



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍZENÍ MODELU POLOAUTOMATICKÉHO SOUSTRUHU

CONTROL OF THE SEMI-AUTOMATIC LATHE MODEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Loskot

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Petr Loskot

ID: 221307

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Řízení modelu poloautomatického soustruhu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se se základy konstrukce soustruhů a možnostmi jejich poloautomatického řízení pomocí PLC.
2. Navrhněte model soustruhu, na kterém by bylo možno demonstrovat možnosti řízení soustruhu pomocí PLC.
3. Vyberte vhodné snímače polohy a motory. Realizujte model soustruhu, který by umožňoval demonstrovat řízení podélného a příčného posuvu.
4. Vyberte vhodné PLC a zobrazovací jednotku pro řízení modelu soustruhu.
5. Vytvořte a odlaďte program pro PLC.
6. Ověřte fungování řídicích algoritmů na modelu soustruhu a zhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] KUNC, Antonín. Soustruhy: popis konstrukce, obsluhy a práce na soustruzích k obrábění kovů. Praha, 1951, Technické příručky Práce.
- [2] ŠTULPA, Miloslav. CNC: programování obráběcích strojů. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 23.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce seznamuje s konceptem konvenčních soustruhů. Z jakých hlavních částí se skládají a jaké jsou na ně kladeny nároky. Dále nám přibližuje koncept moderních CNC obráběcích strojů. Představuje nám možnosti řízení pohybu v osách pomocí moderních prvků a možnosti odměřování polohy na osách. V praktické části nám práce představuje některé možnosti komponentů, pomocí kterých lze realizovat model poloautomatického soustruhu.

Klíčová slova

Soustruh, pohony, snímače, CNC obráběcí stroj, model, poloautomatické řízení

Abstract

The work introduces the concept of conventional lathes. What the main parts are and what the demands on them are. It also brings us closer to the concept of modern CNC machine tools. It presents us with the possibilities of motion control in the axes using modern elements and the possibility of position measurement on the axes. In the practical part, the work presents us with some possibilities of components by which the semi-automatic lathe model can be realized.

Keywords

Lathe, drives, sensors, CNC machine tool, model, semi-automatic control.

Bibliografická citace

LOSKOT, Petr. Řízení modelu poloautomatického soustruhu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2022. 61 s. bakalářské práce. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Petr Loskot
VUT ID studenta:	221 307
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2021/22
Téma závěrečné práce:	Řízení modelu poloautomatického soustruhu

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 23. května 2022

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Machovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji panu Ing. Liboru Veselému Ph.D. za zapůjčení komponent pro realizaci modelu soustruhu.

Také děkuji panu Bc. Vavříkovi z firmy B&R za cenné rady, které mi pomohly k výraznému zkvalitnění mé práce.

V Brně dne: 23. května 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
ÚVOD	11
1. SOUSTRUH	12
1.1 POPIS.....	12
1.2 POŽADAVKY NA OBRÁBĚCÍ STROJE	12
1.3 ČÁSTI SOUSTRUHU	13
1.3.1 Lože.....	13
1.3.2 Vřeteník.....	14
1.3.3 Podávací skříň	14
1.3.4 Saně.....	14
1.3.5 Saňová skříň.....	15
1.3.6 Posuvová skříň.....	15
1.3.7 Koník.....	15
2. POHYB PO OSÁCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ POMOCÍ ELEKTROMOTORŮ.	17
2.1 ELEKTROMOTORY	17
2.1.1 Servomotor.....	17
2.1.2 Krokový motor	17
2.1.3 Lineární motor	18
2.2 PŘEVOD ROTAČNÍHO POHYBU	19
2.2.1 Přenesení pohybu motoru na jednotlivé osy	19
3. SENZORY	20
3.1 ODMĚŘOVÁNÍ POLOHY OS	20
4. KONCEPT SOUSTRUHŮ ŘÍZENÝCH PLC	22
4.1 ČÁSTI CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE.....	22
4.2 FIRMY ZABÝVAJÍCÍ SE STAVBOU POLOAUTOMATICKÝCH SOUSTRUHŮ.....	23
5. REALIZACE MODELU	25
5.1 MECHANICKÁ ČÁST MODELU SOUSTRUHU.....	25
5.2 ELEKTROMECHANICKÉ ČÁSTI MODELU	27
5.2.1 Motory.....	27
5.2.2 Snímače.....	28
5.2.3 Relé a koncové kontakty.....	29
5.1 ELEKTRONICKÉ ČÁSTI MODELU	30
5.1.1 Ovladače krokových motorů	30
5.1.2 Vstupně výstupní moduly a sběrnice	31
5.1.3 Ovládací panel a PLC (POWER Panel 400)	31
5.2 OVLÁDACÍ FUNKCE MODELU	32
5.3 POPIS SOFTWARE A VIZUALIZACE PRO PLC	34
5.3.1 Kalibrace, odměřování a resetování výstupů.....	34
5.3.2 Rychloposuv	35

5.3.3	<i>Posuv a přepočty rychlostí</i>	36
5.3.4	<i>Pozicování</i>	37
5.4	ALTERNATIVNÍ KOMPONENTY.....	38
5.5	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI.....	40
5.5.1	<i>Odměrování při manuálním pohybu</i>	40
5.5.2	<i>Pohyb po osách</i>	41
5.5.3	<i>Vyhodnocení a možné opravení nedostatků</i>	42
6.	ZÁVĚR	43
	LITERATURA	44
	SEZNAM PŘÍLOH	46

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
CNC	Computer Numerical Control

Symboly:

U	napětí	(V)
I	proud	(A)
P_{Zmax}	velikost složky řezné síly	(kg)
H_S	výška hrotů nad ložem	(mm)
D_0	točný průměr nad ložem	(mm)
M_{Vmax}	největší kroutící moment na vřetenu	(mmkg)
D_S	točný průměr nad supportem	(mm)
P_P	síla potřebná pro posuv supportů	(kg)
P_X	největší řezná síla	(kg)
N	normálová reakce mezi vedením a ložem	(-)
f	součinitel tření	(-)
P_Z	obvodová složka řezné síly	(kg)
v_V	otáčky vřetene	(ot/min)
v_M	otáčky motoru	(ot/min)
Z_V	počet zubů ozubeného kola vřetene	(-)
Z_M	počet zubů ozubeného kola motoru	(-)
d	posun v lineárním směru po ose	(mm)
s	stoupání závitové tyče	(mm/ot)
k	počet kroků, která udělá závitová tyč za jednu otáčku	(-)
v_{pmax}	maximální rychlost lineárního pohybu po ose	(mm/s)
f_{pmax}	maximální frekvence pulsů	(Hz)
r	minimální měřitelná jednotka lineárního pohybu	(mm)
k_S	počet pulsů, které nám dá snímač na jednu otáčku závitové tyče	(-)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Soustruh a jeho hlavní části (převzato z [1])	13
Obrázek 2: Servomotor (dostupné z [11]).....	17
Obrázek 3: Krokový motor (dostupné z [12]).....	18
Obrázek 4: Lineární motor (dostupné z [13])	18
Obrázek 5: Trapézový šroub (dostupné z [14]).....	19
Obrázek 6: Kuličkový šroub (dostupné z [15]).....	19
Obrázek 7: Fotoelektrický princip měření se skleněným měřítkem (dostupné z [3])	20
Obrázek 8: Skleněné měřítko s referenčními značkami (dostupné z [3])	21
Obrázek 9: Zjednodušené blokové schéma CNC obráběcího stroje (dostupné z [3]).....	22
Obrázek 10: Konvenční soustruh řady OPTICA od firmy Tyntech (dostupné z [5])	24
Obrázek 11: Soustruh SPFX-1000P (dostupný z [17])	25
Obrázek 12: Soustruh TUM 25A (dostupný z [16])	25
Obrázek 13: Sestavení podélné a příčné osy modelu soustruhu (foto autor)	26
Obrázek 14: Schéma zapojení výstupu enkodérů (zdroj autor)	29
Obrázek 15: rotační inkrementální enkodér (S38S6G5-400B-G) (dostupné z [18]).....	29
Obrázek 16: Výstupní pulzy z enkodéru při otáčení jedním a druhým směrem (dostupné z [18])	29
Obrázek 17: Ovladač krokového motoru (TB6600) (foto autor)	30
Obrázek 18: Vstupně výstupní moduly (X20 DS 1119) (foto autor).....	31
Obrázek 19: Čelní panel (POWER PANEL 400) (foto autor)	32
Obrázek 20: Blokové schéma řízení modelu soustruhu (zdroj autor)	32
Obrázek 21: Finální konstrukce modelu soustruhu (foto autor)	33
Obrázek 22: POWER Panel 400 s připojenými řídicími komponenty (foto autor)	34
Obrázek 23: Vizualizace funkce kalibrace (foto autor)	35
Obrázek 24: Vizualizace funkce rychloposuvu (foto autor)	36
Obrázek 25: Vizualizace funkce posuvu (foto autor).....	37
Obrázek 26: Vizualizace funkce pozicování (foto autor).....	38
Obrázek 27: Krokový motor B&R (dostupný z [8])	39
Obrázek 28: Ovladač krokového motoru B&R (dostupný z [7])	39
Obrázek 29: Motor 8LSN (dostupný z [9]).....	39
Obrázek 30: ACOPOS (dostupný z [10])	39
Obrázek 31: Ukázka ověření správnosti odměřování rotačních enkodérů (foto autor).....	41

ÚVOD

Obráběcí stroje jsou neodmyslitelnou součástí moderní průmyslové výroby. Z výchozího polotovaru pomocí třískového obrábění vytvářejí nejrůznější součásti požadovaného tvaru. Největší skupina těchto strojů slouží pro obrábění kovových materiálů. Významná část je těchto soustruhů přímo řízena počítačem. Tyto stroje potom nazýváme CNC stroje. Oproti klasickým obráběcím strojům jsou na ně kladeny výrazně vyšší požadavky, zejména na jejich mechanickou konstrukci. Jejich hlavní odlišnost potom spočívá v nahrazení lidského faktoru při řízení pohybu stroje počítačem. Tím je dosaženo vyšší přesnosti a rychlosti obrábění. Hlavní výhoda spočívá v možnosti zcela automatizované činnosti bez nutnosti zásahu člověka. Lidská obsluha je omezena na vytvoření programu pro obrábění, na jeho úspěšnou implementaci do stroje a na počáteční seřízení stroje před započítím obrábění.

CNC obráběcí stroje jsou finančně velmi nákladné a ne všichni, kteří by je využili při své činnosti, si je mohou pořídit. Jednou z možností, jak využít výhody těchto strojů, je vybavit soustruh s manuálním ovládáním doplňujícími komponenty, které umožní poloautomatické řízení na stávající mechanické konstrukci.

Tato práce je zaměřená na návrh a praktickou realizaci modelu poloautomatického soustruhu. Cílem práce je seznámit se s klasickým soustruhem a jeho hlavními částmi. Dále pak představit možnosti pohybu jednotlivých os, jaké motory se dají použít, a možnosti jejich odměřování. Návrh automatizování pohybů modelu soustruhu je poté možné využít při realizaci na skutečném soustruhu.

1. SOUSTRUH

1.1 Popis

Soustruhy se používají při rotačním třískovém obrábění zejména na válcových a rovinných plochách. Hlavní otáčivý pohyb koná obráběný předmět a vedlejší pohyb nůž, ale u některých speciálních soustruhů koná hlavní otáčivý pohyb nůž a vedlejší obrobek. Soustruhy jsou stavěny tak, aby se na nich pracovalo přesně, rychle a v ideálním případě pohodlně. Jsou buď pro všestrannou práci nebo konkrétně zaměřené na specifický druh práce. Používáním slinutých karbidů se výkon soustružení zvýšil až 8x oproti nožům z oceli. Je to díky jejich tvrdosti a tepelné odolnosti vůči ocelím. Vřetenem se někdy otáčí i 9000 otáček za minutu. [1]

Soustruhy můžeme rozdělit na několik druhů. Pro běžnou práci (hrotové), speciální, kusé (lící), karusely (kolotoče), kopírovací, na koule a ovály, podsoustruhovací, mnohonožové, revolverové a automaty. [1]

Hlavní částí každého soustruhu jsou lože, vřeteník, koník, saně a saňová skříň a posuvová skříň s výměnnými koly. [1]

1.2 Požadavky na obráběcí stroje

Snahou obrábění je vyrábět levně a jakostně. Takové výrobky jsme schopni vyrobit na obráběcích strojích, které pracují velikým výkonem a přesností a mají malé ztráty na hnací energii. [1]

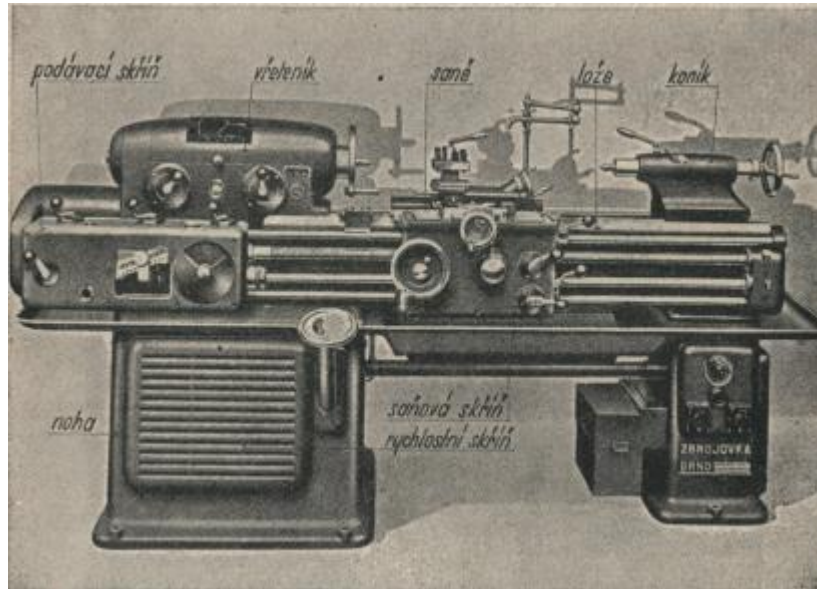
Při obrábění se ubírá přídavkový materiál, abychom získali požadovaný tvar součásti s požadovanou přesností. Proto se některé součásti obrábí několika způsoby a na různých strojích, abychom tohoto dosáhli. Jakost a množství požadovaných výrobků nám určuje jaký stroj, nástroj a materiál použijeme pro jeho zhotovení. To nám také může ovlivnit znalost a uvědomělost dělníka a organizace práce. [1]

