [online]. Cambridge: Raspberry Pi Foundation, 2017 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/gpio/README.md>
- HEATH, N. 2018. What are the best Raspberry Pi alternatives? Everything you need to know about Pi rivals: *ZDNet* [online]. USA, Virginie: CBS Interactive [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.zdnet.com/article/what-are-the-best-raspberry-pi-alternatives-everything-you-need-to-know-about-pi-rivals/>
- INFRASENSOR, 2015. Švýcarské snímače CONTRINEX. In: *infrasenzor.cz* [online]. Jesenice u Prahy, [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.infrasenzor.cz/contrinex.html>
- KELLER, P. 2005. Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek: 2. část. *Katedra výrobních systémů* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci – Fakulta strojní [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf
- Koncové a bezpečnostní snímače* [online]. Praha: Honewell, 2017 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://www.prell.sk/produkty/honeywell/1%20KONCOVE%20SPINACE.pdf>
- KOPR, P. 2013. *Programování CNC strojů*. Brno. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Fakulta agronomická. Vedoucí práce Jiří Votava.
- Lineární technika, 2015* [online]. Brno: Matis [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://www.matis.cz/data/pdf-katalogy/Katalog%202010%20Kulickova%20puzdra%20Tyce/Web/Matis_kulickova_pouzdra_2015.pdf
- MANA, M. 2012. *Řídicí systém CNC strojů a možnosti využití*. Liberec. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

- MAREK, J.; UČEŇ, O. 2010. *CNC obráběcí stroje*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 103 s. ISBN 978-80-248-2329-4.
- NOVÁK, P. 2005. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura. 247 s. ISBN 80-730-0141-1.
- NOWAK, M. 2019. Zdroj na DIN lištu PULS Dimension QS20.244, 20 A, 24 V/DC. In: *Conrad* [online]. Praha: Conrad Electronic Česká republika [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/zdroj-na-din-listu-puls-dimension-qs20-244-20-a-24-v-dc.k511338>
- PAV, K. 2019a. Prizmatické vedení. In: *4ISP* [online]. Modletice: 4ISP [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/inshop/scripts/shop.aspx?action=dosearch&SEARCHPH RASE=prizmatick%C3%A9+veden%C3%AD&pageindex=2>
- PAV, K. 2019b. Vřeteno s přesným uchycením 1500W/24.000 ot/min. In: *4ISP* [online]. Modletice: 4ISP [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/asynchronni-vretena/vreteno-s-presnym-uchycenim-1500w24.000-otmin>
- Pohony s krokovými motorky*, 2006 [online]. Ostrava: Technická univerzita Ostrava [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/se/cast_C_el_pohony/se_eph_c1_krokac_02_teorie.pdf
- Pohybové šrouby*, 2015 [online]. Brno: Matis [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: http://www.matis.cz/data/pdfkatalogy/Katalog_pohybove_srouby/matis_katalog_kulickove_srouby.pdf
- POLÁŠEK, J. 2012. Číslicově řízené stroje. In: *Voskop* [online]. Kopřivnice: VOŠ, SOŠ A SOU Kopřivnice [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf
- Power supply*, 2017 [online]. Cambridge: Raspberry Pi Foundation [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/power/README.md>
- PROCHÁZKOVÁ, J.; VITÁSEK, V.; MARTIŠEK, D 2007. Rasterizace objektů. In: *Počítačová grafika a geometrie* [online]. Brno: Fakulta strojního inženýrství. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://mathonline.fme.vutbr.cz/pg/flash/TeorieGrafika/pocGrafika4.pdf>
- RAGAN, M. 2012. *MIT's 1952 Automatic Mill*. In: *Maker Faire: DIY Projects and Ideas for Makers* [online]. San Francisco: Makezine [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://makezine.com/2012/04/02/punch-tape-programmable-metal-mill-from-1952/mits-1952-automatic-mill>
- Raspberry Pi 3*, 2018 [online]. New York: Adafruit Industries [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/product/3775>
- Raspberry Pi GPIO Access*, 2019. In: *ElectronicWings* [online]. Indie, Pune: Electronic Wings, [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.electronicwings.com/raspberry-pi/raspberry-pi-gpio-access>
- ROTTA, J. 2019. GRBL pro Arduino a Genuino. In: *Profirobot* [online]. Praha: Profirobot [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://profirobot.cz/grbl-pro-arduino-a-genuino>
- ŘASA, J.; POKORNÝ, P.; GABRIEL, V. 2005. *Strojírenská technologie 3*. Praha: Scientia. 221 s. ISBN 80-718-3336-3.