Výkon soustruhu volíme dle váhy odebíraných třísek nebo počtem výrobků obroběných za hodinu práce. Abychom dosáhli rychlého opracování obrobku, musíme pracovat s velkými řeznými rychlostmi a jedním nebo více noži naráz, při velkých průřezích třísky. [1]

Jednoduchá obsluha stroje spočívá v jeho jednoduché a důmyslné konstrukci. Jeho bezpečnost v provozu je závislá na jakosti materiálu jednotlivých součástí stroje. U stroje, který má složitou konstrukci, hrozí výskyt častých poruch. Takové poruchy mohou odstraňovat pouze kvalifikovaní pracovníci. Jednoduchá obsluha stroje je žádaná, aby se dělník co nejméně vyčerpával fyzicky i psychicky, když má stroj jednoduchou obsluhu, může se dělník soustředit pouze na jeho obsluhu. [1]

Přesnost výrobků zhotovené na stroji je dána jakostí materiálu, ze kterého je stroj vyroben, a s požadovaným stupněm přesností jednotlivých částí. Účelná a jednoduchá konstrukce stroje a jeho příslušná přesnost přispívá k malým ztrátám na energiích. [1]

1.3 Části soustruhu



Obrázek 1: Soustruh a jeho hlavní části (převzato z [1])

1.3.1 Lože

Lože má být vhodných rozměrů s dobrými výstuhami, aby se při práci nechvělo. Musí být z kvalitního materiálu, hlavně v místě vedení, aby nedocházelo k rychlému opotřebení. Je položené na nohách nebo jsou již z výroby vytvořeny jako jeden celek tak, že jsou vodící plochy ve vodorovné poloze soustruhu. Má dvojí vedení – jedno pro saně a druhé pro koník. Úprava vodících ploch na loži je různá. U nás se používá vedení s jedním střechovitým a s jedním plochým vedením pro saně. Německá firma Magdenburské strojírny používá pro podélné saně střechovité vedení na obou stranách lože, aby lépe odolávali tlaku při obrábění. Některé německé firmy dělají vodící plochy se sklonem 45°. [1]

Závod J. Volman Čelákovice u Prahy dělal lože s horními vodícími plochami v jedné rovině, což bylo levnější na výrobu a také lože vzdorovalo otřesům lépe než lože otevřená. Jedná se o nosníky, které jsou z horní strany úplně uzavřené a vybroušené. Vedení podélných saní jsou plochá a svislé plochy zachycují tlak od nože. Koník je na jednom střechovitém a druhém plochém vedení. Šroub připevňuje koník k loži, které má drážku ve tvaru T. [1]

Lože se vyrábí z kvalitní šedé litiny nebo chromniklové litiny, u které je vyšší jakost lože. Forma lože je při odlévání vedením dolů, aby nejlepší litina byla ve vedení. Pro zvýšení tvrdosti vodících ploch se můžou do formy vložit litinové grafitové vložky, které

urychlí proces ochlazování vedení a umožní tak vytvoření bílé tvrdší litiny na povrchu. Takové lože je při výrobě hůře opracovatelné ale v provozu vydrží déle bez nutnosti údržby. [1]

1.3.2 Vřeteník

Jedná se o ocelovou dutou mohutnou součást, která je nejčastěji kalená a broušená. U starších modelů soustruhů je uloženo v přestavitelných ložiskách a u novějších je uloženo ve valivých ložiskách. Vřeteník je uložený tak, aby se při práci nechvělo a aby se při opotřebování dala odstranit radiální vůle, která je nežádoucí. [1]

U vřeten, která mají vysoké otáčky, se osvědčilo uložení ve valivých ložiskách, buď ve speciálních kuželových, nebo ve dvouřadých válečcích, které mají kuželový otvor. Obě ložiska mají vysokou přesnost a trvanlivost, umožňují odstranit radiální vůli a jsou schopna zachytit i osové tlaky. [1]

Vřeteník se otáčí různými rychlostmi, aby bylo možné soustružit různé průměry z různých materiálů a pokud možno co nejefektivnější řeznou rychlostí. [1]

Vřeteník starších modelů soustruhů má na pravém konci závit s vodící válcovou plochou, ale novější konstrukce má velkou přírubu, která s ní tvoří jeden celek. Příruba má válcovou vodící plochu, která se dá osadit sklíčidlem, upínací deskou, popřípadě unášecím kotoučem. Ty se pomocí zapuštěných šroubů přišroubují do příruby. [1]

Vřeteníky lze dělit do dvou kategorií – se stupňovou regulací a s plynulou regulací. Vřeteníky se stupňovou regulací jsou s ozubenými koly čelními, s ozubenými koly šroubovými s trvalým záběrem a se zubovými spojkami, s kotvou na krátko a prepínačem pólů a podle počtu rychlostí (otáček) vřeteník se šesti, dvanácti, osmnácti až třiceti dvěma rychlostmi. Vřeteníky s plynulou regulací jsou buď s mechanickým, nebo hydraulickým převodem. Novější soustruhy mají plynulou regulaci řešenou elektricky například pomocí frekvenčního měniče. Do skupiny s mechanickým převodem patří vřeteníky s kuželovými třecími koly a s kuželovými koly a nekonečným řetězem. Do skupiny s hydraulickým převodem patří vřeteníky s tlakovým olejem, které jsou buď lopatkové, nebo pístové. [1]

1.3.3 Podávací skříň

Od vřeteníku vede převod výměnnými koly do podávací skříně, v níž pomocí různých soukolí dosáhneme potřebného počtu otáček vodícího šroubu nebo podávací hřídele, aby bylo možné řezat závity s různým stoupáním nebo soustružit podélně či příčně s různými rychlostmi posunu, aniž by bylo nutné měnit výměnná kola. [1]

Podávací skříň dělíme na závitové, které se dále dělí na soustavy Nortonovy a s přesuvnými klíny, a posuvové, které jsou většinou pro rychloběžné stroje. [1]

1.3.4 Saně

Saňová skříň je napevno přišroubovaná k podélným saním a tvoří spolu jeden celek. Napříč k ose soustružení mají podélné saně vedení pro příčné saně. Na příčných saních

je otočná součást (točnice), na níž jsou ruční saně, na kterých je držák pro upínání nožů. [1]

1.3.5 Saňová skříň

Z podávací skříně se převádí rotační pohyb pomocí vodícího šroubu nebo podávací hřídele do saňové skříně a následně na saně. Staré modely soustruhů měly jenom vodící šroub s drážkou, který zároveň splňoval funkci podávací hřídele. Konstrukční provedení saňových skříní se dost liší. U klasických soustruhů jimi prochází vodící šroub, podávací hřídel a hřídel spojky. Někdy ještě obsahují hřídel například s mikrometrickými narážkami pro podélné samočinné vypínání posuvu. [1]

Saňové skříně jsou konstruovány bez samočinného vypínání posuvu (u starších strojů), se samočinným vypínáním nepřesným nebo se samočinným vypínáním přesným (u novějších strojů). [1]

U prvních saňových skříní hrozilo, že při zapnutém samočinném posuvu narazí na pevnou část soustruhu, čímž jej tak může poškodit. Další provedení obsahovalo přestavitelné narážky upnuté na hřídeli, které když se dotkly saňové skříně, tak pootočily hřídel spojky a tím vypnuly lamelovou spojku, která vypnula posuv. Pomocí tohoto provedení nelze zastavovat posun na stejném místě, protože přesnost zastavení nebyla ani desetiny milimetru. Další provedení má vypínací mechanismus přímo v saňové skříní, což umožňuje zastavení, když narazí na překážku řádově v mikrometrech. Novodobé soustruhy jsou vybavené samočinným vypínáním posuvu, aby se dalo rychle a přesně soustružit bez ohledu na schopnosti dělníka. [1]

Vodící šroub má metrický závit s šestimilimetrovým nebo dvanáctimilimetrovým stoupáním, nebo palcový závit se dvěma či čtyřmi závity. Je vyrobený z konstrukční oceli pomocí soustružení nebo frézování a má profil lichoběžníku. Podávací hřídel má tvar šestiúhelníku, drážkované hřídele nebo kruhového průřezu s drážkou pro pero. Rotační pohyb z podávací hřídele je převáděn do skříně pomocí kuželových kol nebo šnekem a šroubovým kolem pro dosažení velkého převodu. [1]

Některé saňové skříně jsou vybaveny pákou a upraveny tak, že při pohybu páky se ovládá podélný posuv, aniž by se měnil směr otáčení podávací hřídele. Novější a delší soustruhy mají v saňové skříní elektromotor, který tento pohyb zajišťuje sám. [1]

1.3.6 Posuvová skříň

Posuvová skříň se používá u soustruhů, které mají dva až tři tisíce otáček za minutu a jsou určeny pouze pro soustružení, ne pro děláni závitů. Mívá tři až šest druhů různých otáček. [1]

1.3.7 Koník

Koník je jednou z těch částí soustruhu, na jejichž tuhosti závisí přesnost obrobku a tichý chod stroje. Z praxe víme, že koník je nejméně tuhou částí soustruhu. Menší tuhost oproti

vřeteníku se projeví na nepřesnosti obrobených válcových ploch. Proto se snažíme jej vyrobit s co nejvyšší možnou tuhostí. [2]

Hrotová objímka (pinola) má podobnou funkci jako vřeteno. U většiny soustruhů je ale velmi poddimenzovaný vůči vřetenu. Je to z důvodu srážení čela obrobku, kdy se snažíme s nožem dostat co nejbliže k hrotu. Proto se pracuje s malým průřezem třísky, kdy je možné více vyložit nůž. Aby se ale nůž nemusel tolik vykládat, je seříznuta přední strana válcové části koníku. [2]

2. POHYB PO OSÁCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ POMOCÍ ELEKTROMOTORŮ

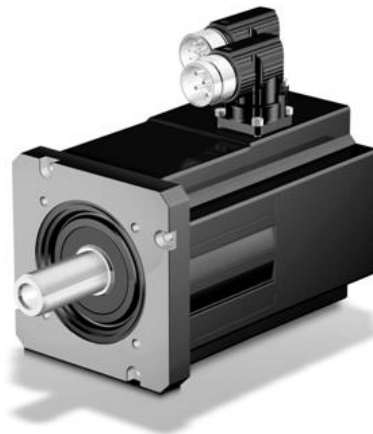
2.1 Elektromotory

Elektromotory jsou nejčastěji používané akční členy ve všech průmyslových odvětvích, které vykonávají otáčivý nebo lineární pohyb. Dělají se v různých variantách napájecího napětí, s různými variantami řízení a s různými variantami mechanického provedení.

2.1.1 Servomotor

Servomotory nám umožňují pomocí patřičných snímačů a řídicí techniky kontrolovat přesnou polohu hřídele a rychlost otáčení či její zrychlení. Dříve se používaly hlavně jako pomocné motory právě pro pohyb os u obráběcích strojů. Díky tomu získaly své jméno, protože slovo „servo“ je z latinského slova „servus“ a to v češtině znamená „služebník“. Servomotory mohou být asynchronní, synchronní nebo stejnosměrné. [4]

Asynchronní servomotory se používají v místech, kde pohybujeme s vysokou externí setrvačností hmoty. Asynchronní motory se mohou pro konkrétní aplikace přizpůsobit vysoké dynamice a zátěžím. Nejčastěji se používají v potravinářském, stavebním, automobilovém, obalovém a dřevozpracujícím průmyslu. Tento způsob pohonu se používá u výkonového obrábění (HPC – High Performance Cutting). [4]



Obrázek 2: Servomotor (dostupné z [11])

2.1.2 Krokový motor

Jak je již z názvu patrné, tak se tento motor bude otáčet po krocích, standardně na jednu otáčku udělá 200 kroků. To nám umožňuje snadné a přesné polohování při dosažení nízké ceny motoru. Při kombinaci krokového motoru s N-kodérem nám je schopen nahradit servomotor. Pouze mu pošleme informaci o počtu pulzů, jejich frekvenci a směr otáčení motoru. Pomocí speciálních driverů můžeme dosáhnout ještě přesnějšího polohování pomocí mikrokrokování. To nám každý krok rozdělí ještě na n-násobek kroků. Takže

pokud máme mikrokrokování 2, tak nám motor udělá na jednu otáčku 2x200 kroků, tudíž jsme schopni docílit dvakrát větší přesnosti. Tyto motory jsou díky své přesnosti a nízké ceně nejčastěji používané pro řízení os 3D tiskáren. [5]



Obrázek 3: Krokový motor (dostupné z [12])

2.1.3 Lineární motor

Lineární elektromotor se skládá ze dvou částí – pohyblivé (primár) a pevné (sekundár). Obě části jsou vyrobené z feromagnetického materiálu, a pokud tedy přivedeme na primár proud, vzniknou mezi primárem a sekundárem elektromagnetické síly, které s primárem pohybují. Pokud použitý motor není schopen vyvinout dostačující sílu pro dané obrábění, dají se motory zdvojit, ale zvýší se tím teplo, které vzniká při jejich chodu a můžou tak ovlivnit ostatní mechanické části. [2]

Nevýhodou tohoto motoru je, že kabely napájení, čidel a hadice s chlazením musí být přivedené na primár, který se pohybuje. Tyto části je nutné chránit vhodnými prostředky (vlečným řetězcem), protože jsou pohybem více namáhané a náchylné na možné poškození. Výhodou je, že sekundární část, která je použita jako lože, se skládá z jednotlivých dílů a může být na přání zákazníka libovolně dlouhá. Lineární elektromotor se používá pro vysokorychlostní obrábění (HSC – High Speed Cutting). [2]