- SILICONBRAIN, 2016. Machinekit. In: *Robodoupě: web nejen o robotice* [online]. Praha: Robodoupě [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2016/machinekit/>
- SMITH, G. 2019. *Hurco VMX42UHSI 5 - axis High-speed trunnion style machine*. In: Machinery Sales co.: Quality machine tools since 1938 [online]. California: Machinery Sales [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.mchysales.com/hurco-vmx42uhsi-5-axis-high-speed-trunnion-style-machine>
- SMOOTHIEWARE, 2019. Firmware documentation. In: *SmoothiWare*[online]. Belgie: SmoothiWare [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://smoothieware.org/#firmware-documentation>
- SUH, S. 2008. *Theory and design of CNC systems*. London: Springer. 454 s. ISBN 978-1-84800-335-4.
- SUNGEUN, K. 2016. GRBL. In: *Github* [online]. Praha: Gnea Research [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://github.com/grbl/grbl/wiki>
- SVOBODA, E. 1998. *Technologie a programování CNC strojů*. Havlíčkův Brod: Fragment. 100 s. ISBN 80-720-0297-X.
- SVOBODA, O. 2016. Nema 23 Bipolar stepper motor CNC. In: *Robostore.cz: Open source hardware* [online]. Svoboda Robostore [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://robotstore.cz/obchod/motory/nema-23-bipolar-krokovy-motor-cnc-1-8a-4-95v/>
- SVOBODA, R. 2015. Řídicí systémy CNC strojů: Poznejte různé typy řízení. *Factory automation* [online]. Praha: FANUC Czech [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-rizeni/>
- ŠABATA, F. 2006. Návrh a vlastnosti pohonů se servomotory Siemens. In: *Elektro: Časopis pro elektrotechniku* [online]. FCC Public [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/navrh-a-vlastnosti-pohonu-se-servomotory-siemens--12837>
- ŠTULPA, M. 2006. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN technická literatura, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
- ŠTULPA, M. 2015. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada. 244 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- TASTYFISH, 2019. Rasterizace úsečky. In: *ITnetwork.cz* [online]. Praha: Unicorn College. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/navrh/algorithmy/algorithmy-graficke/algorithmus-grafika-rasterizace-usecky/>
- T-MATIC, 2013. Koncový spínač PAP1T51PZ11. In: *Sklepautomatyka* [online]. Bialystok, [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://sklepautomatyka.com.pl/p-899-wylacznik-krancowy-pap1t51pz11>
- TRČKA, V. 2010. *Aplikace CAD/CAM softwaru Edgecam při obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Aleš Polzer.
- UPTON, E. a HALFACREE, G. 2012. *Raspberry Pi user guide*. Chichester, England: John Wiley. 152 s. ISBN 978-1-118-46446-5.
- VÁVRA, Z. 2010. *Programové moduly pro obrábění v prostředí programu SurfCAM*. Zlín. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ondřej Bílek.

- VOJÁČEK, A. 2005. Indukční senzory přiblížení – obecný popis. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. Praha: HW server, 2005 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/view.php%3Fcisloclanku%3D2005083101>
- VOJÁČEK, A. 2018. Magnetické senzory přiblížení - 2. díl. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. Praha: HW server [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-priblizeni-2-dil.html>
- WAGNER, F. 1994. *Technika a programování NC strojů*. 2. Překlad Jiří Dvorský. Praha: Wahlberg, 88 s. ISBN 80-901-6575-3.