Obrázek 4: Lineární motor (dostupné z [13])

2.2 Převod rotačního pohybu

2.2.1 Přenesení pohybu motoru na jednotlivé osy

Pro lineární motor není třeba žádných převodů či závitových tyčí. Pevná část lineárního motoru je připevněna k tělu soustruhu tak, aby byla rovnoběžně s osou, kterou bude motor pohybovat. Pohybová část je připevněna k suportu, se kterou pohybuje. Tento způsob se používá zejména u CNC strojů. [2]

Pro převedení rotačního pohybu motorů na lineární pohyb se používají vodící neboli trapézové šrouby. Trapézové šrouby se používaly před vznikem kuličkových šroubů. Tyto šrouby se však vyznačovaly značnou vůlí mezi šroubem a maticí, která se používáním stroje zvětšovala, čímž se zvětšovala i nepřesnost stroje. Aby se vůle vymezila, muselo se suportem posouvat pouze ve směru přísuvu. Pokud obráběč přešel přes požadovaný rozměr, musel se vrátit zpět o více než je vůle mezi šroubem a maticí a znovu najet na požadovaný rozměr. To nám může dělat problémy u výrobků, kde je žádaná vysoká přesnost a tolerance rozměrů. [2]



Obrázek 5: Trapézový šroub (dostupné z [14])

Další variantou převodu jsou kuličkové šrouby, které vznikly později a používají se hlavně u CNC strojů. Pomohly odstranit vůle, čímž se zvýšila přesnost a produktivita práce. Hlavními přednostmi jsou vysoká účinnost, minimální oteplování vlivem tření a nízké opotřebení, což zvyšuje jejich životnost. Kuličky se pohybují buď v jednom, nebo ve více kanálcích podle předpokládaného zatížení. [2]



Obrázek 6: Kuličkový šroub (dostupné z [15])

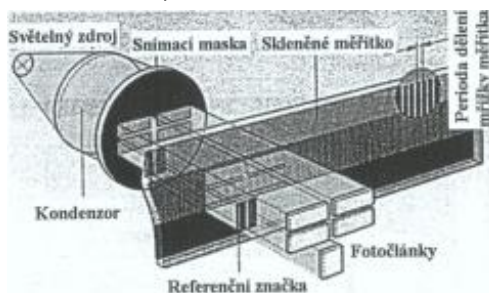
3. SENZORY

3.1 Odměrování polohy os

Obecně u CNC strojů patří měření polohy obráběcího stroje vůči obráběnému předmětu či nulové pozici stroje k jejich nejdůležitějším součástím. Délka pohybu osy, při pohonu krokovým motorem, je určena počtem pulsů, které posíláme do motoru pro pohyb osy a jeden puls je roven jednomu inkrementu. Tento inkrement je nejmenší rozlišitelná délka. Ta by měla být celočíselná, ale moderní přístroje umí pracovat i s obecnou hodnotou inkrementu. [3]

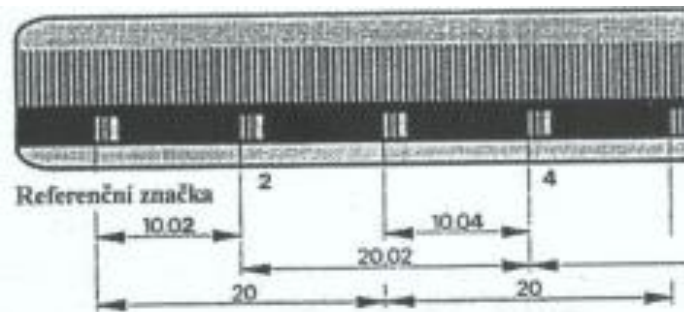
Odměrování os můžeme rozdělit na několik typů. U přímého odměrování nám snímač snímá přímo polohu na ose, a to buď inkrementálně (přírůstkově), nebo absolutně. U nepřímého odměrování se snímá pootočení závitové tyče, která pohybuje s osou, a tento rotační pohyb je přepočítán na lineární pohyb na ose. U inkrementálního (přírůstkového) odměrování je nutné vždy po zapnutí stroje všechny osy zkalibrovat, protože po jeho vypnutí zapomeneme, na jakých hodnotách se osy nacházely. Každá osa musí zajet na referenční bod, aby zjistila svůj počátek. Při následném pohybu po ose jsme schopni přičítáním či odčítáním inkrementů zjišťovat polohu na ose. Snímač nám totiž říká pouze jakým směrem a kolik inkrementů jsme se posunuly. U absolutního odměrování není potřeba najíždět do referenčního bodu, protože snímač přímo ví, kde na ose se nacházíme. Popřípadě projede krátkou vzdálenost na ose, aby přesně zjistil, kde na ose se nachází. Referenční bod nám určuje absolutní polohy os vůči jejich nulovému bodu. [3]

Současné lineární měřicí systému Heidenhain fotoelektricky snímají jemné body a mezery na skleněném měřítku. Pod měřítkem se ještě nacházejí referenční značky, které nám určují absolutní polohu vzhledem k nulovému bodu. Body nám nepropouštějí a mezery propouštějí světlo, které dopadá na fotočlánky, které se nacházejí pod měřítkem. Při pohybu na ose fotoelektrické články střídavě zaznamenávají světlo a tmu a jsou převedené na elektrické signály, které jsou převedené do digitální podoby. Tímto způsobem můžeme rozlišit minimální inkrement na tisícinu milimetru a směr, kterým se na ose pohybujeme. Místo skleněného měřítka se také používá ocelový pásek, na kterém je pomocí zlaté risky vytvořená mřížka, která odráží světlo ze snímací hlavy. [3]



Obrázek 7: Fotoelektrický princip měření se skleněným měřítkem (dostupné z [3])

Pro nepřímá měření firma Heidenhain vyrábí skleněná měřítka znázorněné na obr. 8, která obsahují referenční značky vyjádřené v kódové rozteči, a společně se snímačem úhlového natočení jsme schopni zjistit absolutní polohu na ose. [3]



Obrázek 8: Skleněné měřítko s referenčními značkami (dostupné z [3])

Tyto konstrukce od firmy Heidenhain jsou výhradně používány pro obráběcí stroje, které mají delší osy. V případě použití inkrementálních snímačů by se po jejich zapnutí muselo najet do referenčního bodu, aby stroj zjistil vztažné hodnoty vzhledem k nulovému bodu souřadnicového systému, což by nám zabralo nějakou dobu, po kterou by se stroj nedal použít k výrobě. [3]

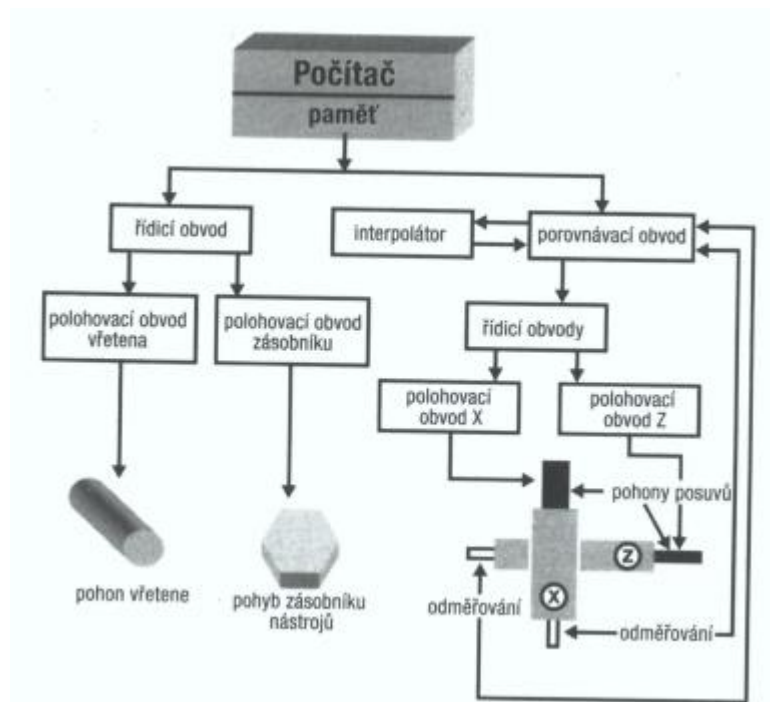
Další varianta odměřování je založena na principu fenoménu ohybu a interferenci světelného toku. Na měřítku je nasvětlovací mřížka a snímací maska má totožnou mřížku založenou na prosvětlovacím principu. Relativním ohybem měřítka vůči masce jsou na fotočlácích detekované sinusové signály, které jsou dále upraveny a reprezentují nám pohyb na ose. Jako v předchozích případech je měřítko vybaveno referenčními značkami, pomocí kterých zjistíme absolutní polohu. Pomocí tohoto lineárního odměřování můžeme dosáhnout vysoké přesnosti a velmi jemného kroku měření. [3]

Laserové měření polohy je založeno na Dopplerově jevu, který představuje změnu přijímané frekvence, jsou-li zdroj a detektor vůči sobě v pohybu. Tato metoda měření má vysoké rozlišení až dva nanometry, vysokou přesnost, možnost měřit veliké vzdálenosti a poměrně malými rozměry snímače. Velikou nevýhodou je, že zdroj světla a odrazové zrcátko musí být v ochranném krytu, aby se do dráhy snímání nedostala během obrábění špona, popřípadě chladicí kapalina. To by mohlo vést ke zkreslení měřené vzdálenosti nebo úplnému znemožnění měření polohy na ose. [3]

4. KONCEPT SOUSTRUHŮ ŘÍZENÝCH PLC

Číslicově řízené výrobní stroje (CNC – Computer Numeric Control) mají ovládané pracovní funkce pomocí řídicího systému dle předem vytvořeného programu. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin, kterým říkáme bloky nebo věty. Program zaručuje pohyb silových prvků stroje tak, aby byla dodržena výrobní posloupnost součásti, jak určují jednotlivé bloky. [3]

4.1 Části CNC obráběcího stroje



Obrázek 9: Zjednodušené blokové schéma CNC obráběcího stroje (dostupné z [3])

Průmyslový počítač stroje má v sobě nahraný řídicí systém, který musí vyhovovat danému provedení stroje, počítači a předpokládané technologii výroby. Pomocí ovládacího panelu můžeme provádět příkazy potřebné k ručnímu ovládnutí, pro seřízení celého stroje a pro další práce, které nám daný systém nabízí. [3]

Řídicí obvody převádí logické signály na silnoproudé signály, které ovládají přímo jednotlivé části stroje, jako jsou motory vřetene a posuvů. [3]

Interpolátor řeší dráhu pohybu nástroje, která je daná jeho geometrií a zaručuje geometrickou přesnost výrobku. Vypočítává elementy dráhy mezi bloky ze startovacího bodu do konečného bodu. Dráha může být přímková (lineární interpolace), kruhová (radiusová interpolace) a u vyspělejších řídicích systémů také šroubovicová nebo obecná (spline). [3]

Porovnávací obvod porovnáva hodnoty dosažené geometrie při obrábění, kterou získá pomocí informací získaných z pravítek na suportech, a geometrii zadanou programem. Pokud bude zjištěn nějaký rozdíl těchto hodnot, tak akční prvky dostanou povel pro dosažení požadovaných hodnot obrobku. [3]

Čelní panel má různá řešení, standardně si každý výrobce strojů navrhuje vlastní. Lze jej rozdělit do několika částí dle významu. Vstupní data zadáváme pomocí alfanumerické klávesnice. Ta nám umožňuje napsat program, zadat data o nástrojích, o seřízení stroje nebo seřizovací konstanty. Dále obsahuje prvky, které nám umožňují ruční ovládání stroje jako je pohyb nástroje či obrobku, spouštění otáček vřetene, ruční velikost posuvů a rychloposuvů. Dále můžeme volit režim práce stroje jako je automatický režim, ruční režim nebo takzvaný blok po bloku. Můžeme zde také nastavovat jednotlivé parametry obrábění, rychlost posuvů, rychlost otáčení vřetene, aby při obrábění byl dosaženo co nejvyšší kvality. Slouží to také k ověření správnosti programu a k jeho případné opravě. Čelní panel je dále vybaven obrazovkou, kde se nám zobrazují všechny důležité akce a parametry. [3]

4.2 Firmy zabývající se stavbou poloautomatických soustruhů

Níže uvedené firmy jsou pouze dvě z mnoha, které se touto problematikou zabývají. Firma Tyntech nejdříve vyráběla konvenční a CNC frézky pro profesionální využití. Později svůj sortiment rozšířila o soustruhy, rovinné brusky, CNC otočné stoly a obráběčky. Firma CZMOOS Trading s.r.o. vyrábí nejrůznější obráběcí stroje jako jsou soustruhy, frézky, brusky, vrtačky, CNC soustruhy, 4-12 osá soustružnická centra. Dále se zabývá digitálním odměřováním, nakladači a vykladači polotovarů a obrobků.