PŘÍLOHY

A – CD

B – TECHNICKÁ DOKUMENTACE ROZVADĚČE

C – FOTODOKUMENTACE

Příloha k diplomové práci

Návrh a konstrukce řídicí jednotky CNC frézy

Bc. Lukáš Horník

CD

OBSAH

- 1 Text diplomové práce
- 2 2D výrobní výkresy pro laserové vypalování obrobku
- 3 3D model v prostředí Solidworks
- 4 3D model ve formátu PDF
- 5 Zdrojové kódy programu RaspiNC
- 6 Technická dokumentace rozvaděče
- 7 Testovací G-kódy
- 8 Fotodokumentace

Příloha k diplomové práci

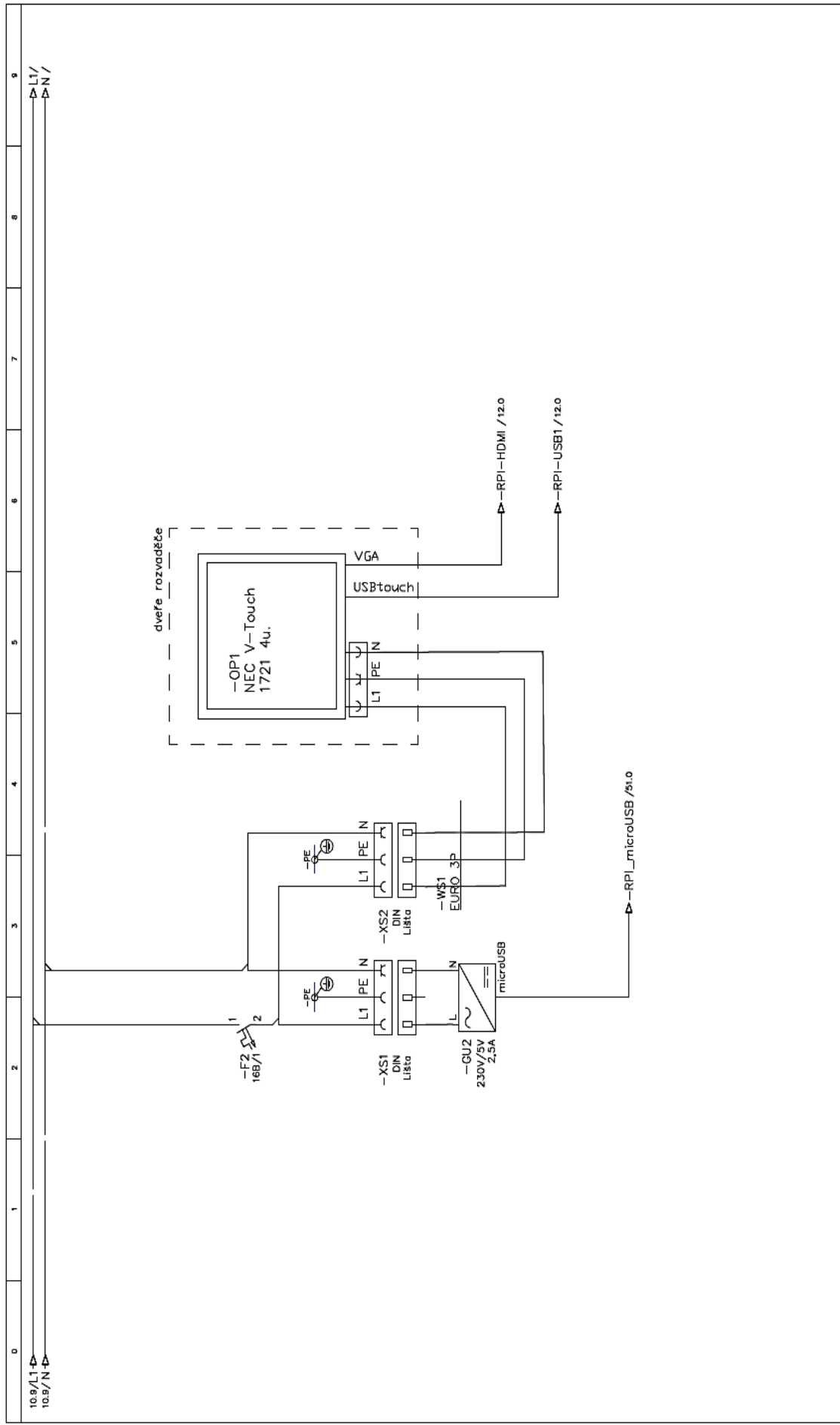
Návrh a konstrukce řídicí jednotky CNC frézy