Firma Tyntech se mimo jiné zabývá výrobou soustruhů typu OPTICA 360, 590, 660, které jsou vybaveny PLC pro jejich ovládání. Mají tři možnosti ovládání: manuálně prostřednictvím dvousměrného joysticku, manuálně pomocí elektronických koleček, které umožňují pohyb s podélnou a příčnou osou, a automatickým režimem s podporou cyklů pro vnější a vnitřní soustružení a automatickým soustružením závitů, drážek atp. Soustruh je vybaven jedním menším displejem, kde se jednoduše a pohodlně vybírají automatické cykly a funkce soustruhu. Dále má ještě větší displej, na kterém jsou zobrazovány provozní údaje, hodnoty a vizualizace cyklů. [5]

Soustruh pracuje s podporou PLC firmy SIEMENS a softwarem OPTICA. Je odolný proti vibracím a zátěžím díky naddimenzované konstrukci z litiny. Pro podélný a příčný posuv je použito kuličkových šroubů. Tyto soustruhy jsou vyráběné s točným průměrem nad ložem od 390 mm do 660 mm a točnou délkou od 700 mm do 6000 mm. [5]

Firma CZMOOS Trading s.r.o. vyrábí soustruhy, které kombinují klasické ruční ovládání a režim CNC. Stroj tedy umožňuje ruční ovládání jako u konvenčních strojů, tak i plně automatické. Program pro automatickou práci se skládá z cyklů. Každý cyklus

odpovídá jednotlivému tvaru obráběné součástky. Díky tomu není potřeba znát žádné speciální znalosti programování CNC strojů. [6]

Firma CZMOOS Trading s.r.o. vyrábí dvě série soustruhů. Jedna je CKE-i, která má přímý pohon vřetene buď asynchronním motorem a frekvenčním měničem nebo servomotorem, což nám umožňuje jít do vysokých otáček. Takové provedení je vhodné na dokončovací práce. Druhá je CKE-Z, která je vybavena mechanickou převodovkou, která umožňuje automatickou změnu rychlosti bez nutnosti zastavení stroje. To je vhodné více na hrubovací práce. [6]



Obrázek 10: Konvenční soustruh řady OPTICA od firmy Tyntech (dostupné z [5])

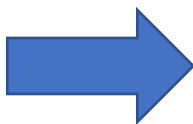
5. REALIZACE MODELU

Touto prací chci poukázat na to, jakým způsobem je možné vylepšit manuální soustruh, za účelem zefektivnění a zjednodušení práce na něm, aniž by se musel nahrazovat novým strojem. Bavíme se o přidání odměřovacího systému pro určování polohy na osách a o vybavení stroje motory, které budou s osami pohybovat. Tyto prvky by byly připojené k ovládacímu systému PLC a vybaveno vizualizací a ovládacími prvky.

Základní funkcí je pohyb po jedné či druhé ose, který je určený pro obrábění, kde se pohybujeme konstantní rychlostí a daným směrem. Tento pohyb umí vykonávat většina manuálních soustruhů. Další funkcí, kterou nenajdeme u každého soustruhu, je rychloposuv. Ten nám umožňuje se rychle pohybovat po osách. Zejména je vhodný pro soustruhy, které mají podélnou osu delší jak jeden metr, protože přejet z jedné strany na druhou zabere čas, po který stroj neobrábí. Další funkce je pohyb po ose a zastavení na námi zadané pozici. Tato funkce slouží pro obrábění a některé stroje ji mají, ale pokud chceme opakovaně zastavovat na konkrétní pozici, tak málokdy zastavíme na desetiny milimetru přesně. Poslední funkcí bude kalibrace, která nám umožní nastavit nulovou pozici os v našem souřadném systému.



Obrázek 12: Soustruh TUM 25A (dostupný z [16])



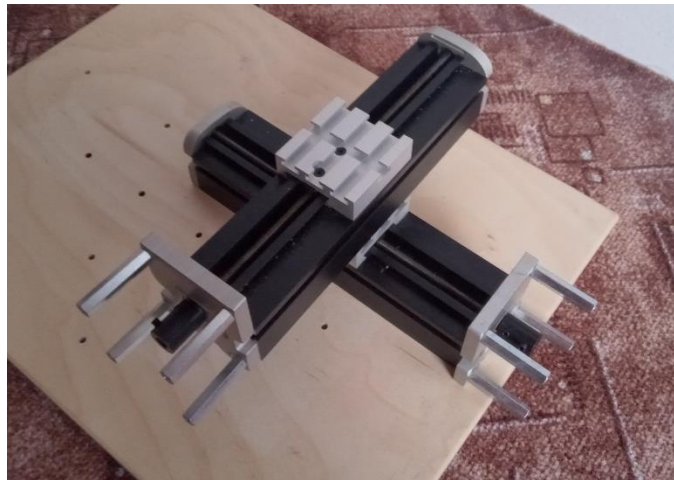
Obrázek 11: Soustruh SPFX-1000P (dostupný z [17])

5.1 Mechanická část modelu soustruhu

Pro zhotovení modelu jsem si vybral CNC výukovou sestavu od firmy Helago-CZ. Pomocí těchto prvků lze vytvořit nejrůznější modely CNC strojů a testovat na nich funkce jednotlivých programů.

Hlavní částí tvoří hliníkový rám o rozměrech 40x50x200 mm. Horní část rámu má vedení připomínající lože soustruhu, na které je položený posuvný blok o rozměrech 50x50x15 mm. Tento posuvný blok se bude pohybovat pomocí závitové tyče M4 x 1 mm o délce 240 mm, která je na koncích upevněna v ložiscích. Ložiska jsou upevněna do bočnic. Bočnice jsou připevněné na bokách hliníkového rámu. Tato jedna sestava nám umožní simulovat podélný posuv supportu po dráze 150 mm. Abychom mohli simulovat

i příčný posuv připevníme totožnou sestavu na posuvný blok té první a tím získáme dvě hlavní osy soustruhu, které budeme řídit (viz obrázek 13).



Obrázek 13: Sestavení podélné a příčné osy modelu soustruhu (foto autor)

Pro autentičnost modelu použijeme tříčelist'ovou univerzálu o průměru 50 mm, která bude upevněna na vřetenu pomocí závitu. Motor pro její otáčení bude vybaven malým ozubeným kolem a vřeteno velkým ozubeným kolem s převodovým poměrem 1:7, což nás z 20000 ot/min motoru dostane do pracovních otáček vřetene na přibližných 2857 ot/min. Takto vysoké otáčky jsou vhodné pro měkkí materiály jako jsou třeba dřevo nebo plast, a také pro obrobky, které mají menší průměr.

Přepoččet otáček motoru na otáčky vřetene v_V :

$$v_V = v_M * \frac{z_M}{z_V} = 20000 * \frac{10}{70} = 2857 \text{ ot/min}$$

v_V ... rychlost otáčení vřetene [ot/min]

v_M ... rychlost otáčení motoru [ot/min]

z_V ... počet zubů ozubeného kola vřetene [–]

z_M ... počet zubů ozubeného kola motoru [–]

Moje práce není zaměřena na výpočty parametrů modelu soustruhu, ale spíše na možnosti jeho řízení. Při návrhu reálného soustruhu se vychází z maximálního rozměru materiálu, který budeme obrábět, jako je maximální točný průměr nad ložem a supportem, délka obrobku, materiál obrobku a další parametry. Dále jaké velikosti třísek budeme obrábět, jakou rychlostí budeme obrábět a další parametry, které si předem zvolíme. Tato problematika je pouze nastíněná několika výpočty níže, jako je třeba velikost složky řezné síly, největší kroutící moment na vřetenu a síla pro posuv suportů. Další výpočty jsou dobře popsány v [2].

Výpočet velikosti složky řezné síly P_{Zmax} :

$$P_{Zmax} = 10 * H_S [kg]$$

$$D_0 = 2 * H_S [mm]$$

H_S ... výška hrotů nad ložem

D_0 ... točný průměr nad ložem

Výpočet největšího kroutícího momentu na vřetenu M_{Vmax} :

$$M_{Vmax} = P_{Zmax} * \frac{D_S}{2} [mmkg]$$

D_S ... točný průměr nad supportem

Výpočet síly pro posuv supportů P_P :

$$P_P = P_X + N * f [kg]$$

$$P_X = 0,3 * P_Z$$

$$N = 2 * P_Z$$

P_X ... největší řezné síly

N ... normálová reakce mezi vedením a saněmi

f ... součinitel tření (pro nedokonalé mazání se volí $f = 0,15$)

P_Z ... obvodová složka řezné síly

5.2 Elektromechanické části modelu

5.2.1 Motory

Každá z os bude vybavena krokovým motorem pro její pohyb. Jedná se o motor typu 23HS22-2006S, který se silou 0,9 Nm bude schopen pohybovat s osou i přes odpor vznikající třením. Motor bude napřímo připojen k závitové tyči pomocí spojky. Krokový motor nám umožní snadné polohování pomocí kroků, ve kterých se pohybuje. Se základním krokem motoru 200 kroků na otáčku a mikrokrokováním ovladače motoru 1/2, což je ve výsledku 400 kroků na otáčku, nám umožní pomocí jednoho kroku motoru se posunout po ose o 2,5 μ m, taková přesnost je více než dostačující pro tento model. Motor bude řízen pomocí ovladače, který je popsán v další kapitole. Pro propojení motoru s ovladačem použijeme čtyři vodiče neboli bipolární zapojení. V tomto zapojení má motor vůči šestivodičovému zapojení neboli unipolárnímu zapojení větší provozní moment.

Přepočet otáčivého pohybu krokového motoru na lineární pohyb osy d :

$$d = \frac{s}{k} = \frac{1}{400} = 2,5 * 10^{-3} mm$$

d ...posun v lineárním směru po ose [mm]

s ... stoupání závitové tyče [mm]

k ...počet kroků, které udělá závitová tyč na jednu otáčku [-]

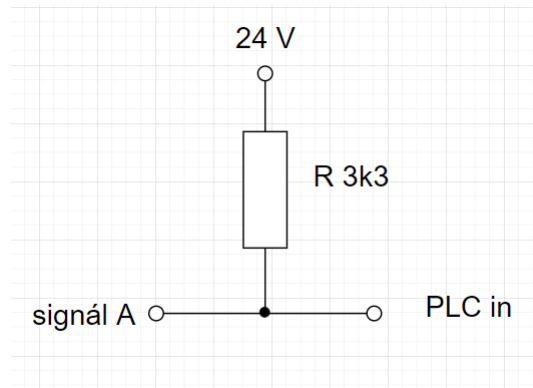
Pro pohyb vřetene použijeme stejnosměrným motor s napájecím napětím 12 V a pracovními otáčkami 20000 ot/min. Jeden z přívodních vodičů je vybaven vypínačem pro jeho snadné ovládání. Ozubená kola motoru a vřetene jsou spojena pomocí řemene. Tím se dostaneme na nižší otáčky vřetene a vyšší moment.

5.2.2 Snímače

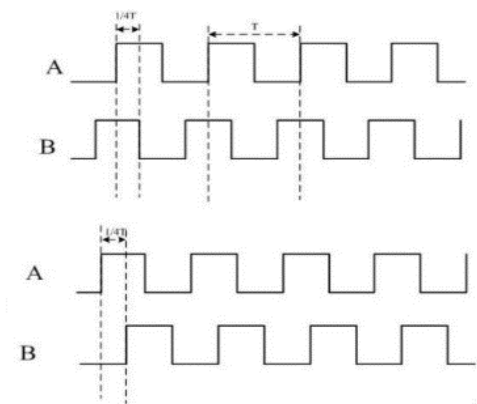
Pro odměřování polohy na ose použijeme rotační enkodér S38S6G5-400B-G s přesností 400 pulsů na otáčku. Pomocí něj budeme měřit úhel natočení závitové tyče, která pohybuje se suporty na osách. Ze změřeného úhlu a stoupání závitové tyče budeme schopni vypočítat lineární posun na ose. Se 400 pulsy na otáčku, které nám je schopen snímač dát, budeme schopni měřit s přesností na 2,5 μ m. Motor, který bude pohybovat s osou, budeme řídit 3200 pulsy na otáčku. Snímač má dva výstupní signály A a B. Pomocí nich určíme směr otáčení, a pomocí pulsů nám snímač definuje o kolik kroků se pootočila závitová tyč. Jelikož se jedná o inkrementální snímač, tak bude nutné vždy po zapnutí napájení nastavit na osách nulový bod, a proto je toto provedení vhodné pro stroje s kratšími osami. Nulový bod můžeme nastavovat ručně nebo můžeme použít koncové spínací kontakty, které nám tento bod budou určovat. Enkodér má čtyři vodiče, dva pro napájení a dva pro určování směru otáčení.

Z výstupních charakteristik snímače (viz obrázek 16) můžeme vidět, že při otáčením hřídele snímače jedním směrem signál B předbíhá signál A o čtvrt periodu signálu. Při otáčení na druhou stranu signál A předbíhá signál B. Tímto způsobem jsme schopni určit směr otáčení.

Jelikož jsou na výstupech enkodéru tranzistory s otevřeným kolektorem, použili jsme zapojení na obrázku 12 pro detekci výstupních signálů v rozsahu napájecího napětí enkodéru.



Obrázek 14: Schéma zapojení výstupu enkodérů (zdroj autor)



Obrázek 16: Výstupní pulzy z enkodéru při otáčení jedním a druhým směrem (dostupné z [18])



Obrázek 15: rotační inkrementální enkodér (S38S6G5-400B-G) (dostupné z [18])

Výpočet minimální měřitelné jednotky lineárního pohybu r :

$$r = \frac{s}{k_s} = \frac{1}{400} = 2,5 * 10^{-3} mm$$

r ... minimální měřitelná jednotka lineárního pohybu [mm]

s ... stoupání závitové tyče [mm]

k_s ... počet pulsů, které nám dá snímač na jednu otáčku závitové tyče [-]

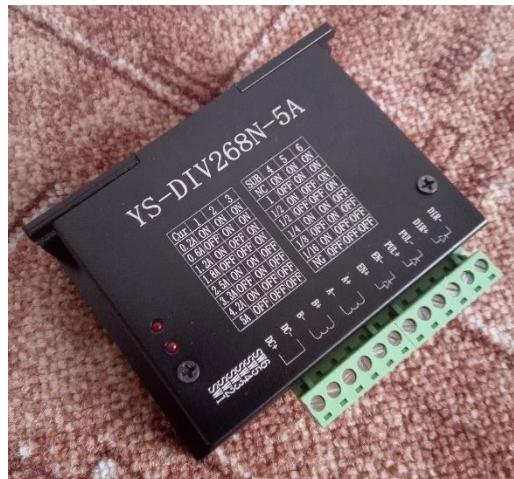
5.2.3 Relé a koncové kontakty

Pro zabezpečení proti vyjetí suportu z osy jsou použity mechanické koncové kontakty. V případě jejich aktivace se rozepne relé, které spíná/rozpíná napájecí kontakty ovládacího modulu krokového motoru příslušné osy. Použili jsme relé PT 570524, které má napájecí napětí spínané cívky 24 V. Spínací kontakty jsou v režimu NC (normally close) a relé jsou v režimu NO (normally open).