Bc. Lukáš Horník

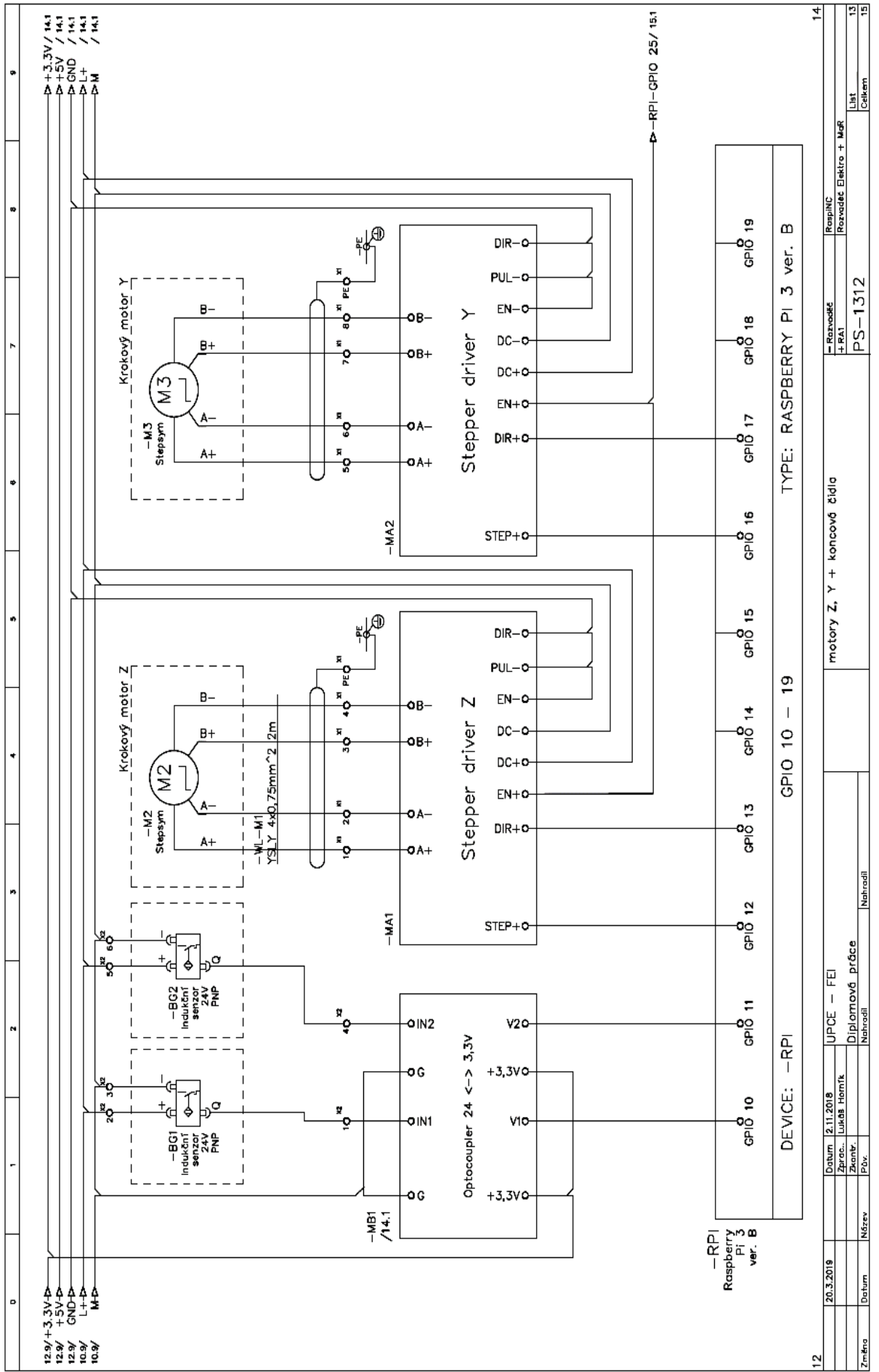
TECHNICKÁ DOKUMENTACE ROZVADĚČE

OBSAH

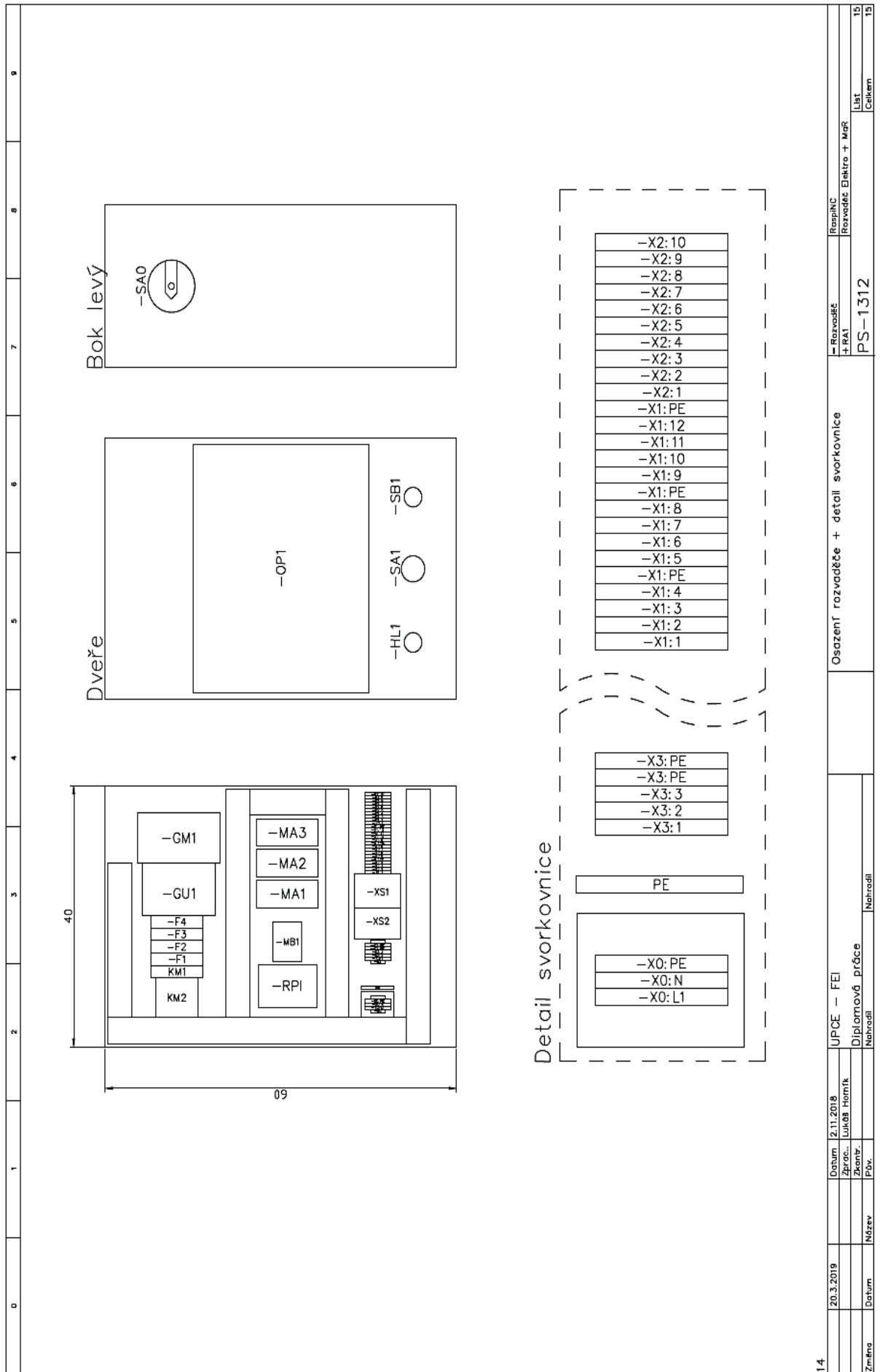
Silová část rozvaděče	B-3
Připojení zásuvek a napájení	B-4
Porty počítače a GPIO od 3,3 V do GPIO 9	B-5
Připojení motorů os Y, Z a jejich koncová čidla	B-6
Připojení motorů osy X a koncového čidla	B-7
Osazovací schéma prvků rozvaděče a jeho svorkovnice	B-8
Tabulka použitých prvků	B-9