5.1 Elektronické části modelu

5.1.1 Ovladače krokových motorů

Krokové motory obou os jsou řízené ovladači TB6600. Ty nám mohou dodat maximální výkon 160 W. Jsou vybaveny třemi vstupními piny s 5 V logikou, pomocí kterých je řídíme. Vstupní piny budou připojené k výstupům karty X20 DS 1119, které jim budou posílat řídicí signály. První pin slouží pro povolení nebo zakázání chodu motoru. Druhý pin nám určuje směr otáčení motoru. Třetí pin nám říká, o kolik kroků a s jakou rychlostí se má motor otáčet. Výstupní piny označené A+, A-, B+, B- slouží k připojení vinutí krokového motoru. Ovladač nám také umožňuje mikrokrokování (1, 2, 4, 8 a 16 kroků). To slouží k ještě většímu zjemnění kroku, tudíž se nám zvýší počet kroků, které bychom udělali na jednu otáčku. Pro realizaci použijeme mikrokrokování 16, tudíž uděláme 3200 kroků na otáčku. Tyto ovladače jsou schopny pracovat s maximální vstupní frekvencí pulzů 50 kHz. S touto frekvencí a 3200 kroky na jednu otáčku motoru se můžeme dostat na teoretickou rychlost lineárního pohybu po ose až 15,625 mm/s.



Obrázek 17: Ovladač krokového motoru (TB6600) (foto autor)

Výpočet teoretické maximální rychlosti lineárního pohybu po ose v_{pmax} :

$$v_{pmax} = \frac{f_{pmax}}{k} * s = \frac{50000}{3200} * 1 = 15,625 \text{ mm/s}$$

v_{pmax} ... maximální rychlost lineárního pohybu po ose [mm/s]

f_{pmax} ... maximální frekvence pulzů [Hz]

s ... stoupání závitové tyče [mm/ot]

k ... počet kroků, které udělá závitová tyč na jednu otáčku [-]

5.1.2 Vstupně výstupní moduly a sběrnice

Pro propojení PLC a ovladačů krokových motorů použijeme dva moduly X20 DS 1119 od firmy B&R, pro každý ovladač jeden. Modul má 3 digitální vstupně výstupní piny s maximální frekvencí 250 kHz a úrovní napětí 5 V. Tentýž modul použijeme pro připojení rotačních enkodérů pomocí dvou digitálních vstupů s úrovní 24 V a maximální vstupní frekvencí 100 kHz, které jsou na každé kartě. Tudíž jeden modul použijeme pro řízení jednoho ovladače krokového motoru a pro připojení výstupů z rotačního enkodéru. Pro propojení vstupně výstupních modulů a PLC použijeme sběrniceový přijímač Bus receivers BR9300. Vstupně výstupní moduly a sběrniceový přijímač se spojují boky k sobě, kde mají drážky pro upevnění. Na bokách mají také napájecí kontakty, tudíž stačí připojit k napájení pouze jednu kartu ve složené sestavě a kontakty pro komunikaci. Sběrnice a POWER Panel 400 je propojen pomocí tří vodičů. Na sběrnici jsou připojeny do slotů označené jako 11, 21, 22. a do panelu jsou připojeny pomocí konektoru BLT 5.08 PTB.



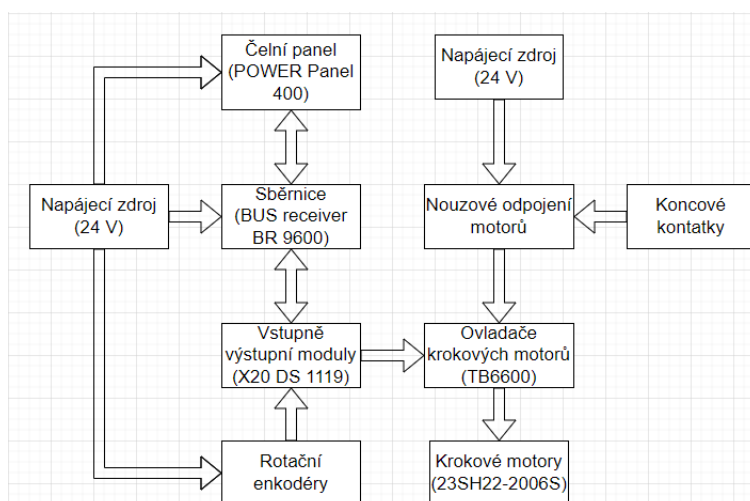
Obrázek 18: Vstupně výstupní moduly (X20 DS 1119) (foto autor)

5.1.3 Ovládací panel a PLC (POWER Panel 400)

Pro řízení modelu použijeme POWER Panel 400 od firmy B&R, s konkrétním označením 4PP481.1043-75. Toto zařízení nám kombinuje řídicí jednotku (PLC), zobrazovací jednotku (HMI) a ovládací prvky (tlačítka) do jednoho modulu. Modul je napájen ze stejnosměrného zdroje o napětí 24 V, dodávající proud 10 A. Tento zdroj je použit k napájení celého systému. K napájení je využit konektor BLZF 5.08 PBT. Velmi podobné panely se používají pro řízení velkého množství CNC obráběcích strojů. Spojení těchto modulů nám umožní pohodlné ovládání a odečítání z panelu. Pro ovládání modelu soustruhu využijeme tlačítka a dotykovou obrazovku. Tento modul budeme programovat v softwaru Automation Studio 4. Ten nám poskytuje několik možností, jak toto PLC programovat, ať už textově (např. strukturovaný text) nebo blokově (např. příčkový diagram, schéma funkčních bloků). Dále nám umožňuje virtuální vytvoření modulů, které budeme používat.



Obrázek 19: Čelní panel (POWER PANEL 400) (foto autor)



Obrázek 20: Blokové schéma řízení modelu soustruhu (zdroj autor)

5.2 Ovládací funkce modelu

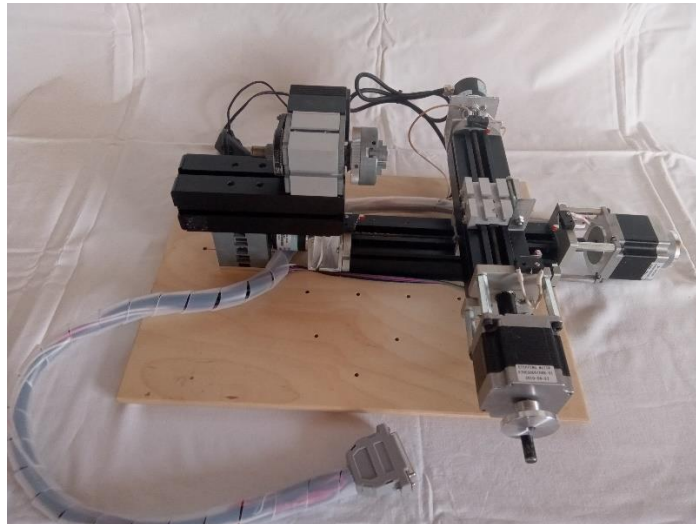
Hlavní funkcí bude rychloposuv, které starší soustruhy nemají. To je hlavně vhodné pro soustruhy, které mají dlouhou převážně podélnou osu a přejetí z jednoho konce na druhý pomocí ručního ovládání je poměrně náročné a zdlouhavé. To můžeme realizovat pomocí čtyř tlačítek, každé do jednoho směru posuvu, které nám umožní pohyb například 50 mm/s.

Další funkcí budou posuvy určené pro obrábění v podélné a příčné ose v obou směrech. Zde budeme řídit osu, po které se budeme pohybovat a jakým směrem se budeme pohybovat. Perioda generování pulzů pro ovladače se bude přepočítávat z nastavené rychlosti otáčení vřetene a z rychlosti pohybu po ose. Zapínání a vypínání posuvu bude pomocí tlačítek, zatímco starší soustruhy proto využívají páky a mechanické

převody. Druhá varianta této funkce bude obdobná, pouze bude vybavena bodem, na kterém chceme zastavit. K tomu nám bude sloužit digitální odměřování pomocí inkrementálních enkodérů.

Nejdůležitější funkcí u tohoto modelu bude nastavení nulových bodů na osách. Jelikož budeme mít inkrementální snímač, tak vždy po vypnutí napájení přijdeme o informaci, kde na ose se nacházíme. U soustruhů s dlouhými osami je vhodné použití optického (např. laserového) odměřování. To by muselo být ve speciálním krytu, aby špony, které se tvoří při obrábění nepřerušovaly paprsek snímače. Inkrementální odměřování nám umožňuje si nulový bod nastavit, kde chceme. To nám usnadňuje práci, pokud chceme například od pravého čela obrobku odměřit určitou vzdálenost.

Moduly, se kterými jsme model realizovali, jsme vybrali hlavně z důvodů jejich cenové dostupnosti, jako jsou krokové motory, ovladače krokových motorů, rotační enkodéry a použité mechanické části pro stavbu modelu soustruhu, jako hliníkové rámy, závitové tyče a další díly. POWER Panel 400 spolu se sběrnici a vstupně výstupními moduly byl zapůjčen z katedry automatizace a měřicí techniky FEKT VUT Brno.



Obrázek 21: Finální konstrukce modelu soustruhu (foto autor)



Obrázek 22: POWER Panel 400 s připojenými řídicími komponenty (foto autor)

5.3 Popis softwaru a vizualizace pro PLC

Jednotlivé ovládací funkce jsou rozdělené do samostatných programů a každá funkce má svoji vizualizaci. Program pro kalibraci, odměřování, rychloposuv a posuv je psaný v leader diagramu. Pozicování je psané ve strukturovaném textu, kvůli své složitější stavbě vůči ostatním programům. Také přepočty rychlosti pohybu jsou psané ve strukturovaném textu. Dále jsou zde programy, které zajišťují funkce jako resetování výstupů PLC do počátečních stavů, přepočet rychlostí otáčení vřetena a rychlosti posuvu na periodu, generování obdélníkového signálu a odměřování polohy na osách.

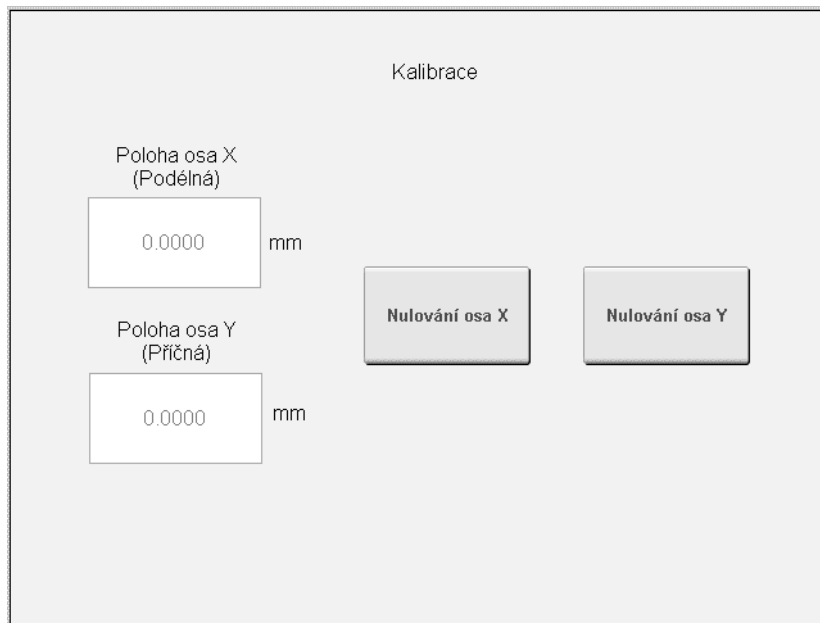
5.3.1 Kalibrace, odměřování a resetování výstupů

První a základní funkcí je kalibrace. Vizualizace zobrazená na obrázku 23 se skládá ze dvou tlačítek a dvou polí zobrazující numerické hodnoty, kde se zrovna na osách nacházíme. Jedno tlačítko je pro jednu osu a druhé pro druhou. Při stisknutí tlačítka se do proměnné, která zobrazuje aktuální pozici na ose, zapíše pomocí funkce „MOVE“ hodnota nula. Tato funkce se zobrazí jako první po zapnutí PLC a můžeme se na ni přepnout pomocí tlačítka F1 na čelním panelu.

Odměřování je podstatnou součástí celého modelu. Na každé ose je enkodér, který při otáčení generuje obdélníkové pulzy na dvou fázích, které jsou vůči sobě posunuté o čtvrt periodu. Signál A předbíhá signál B při otáčení jedním směrem, a naopak při otáčení

druhým směrem. Program je psaný v leader diagramu, a pokud na signálu A detekuje náběžnou hranu a signál B je v nule, tak přičteme k aktuální pozici hodnotu 0,0025 mm. A při detekci náběžné hrany na signálu B a nulové hodnotě na signálu A se odečte hodnota 0,0025 mm od aktuální pozice na ose. Hodnota 0,0025 mm je minimální měřitelný pohyb po ose v lineárním směru.

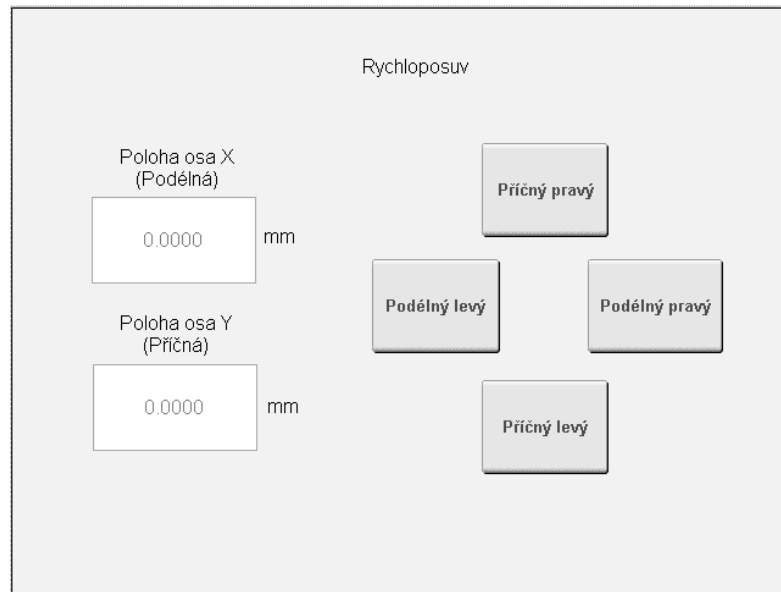
Resetování výstupů je psané v leader diagramu a slouží k tomu, aby výstupy PLC byly při rozepnutých tlačítkách v počátečních stavech. Je to hlavně z důvodu, aby motory nezůstávaly stále v sepnutém stavu a šlo se pohybovat po ose ručně pomocí klíčků.



Obrázek 23: Vizualizace funkce kalibrace (foto autor)

5.3.2 Rychloposuv

Funkce rychloposuvu (s vizualizací zobrazenou na obrázku 24) má na obrazovce čtyři tlačítka, kterými se pohybujeme v námi žádaném směru. Dále zde jsou dvě pole pro zobrazení aktuální polohy na ose. Při stisknutí tlačítka se začne generovat obdélníkový signál, který je posílán na vstup ovladače krokového motoru. Jelikož není k dispozici funkční blok generující obdélníkový signál, je obdélníkový signál generován pomocí dvou bloků, které fungují jako zpožďovač signálu. Pomocí dvou takových bloků střídavě generujeme logické jedničky a nuly, čímž dostaneme obdélníkový signál. Současně se povolí chod příslušného motoru a nastaví se požadovaný směr otáčení pomocí logické jedničky nebo nuly. Při opětovném stisknutí tlačítka se pohyb zastaví. Stejným způsobem funguje pohyb ve všech ostatních směrech. Na tuto funkci se dostaneme stisknutím tlačítka F2 na čelním panelu.



Obrázek 24: Vizualizace funkce rychloposuvu (foto autor)

5.3.3 Posuv a přepočty rychlostí

Další funkcí je posuv (zobrazený na obrázku 25), který umožňuje pohyb po osách při obrábění. I zde jsou dvě pole zobrazující polohu na osách. Také obsahuje čtyři tlačítka pro aktivaci žádaného pohybu. Navíc jsou zde dvě pole, pomocí kterých si můžeme volit otáčky vřetena a rychlost posuvu po ose. Po stisknutí jednoho či druhého pole se nám zobrazí lišta, kde máme na výběr z více rychlostí. Tyto rychlosti jsou předem dané podle toho, jaké rychlosti má předdefinovaný soustruh, který bychom chtěli tímto systémem vylepšit. Pro demonstraci jsme vybrali soustruh Tum 25A, který má otáčky vřetene 2500, 1250, 630, 450, 315, 224, 160, 80, 56 a 24 ot/min a rychlosti posuvu po ose 0,4; 0,28; 0,2; 0,16; 0,14; 0,1; 0,08; 0,07 a 0,04 mm/ot. Tato funkce je totožná s funkcí rychloposuvu s rozdílem, že perioda obdélníkového signálu není pevně daná, ale vypočítává se v samostatném programu. Jelikož u této funkce není důležitá poloha, kde zastavíme a zastavení pohybu je voleno operátorem stroje, tudíž zde není implementována funkce plynulého zrychlení a zpomalení. Na tuto funkci se dostaneme stiskem tlačítka F3 na čelním panelu.

Výpočet periody generování obdélníkových signálů pro stoupání závitové tyče 1 mm/ot:

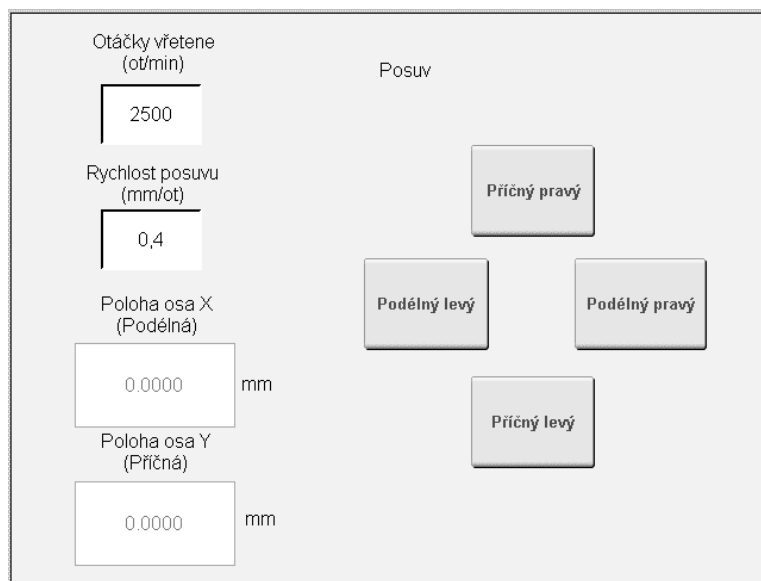
$$T = \frac{60}{v_V * v_P * k} = \frac{60}{224 * 0,2 * 3200} = 4,185 * 10^{-4} s$$

T...perioda generování obdélníkového signálu pro ovladače [s]

v_P...rychlost lineárního posuvu na jednu otáčku vřetene [mm/ot]

v_V...rychlost otáčení vřetene [ot/min]

k ...počet kroků, které udělá závitová tyč na jednu otáčku [-]



Obrázek 25: Vizualizace funkce posuvu (foto autor)

5.3.4 Pozicování

Poslední funkcí je pozicování (zobrazené na obrázku 26), kde chceme při obrábění zastavit na námi požadované pozici. I zde jsou pole zobrazování polohy na osách, pole pro volbu otáček vřetene a rychlosti posuvu po ose. Dále jsou zde dvě pole, do kterých se zapisuje poloha, na kterou chceme dojet. Dále jsou zde dvě tlačítka, pomocí kterých aktuální polohu nastavíme jako polohu, do které chceme dostat. Dále jsou zde dvě tlačítka, která spouští funkci pozicování na dané ose.

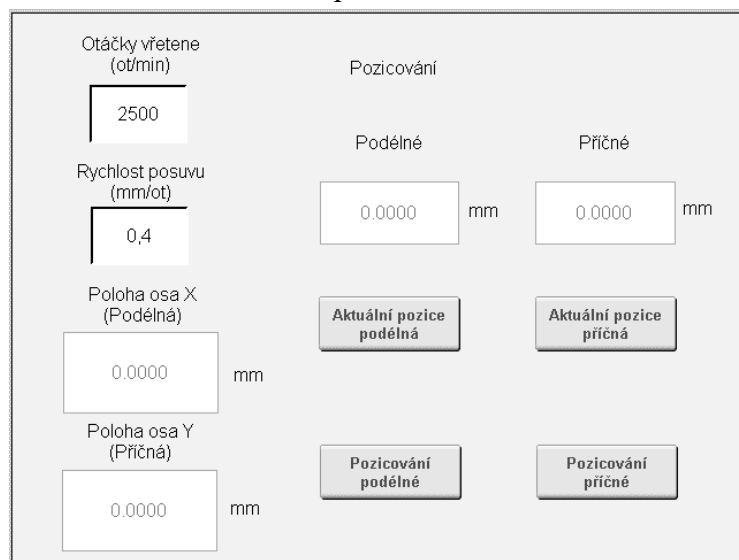
Tato funkce je realizovaná jako stavový automat, který se skládá ze tří částí. Takovéto stavové automaty jsou zde dva pro každou osu jeden. V prvním stavu čekáme na stisk tlačítka, jakmile je tlačítko stisknuté, dostaneme se do stavu dva.

Ve druhém stavu se provede výpočet parametrů potřebných pro pohyb po ose. Z rozdílu aktuální a požadované pozice dostaneme kladné či záporné číslo, což nám určuje pravotočivý nebo levotočivý směr otáčení motoru. Když vypočteme absolutní hodnotu předchozího výpočtu, dostaneme vzdálenost, jakou má motor ujet, a to můžeme převést na počet jednotlivých kroků motoru, které musí motor udělat k dosažení požadované pozice. Výpočet požadované rychlosti pohybu probíhá stejně jako ve funkci posuvu v odděleném programu. Pokud víme požadovanou rychlost a minimální rychlost, která je konstantní, můžeme vypočítat kolik kroků motoru musíme udělat, abychom se z minimální rychlosti dostali na žádanou, tudíž se jedná o dobu zrychlení. Způsob tohoto výpočtu je upřesněn v dalším odstavci. Stejným způsobem jsme schopni vypočítat dobu brždění.

Plynulé zrychlení a zpomalení je u přesného pohybu žádané, protože v případě krokového motoru, pokud bychom chtěli z nulové rychlosti zrychlit na námi požadovanou, může nastat takzvaný jev ztráty kroku nebo se motor vůbec neroztočí. Druhým důvodem je kinetická energie. Představme si, že chceme pohybovat se

supportem, který váží 50 kg. Pro zrychlení takové váhy ve velmi krátkém čase bychom potřebovali velké množství energie. To stejné nastane při zastavení na místě z požadované rychlosti na nulovou rychlost, vždy bychom požadovanou polohu přejeli. Proto se používají funkce realizující zrychlení a zpomalení.

Ve třetím stavu se provádí samotný pohyb. I zde je pomocí bloků zpožďujících signál realizovaný generátor obdélníkového signálu. Dále je zde realizovaná funkce zrychlení, která s každým krokem motoru vynásobí aktuální rychlost dvěma, což připomíná takzvanou S-funkci, která se používá u CNC strojů. Jakmile aktuální rychlost pohybu překročí při zrychlování požadovanou rychlost, dojde k nasycení této hodnoty na požadovanou. Stejným způsobem je realizovaná funkce zpomalování, ale v tomto případě se aktuální hodnota dělí dvěma. I u zpomalení je při překročení minimální rychlosti aplikované nasycení. Zastavení pohybu nastane v moment, kdy je aktuální poloha rovna žádané poloze a tím se také dostaneme do prvního stavu.



Obrázek 26: Vizualizace funkce pozicování (foto autor)

5.4 Alternativní komponenty

Z důvodu nedokonalé kompatibility vybraných komponentů by bylo vhodnější pro model použít komponenty od jednoho výrobce. K řízení můžeme použít Power Panel 400 od firmy B&R. Pro použití komponentů pro námi vytvořený model tato firma nabízí velké množství alternativ. Kdybychom chtěli zachovat použití krokových motorů, můžeme použít dvoufázový krokový motor 80MPD1.300S014-01. Tento krokový motor má velmi podobné parametry jako námi použitý na modelu soustruhu. Jeho výhodou je již zabudovaný inkrementální enkodér, což nám zjednoduší i samotnou stavbu modelu. Pro ovládání těchto motorů můžeme použít ovladač 80SD100XD.C011-01. Tento ovladač zvládne ovládat dva dvoufázové krokové motory. Umožňuje nám mikrokrokování až 256 mikrokroků na jeden krok. Dále je vybaven kontakty pro připojení enkodérů motorů. [7,8]

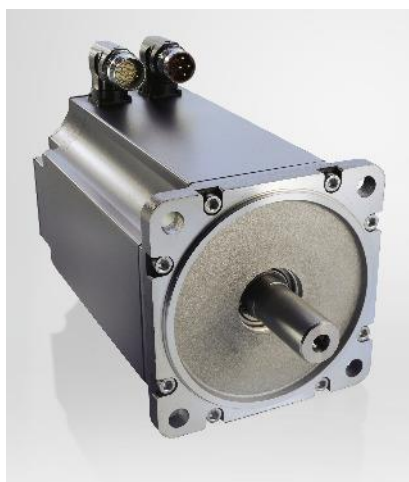


Obrázek 27: Krokový motor B&R
(dostupný z [8])



Obrázek 28: Ovladač krokového motoru B&R (dostupný z [7])

Kdybychom hledali komponenty pro realizaci vylepšení reálného soustruhu, tak bychom spíše zvolili servomotory, které se používají pro řízení os u CNC obráběcích strojů. Jednou variantou jsou 8LSN tří fázový synchronní motor, který je vyvinut pro vysoký moment setrvačnosti, jako je u kovoobráběcích aplikací. Pro ovládání těchto motorů se dá použít systém ACOPOS. Ten se dá jednoduše propojit s řídicím systémem a umožňuje snadné ovládání motoru stejně jako ovladač krokového motoru uvedeného na obrázku 28 [9, 10].