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10.9/L1									L1/	
10.9/N									N/	
10										
Změna	Datum	Název	Nahradil				Nahradil			
	20.3.2019		UPCE - FEI				Zásuvky + napájení RPI + napájení monitoru			
			Datum 2.11.2018				RaspPiC			
			Zprac. Lukáš Horník				+RA1			
			Zkontř.				Rozvaděč Elektro + MaR			
			Přev.				PS-1312			
			Název				Líst			
			Nahradil				Celkem			
							11			
							15			
12										



12	20.3.2019	Datum	Název	Náhradil	Diplomová práce	motory Z, Y + koncové tělíska	PS-1312	Rozváděc Elektro + MgR	13
	2.11.2018	Datum	Název	Náhradil	UPCE – FEI				14
		Zprac.	Lukáš Horník						15
		Zkontř.							16
		Přev.							17
									18
									19
									20
									21
									22
									23
									24
									25
									26
									27
									28
									29
									30



Tab.1.1 – Použité přístroje v projektové dokumentaci

Označení	Výrobce a typ	Popis
-GM1	Hitachi L100-004NFE	Frekvenční měnič
-GU1	Chinfa Electronics DRA240	Napěťový zdroj 24, 10 A
KM2	ABB B6-30-10	Pomocný stykač 4xNO
KM1	Finder 40.52	Relé 10 A
-F1, F2 ...	ABB 2CDS211001R0165	Jistič 16 A charakteristika B
-RPI	Raspberry Pi 3 ver. B	Jednodeskový počítač
-MB1	Modul 1502443267	Napěťový převodník
-MA1	HY-DIV268N-5A	Driver motoru osy Z
-MA2	HY-DIV268N-5A	Driver motoru osy Y
-MA3	HY-DIV268N-5A	Driver motoru osy X
-XS1	Sintec AUS16B	Zásuvka na DIN lištu
-XS2	Sintec AUS16B	Zásuvka na DIN lištu
-SA1	Eaton KMT M22-PV/K11	Tlačítko nouzového odpojení
-SA0	Eaton P1-25/EA/SVB	Hlavní vypínač
-SB1	Eaton M22-D-S	Tlačítko start
-OP1	NEC V-Touch 1721 4U	Dotykový monitor
-BG3	BEST IPS-8PO1B	Indukční koncové čidlo osy X (CNC)
-BG2	BEST IPS-8PO1B	Indukční koncové čidlo osy Y (CNC)
-BG1	BEST IPS-8PO1B	Indukční koncové čidlo osy Z (CNC)
-M1	ATAS FT4C52R	Třífázové vřeteno (CNC)
-M2	Vexta 05524-9212	Krokový motor osy Z (CNC)
-M3	Vexta C6925-9212K	Krokový motor osy Y (CNC)
-M4	Vexta C6925-9212K	Krokový motor osy X (CNC)
-GU2	Raspberry napájecí adaptér ver. 2	Napěťový zdroj výstup 5 V, 3 A
-X0, X2...	Sprecher & Schun VDE0611	Svorkovnice rozvaděče
-WL1...	Dle dokumentace	Kabely z rozvaděče (dle uvážení)
---	Draka H05V-K 0,75	Kabely 0,75 mm ²
---	IDE Argenta GN604020	Rozvaděč 600 na 400 mm
---	RPI 2/B+GPIO Expansion board	Expansion Board GPIO