Obrázek 29: Motor 8LSN
(dostupný z [9])



Obrázek 30: ACOPOS
(dostupný z [10])

Při použití výše uvedených komponent od firmy B&R se nám také dosti zjednoduší program pro řízení těchto motorů. Program Automation studio má již předdefinované funkce os, ať už jednotlivých či víceosých systémů (až pětiosé) nebo přímo soustruh. Pomocí těchto funkcí lze nadefinovat jednotlivé námi použité osy. Těm pak lze nastavit parametry jako typ pohybu, zda bude rotační nebo lineární, minimální jednotku, o kterou

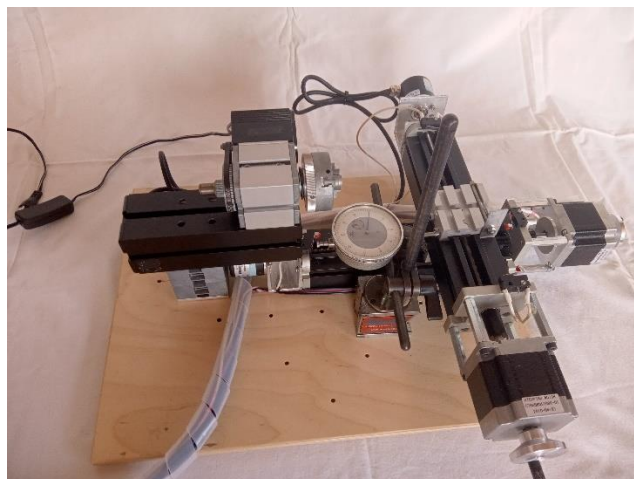
se budeme schopni posunout, maximální rychlost pohybu a maximální akceleraci a deceleraci. Tyto osy se pak dají ovládat pomocí funkcí, které jsou obsažené v knihovně Motion Control. Ty mají již vstupy, pomocí kterých se definují směry otáčení motorů, maximální rychlost otáčení a akcelerace a decelerace. Dále pak vstupy označující aktuální a požadovanou pozici, kam se chceme dostat. Tyto vstupy jsou pak různé dle funkcí bloku.

5.5 Ověření funkčnosti

Hlavním nedostatkem, se kterým jsme se při zhotovení celého modelu potýkali, byla nesourodost jednotlivých použitých součástí. Ty však byly vybrány z důvodu jejich cenové dostupnosti. I když jsou mezi sebou kompatibilní vyskytují se nám jistá omezení. Jedním z takových omezení je rychlost pohybu krokových motorů. Jelikož musíme generovat obdélníkový signál „ručně“, jsme omezení periodou, s jakou se vykonává program, ve kterém se tyto signály generují. V našem případě se jedná o 1 ms, tudíž dostaneme obdélníkový signál s periodou 2 ms. Další omezení nastává při komunikaci PLC a vstupně výstupních karet, které komunikují po sběrnici. Ta používá X2X Link protokol, který komunikuje s periodou 2 ms, tudíž si PLC každé 2 ms přečte hodnoty na vstupních kartách nebo do výstupů hodnotu zapíše. Z tohoto důvodu nelze jednou či druhou osou otáčet ručně velkou rychlostí, protože pulzy z enkodéru by PLC neregistrovalo všechny, a tak by nám odměřování nefungovalo podle našich požadavků.

5.5.1 Odměřování při manuálním pohybu

Pro ověření správného odměřování polohy pomocí enkodérů byl použit mechanický úchylkoměr, který měří na jednu setinu milimetru. Při posunutí v lineárním směru o jeden milimetr se nám pozice dané osy změnila z nuly na jedničku, což nám značí posun o jeden milimetr. Posun o jeden milimetr je na kontrolním měřidle zobrazený na malé kružnici ve středu měřidla, kde jsme se posunuli o jeden dílek za předpokladu, že netočíme vysokou rychlostí.



Obrázek 31: Ukázka ověření správnosti odměřování rotačních enkodérů (foto autor)

5.5.2 Pohyb po osách

Při použití rychloposuvu se pohybujeme vždy ve směru, v jakém požadujeme. Zde však narážíme na problém, který přinášejí krokové motory tím, že se pohybují v krocích a ne plynule. Jejich pohybem jsou vyvolány vibrace, které se přes mechanickou konstrukci modelu přenesou až k enkodéru. Tyto vibrace generují nechtěné pulsy na enkodéru, které PLC registruje, a tím špatně vyhodnocuje polohu na ose. Pro ověření ujeté vzdálenosti jsme dle enkodéru ujeli vzdálenost 50 mm, ale dle posuvného měřidla jsme ujeli vzdálenost 64 mm.

Při funkci posuvu se také pohybujeme správným směrem a při volbě parametrů obrábění, rychlosti pohybu po ose a rychlosti otáčení vřeten, se nám mění rychlost lineárního pohybu po ose. Zde však také narážíme na problém s vibracemi jako v předchozí funkci. Tudíž jsme schopni obrábět, ale nevíme, kde přesně se na ose nacházíme. Tento nedostatek se se snižující rychlostí pohybu postupně eliminuje. Při nastavené rychlosti otáčení vřetene na 28 ot/min a rychlosti pohybu po ose 0,2 mm/ot vřetene, jsme dle odměřování ujeli vzdálenost 50,005 mm, ale dle posuvného měřidla jsme ujeli vzdálenost 61 mm. Zde je již vůči rychloposuvu drobné zlepšení. Ještě lepší výsledky dostaneme při nastavení rychlosti otáčení vřetene 28 ot/min a rychlosti pohybu po ose 0,1 mm/ot vřetene. Při těchto parametrem jsme dle odměřování ujeli vzdálenost 50 mm a dle posuvného měřidla jsme ujeli vzdálenost 49,9 mm.

U funkce pozicování se pohybujeme správným směrem a dle zvolených parametrů se mění rychlost pohybu po ose, ale narážíme na problém s odměřováním. U této funkce je to však zásadní faktor, když chceme zastavit na konkrétní pozici. Pro ověření jsme nastavili stejné parametry jako u předchozí funkce. Rychlost otáčení vřetene na 28 ot/min a pohyb po ose 0,2 mm/ot vřetene. Při těchto parametrech jsme se dle odměřování posunuli o 50 mm a dle posuvného měřidla o 51,8 mm, což je poměrné zlepšení vůči funkci posuvu. Pro druhou variantu parametrů otáčení vřetene 28 ot/min a pohybem po

ose 0,1 mm/ot vřetene, jsme se dle odměřování posunuli po ose o 50 mm a dle posuvného měřidla o 50,5 mm.

5.5.3 Vyhodnocení a možné opravení nedostatků

Pokud vezmeme v potaz naše vybrané součásti, tak samotný pohyb po osách funguje pouze s omezenou rychlostí. Odměřování funguje při manuálním pohybu taktéž s omezenou rychlostí. Při odměřování při pohybu pomocí motoru nastává problém s vibracemi. Ten lze v našem případě částečně eliminovat snížením rychlosti pohybu po ose, případně dalším zjemněním kroku motoru pomocí mikrokrokování. Tím bychom však obětovali rychlost za plynulost pohybu.

Lepší variantou by bylo použití motorů a jejich ovladačů od jedné firmy kvůli zachování dokonalé kompatibility. V našem případě se jedná o firmu B&R. Pro náš model by bylo vhodné použití krokových motorů a ovladačů, které jsou popsány v kapitole 5.4. Jedním důvodem je, že se nám spojí dva elektromechanické prvky v jeden (motor a enkodér). Druhá výhoda je, že nejsme omezení komunikační rychlostí mezi PLC a ovladačem motorů. V neposlední řadě se nám výrazně zkrátí programy pro řízení těchto motorů. Automation Studio obsahuje již dříve zmíněné funkce nadefinování os. Dále pak jde použít knihovna určena přímo pro takovéto systémy. Dají se použít například bloky pro absolutní pohyb, kde se nadefinuje osa, kterou se bude pohybovat, nadefinuje se počáteční a koncový bod, dále se pak nastaví požadovaná rychlost pohybu a také se dá nadefinovat hodnota akcelerace a decelerace. Toto vše se definuje jako vstupní hodnoty jednoho bloku. Těchto bloků je zde více a usnadňují řízení podobných systémů.

6. ZÁVĚR

Cílem práce bylo navržení a zkonstruování modelu soustruhu a na něm demonstrovat jeho řízení pomocí PLC řídicího systému a námi navrženými algoritmy. V práci jsme se seznámili s hlavními částmi klasických soustruhů, s jejich požadavky a s řízením CNC soustruhů. Vybrali jsme komponenty, pomocí kterých jsme sestavili model poloautomatického soustruhu a komponenty pro jeho řízení.

Byl proveden návrh a fyzická realizace elektrického zapojení, vytvoření programů a vizualizace na dotykové obrazovce. Námi navržená sestava byla otestována v různých pracovních režimech. Při testování bylo zjištěno, že existují rychlostní omezení pohybu po osách z důvodu námi použitých komponent a mechanické konstrukce modelu.

Výsledky práce je možné využít jako inspiraci pro tvorbu pokročilejšího systému poloautomatického řízení hobby obráběcích strojů.

LITERATURA

- [1] KUNC, Antonín. *Soustruhy: popis konstrukce, obsluhy a práce na soustruzích k obrábění kovů*. Praha, 1951, Technické příručky Práce.
- [2] PÍČ, Josef. *Universální soustruh: konstrukce a výpočet*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1953.
- [3] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [4] *Sew-eurodrive.cz* [online]. 2021 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: https://www.sew-eurodrive.cz/vyrobky/motory/servomotory/servomotoren_3.html
- [5] *Tyntech.cz* [online]. 2021 [cit. 2021-20-12]. Dostupné z: <http://www.tyntech.cz/obrabeci-stroje/soustruhy/s-plc-grafikou>
- [6] *moostrading.cz* [online]. 2021 [cit. 2021-22-12]. Dostupné z: http://www.moostrading.cz/cke_soustruhy.html
- [7] *br-automation.com* [online]. 2022 [cit. 2022-12-5]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/rizeni-pohybu/acoposmicro/stepper-motor-modules/80sd100xdc011-01/>
- [8] *br-automation.com* [online]. 2022 [cit. 2022-12-5]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/products/motion-control/80mp-stepper-motors/stepper-motors-with-incremental-encoder-ip20/80mpd1300s014-01/>
- [9] *br-automation.com* [online]. 2022 [cit. 2022-12-5]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/rizeni-pohybu/8lsn-synchronous-motors/>
- [10] *br-automation.com* [online]. 2022 [cit. 2022-12-5]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/rizeni-pohybu/acopos/>
- [11] *rem-technik.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-21-5]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/pohyb-pohony-prevody/motory-a-servomotory/servomotory/servomotor-ek-177.html>
- [12] *primadilna.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-21-5]. Dostupné z: <https://www.primadilna.cz/Krokovy-motor-1-8-Nm-2-faze-priruba-Nema-23-CNC-d3854.htm>
- [13] *odbornecasopisy.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-21-5]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/ptate-se-na-linearni-motory--3022>
- [14] *cnc.inshop.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-21-5]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/posuvne-srouby-a-spojky/tr-1203-trapezovy-sroub-prumer-12-stoupani-3mm>
- [15] *mmspektrum.com* [online]. 2022 [cit. 2022-21-5]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu>

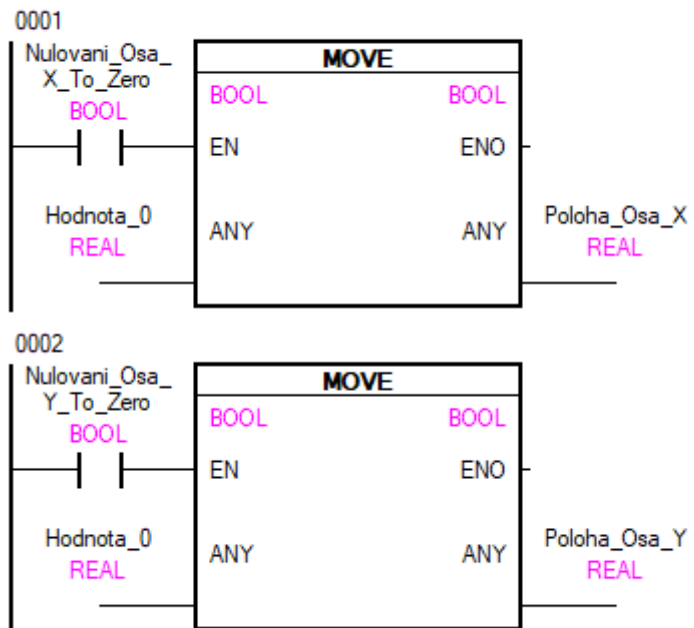
- [16] *cnc.info.pl* [online]. 2022 [cit. 2022-21-5]. Dostupné z:
<https://www.cnc.info.pl/tum-25-roznice-w-poszczegolnych-modelach-t49292.html>
- [17] *domacitechnika.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-21-5]. Dostupné z:
<https://domacitechnika.cz/spfx-1000p-soustruh-na-kov-s-digitalnim-odmerovanim-p149551/>
- [18] *hadex.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-21-5]. Dostupné z:
https://www.hadex.cz/m495b-rotacni-encoder-400pulsu-na-otacku/?gclid=EAIaIQobChMI17q5zqjw9wIVdI9oCR1JJQROEAQYBSABEgJfcPD_BwE

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - PROGRAM KALIBRACE	47
PŘÍLOHA B - PROGRAM RYCHLOPOSUVU – 1. ČÁST.....	48
PŘÍLOHA C - PROGRAM RYCHLOPOSUVU – 2. ČÁST	49
PŘÍLOHA D - PROGRAM POSUVU – 1. ČÁST.....	50
PŘÍLOHA E - PROGRAM POSUVU – 2. ČÁST	51
PŘÍLOHA F - PROGRAM POZICOVÁNÍ – 1. ČÁST.....	52
PŘÍLOHA G - PROGRAM POZICOVÁNÍ – 2. ČÁST	53
PŘÍLOHA H - PROGRAM POZICOVÁNÍ – 3. ČÁST.....	54
PŘÍLOHA I - PROGRAM POZICOVÁNÍ – 4. ČÁST.....	55
PŘÍLOHA J - PROGRAM POZICOVÁNÍ – 5. ČÁST	56
PŘÍLOHA K - PROGRAM POZICOVÁNÍ – 6. ČÁST	57
PŘÍLOHA L - PROGRAM VÝPOČTU RYCHLOSTI POHYBU KROKOVÝCH MOTORŮ	58
PŘÍLOHA M - PROGRAM NASTAVENÍ VÝSTUPŮ NA POČÁTEČNÍ STAVY.....	59
PŘÍLOHA N - BLOK PRO ABSOLUTNÍ POHYB MOTORU POMOCÍ KNIHOVNY MOTION CONTROL.....	60
PŘÍLOHA O - ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY	61