Příloha k diplomové práci

Návrh a konstrukce řídicí jednotky CNC frézy

Bc. Lukáš Horník

FOTODOKUMENTACE

OBSAH

	SEZNAM ILUSTRACÍ.....	C-3
1	CNC FRÉZA	C-4
2	ŘÍDICÍ JEDNOTKA	C-7
3	TESTOVACÍ VÝROBKY	C-9

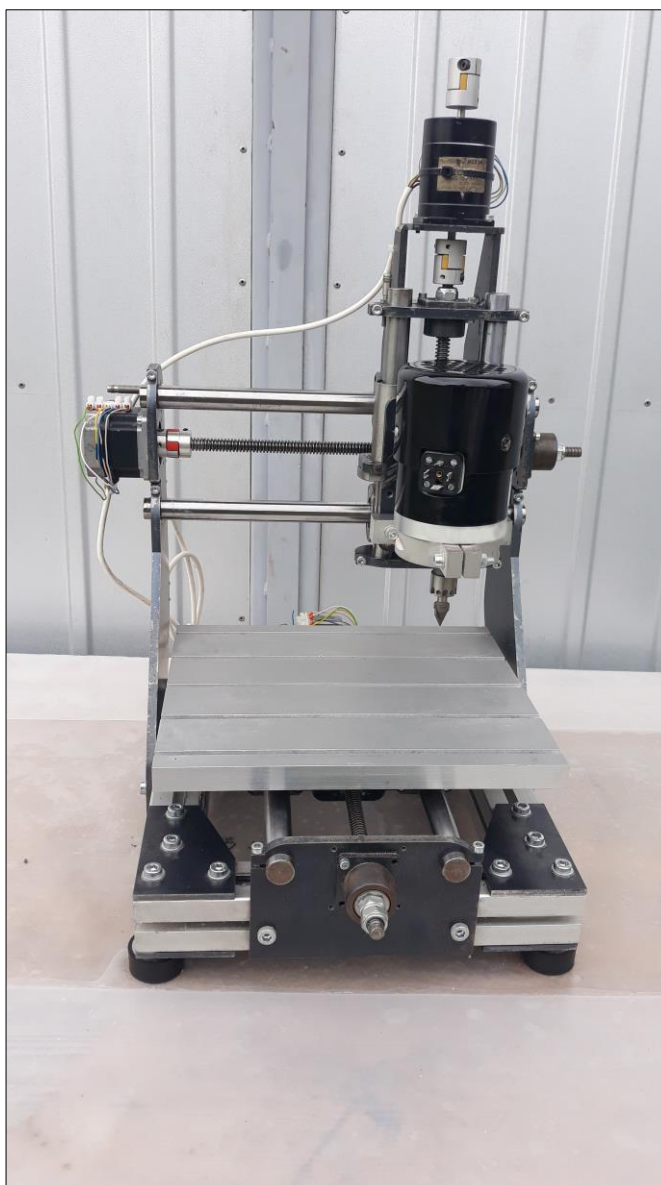
SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Zkonstruovaná CNC fréza – pohled 1	C-4
Obr. 1.2 – Zkonstruovaná CNC fréza – pohled 2	C-5
Obr. 1.3 – Zkonstruovaná CNC fréza – pohled 3	C-6
Obr. 2.1 – Kompletně připravená jednotka k připojení na frézu	C-7
Obr. 2.2 – Řídicí jednotka s nepřipojenou CNC frézou – pohled 1	C-7
Obr. 2.3 – Řídicí jednotka s nepřipojenou CNC frézou – pohled 2.....	C-8
Obr. 2.4 – Řídicí jednotka s připojenou CNC frézou	C-8
Obr. 3.1 – Testování obrábění tvrdého plastu.....	C-9
Obr. 3.2 – Vyfrézované sněhové vločky z kompaktních disků	C-9
Obr. 3.3 – Vyfrézovaná jmenovka na vchodové dveře.....	C-10

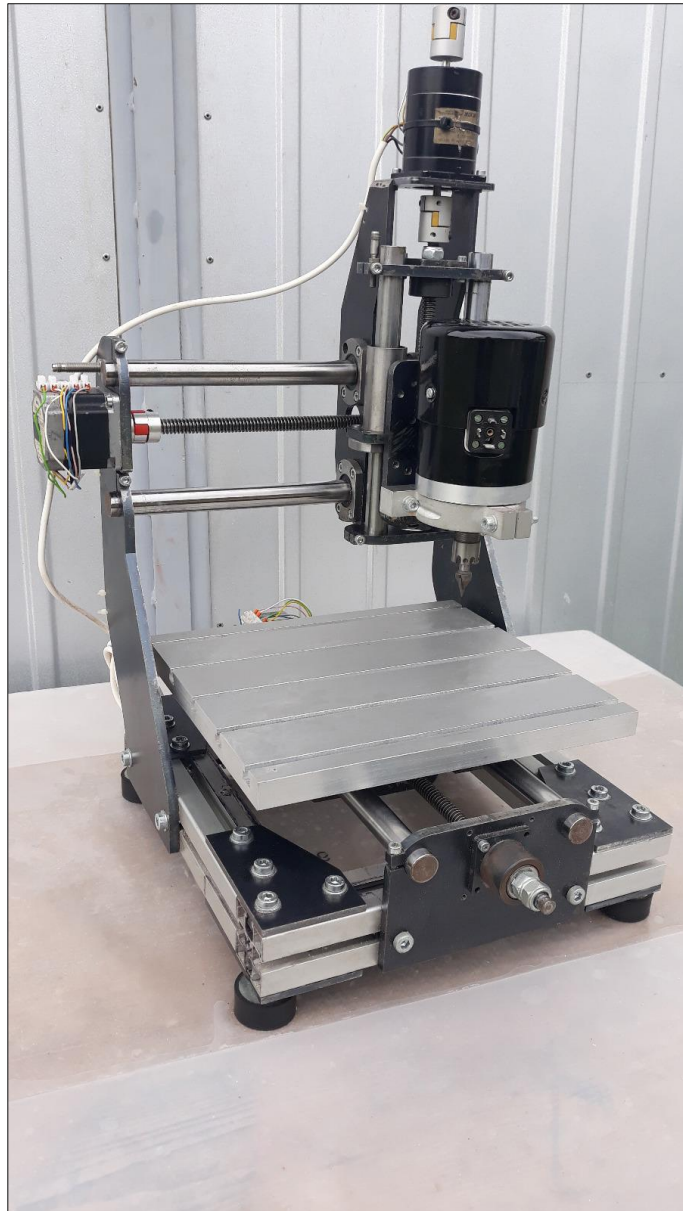
1 CNC FRÉZA



Obr. 1.1 – Zkonstruovaná CNC fréza – pohled 1



Obr. 1.2 – Zkonstruovaná CNC fréza – pohled 2



Obr. 1.3 – Zkonstruovaná CNC fréza – pohled 3

2 ŘÍDICÍ JEDNOTKA



Obr. 2.1 – Kompletně připravená jednotka k připojení na frézu



Obr. 2.2 – Řídicí jednotka s nepřipojenou CNC frézou – pohled 1



Obr. 2.4 – Řídicí jednotka s nepřipojenou CNC frézou – pohled 2

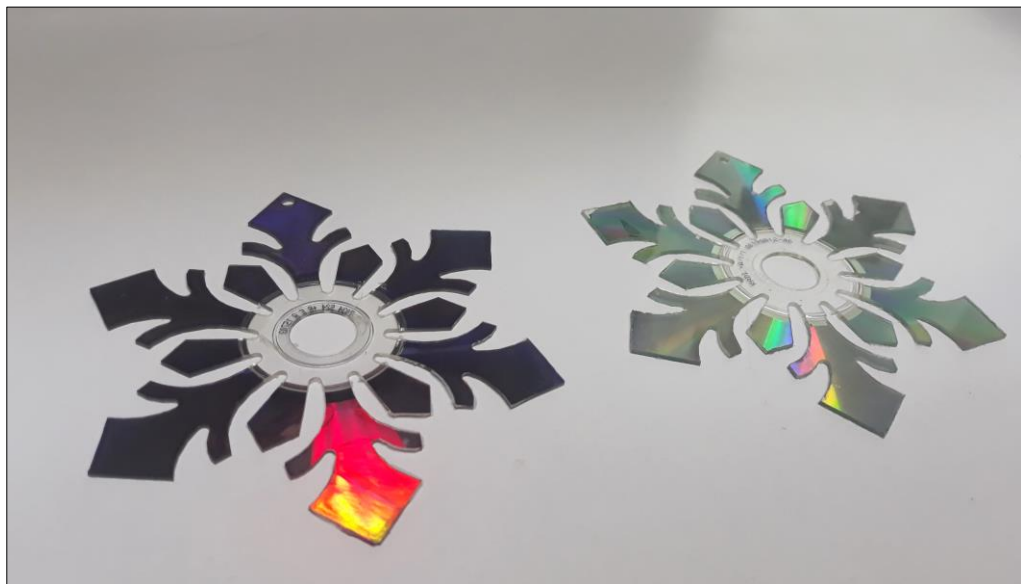


Obr. 2.3 – Řídicí jednotka s připojenou CNC frézou

3 TESTOVACÍ VÝROBKY



Obr. 3.1 – Testování obrábění tvrdého plastu



Obr. 3.2 – Vyfrézované sněhové vločky z kompaktních disků



Obr. 3.3 – Vyfrézovaná jmenovka na vchodové dveře