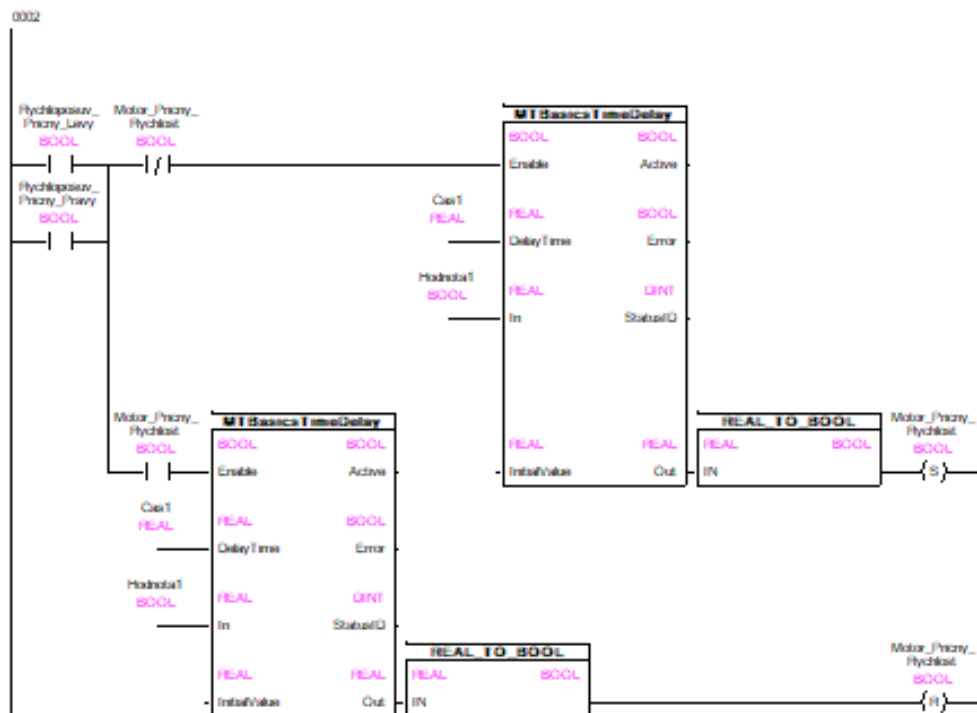
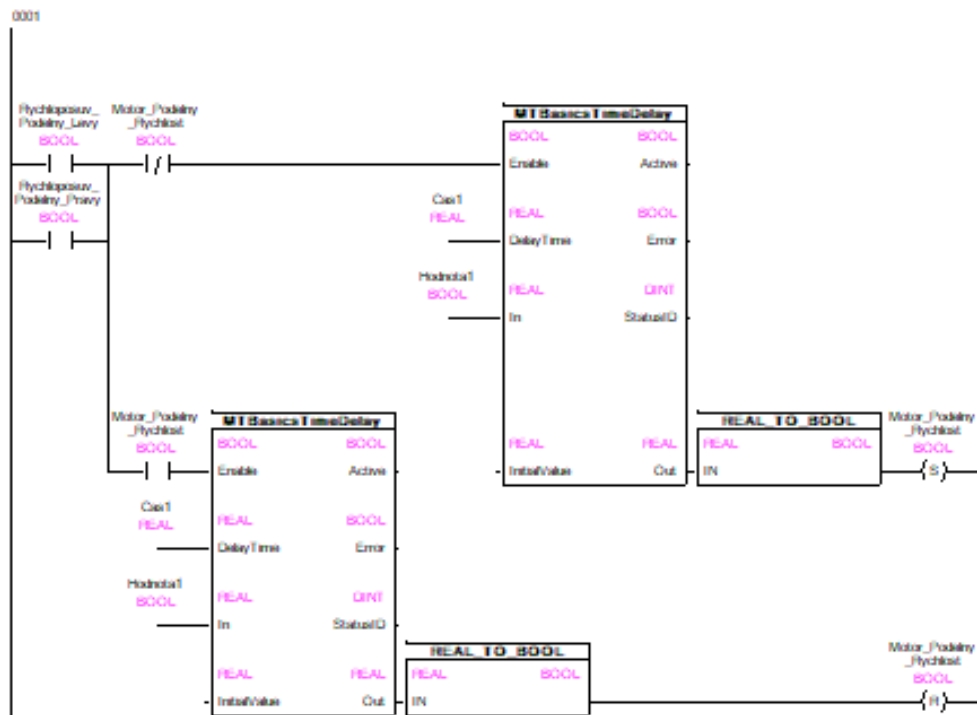
Příloha A - Program kalibrace

PROGRAM_CYCLIC

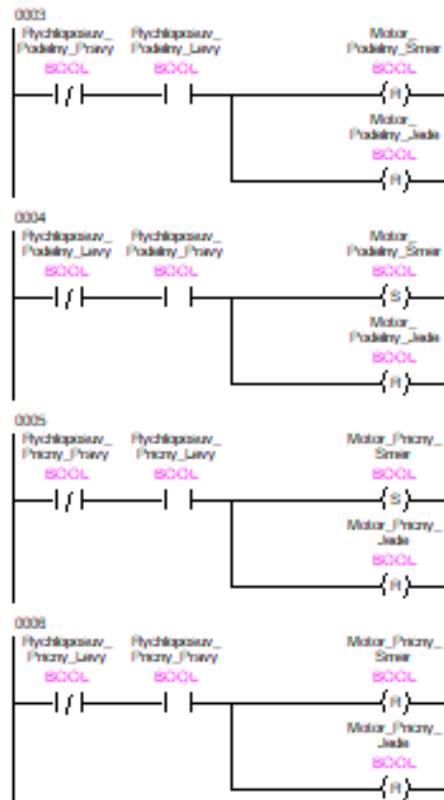


Příloha B - Program rychloposuvu – 1. část

PROGRAM_CYCLIC



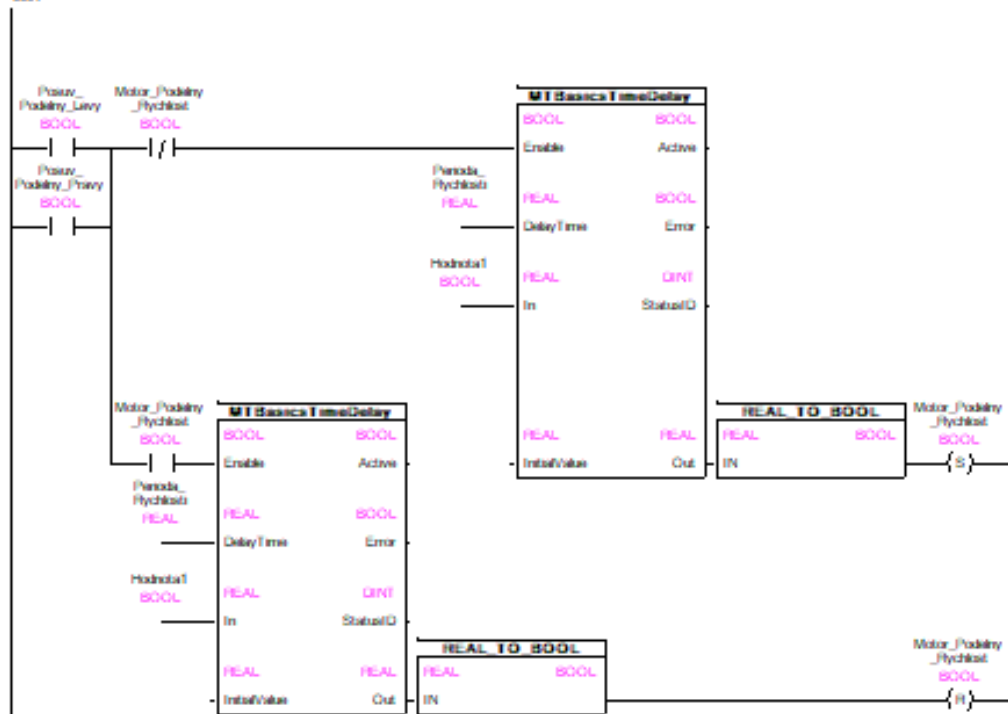
Příloha C - Program rychloposuvu – 2. část



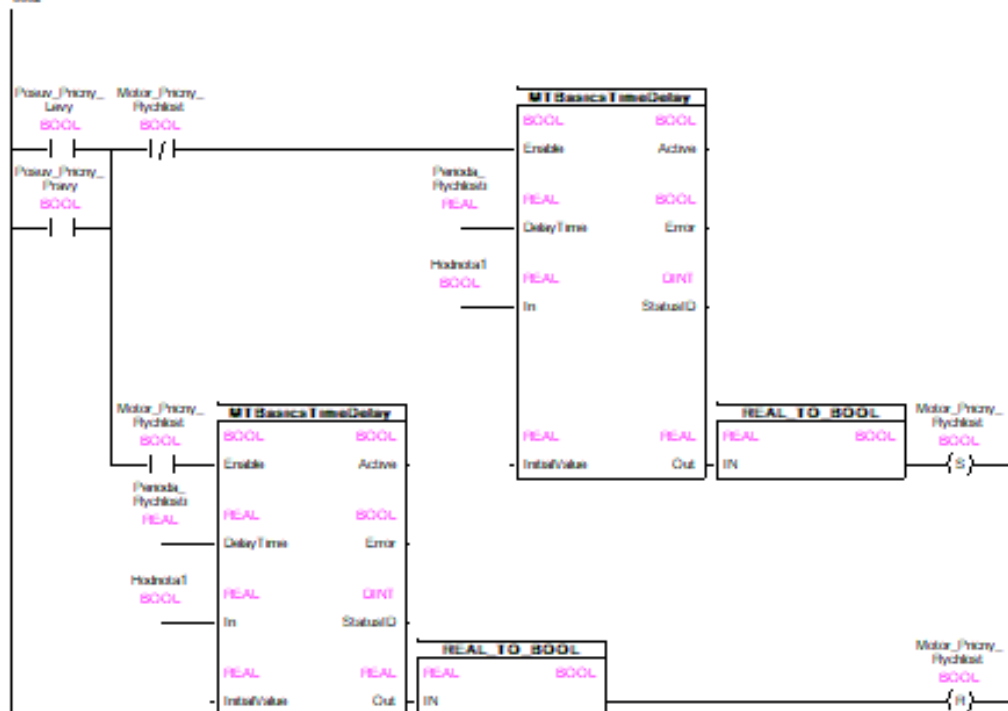
Příloha D - Program posuvu – 1. část

PROGRAM _CYCLIC

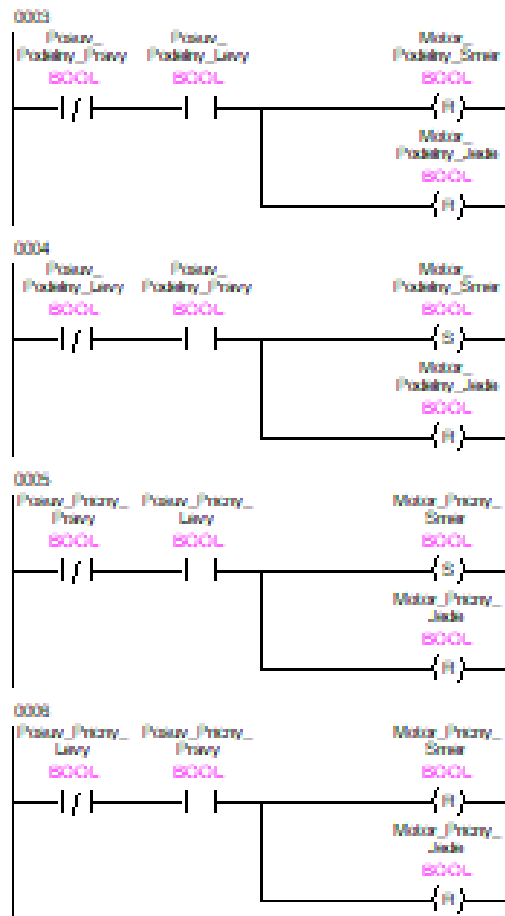
0001



0002



Příloha E - Program posuvu – 2. část



Příloha F - Program pozicování – 1. část

```
PROGRAM _CYCLIC

// Podélná osa
IF Pozicovani_Podelny = FALSE THEN
    Stav_Osa_X := 0;
    IF Nastavit_Zadanou_Pozici_Podelna = TRUE THEN
        Zadana_Pozice_Podelna := Poloha_Osa_X;
    END_IF;
END_IF;

(*Klidový stav*)
IF (Pozicovani_Podelny = TRUE) AND (Stav_Osa_X = 0) AND (Pozicovani_Prieny = FALSE) THEN
    Stav_Osa_X := 1;
END_IF;

(*Vypočtení parametrů pro pohyb*)
IF (Pozicovani_Podelny = TRUE) AND (Stav_Osa_X = 1) THEN

    Kroky_Celkem_Osa_X := ABS((Poloha_Osa_X - Zadana_Pozice_Podelna) * 400);
    Kroky_Zrychleni_Osy_X := SQRT(((1/Perioda_Rychlosti)));

    IF Kroky_Zrychleni_Osy_X > (Kroky_Celkem_Osa_X/2) THEN
        Kroky_Zrychleni_Osy_X := (Kroky_Celkem_Osa_X/2) - 5;
    END_IF;

    Kroky_Zpomaleni_Osy_X := Kroky_Zrychleni_Osy_X + 10;

    IF (Poloha_Osa_X - Zadana_Pozice_Podelna) < 0 THEN
        Motor_Podelny_Smer := FALSE;
    ELSE
        Motor_Podelny_Smer := TRUE;
    END_IF;

    Motor_Podelny_Jede := FALSE;
    Aktualni_Rychlost_Osa_X := Minimalni_Rychlost;
    Aktualni_Krok_Osa_X := 0;
    Krok := 1;

    TimeDelay_1.IN := 0;
    TimeDelay_2.IN := 1;
    Time1.Enable := 0;
    Time2.Enable := 0;

    Stav_Osa_X := 2;
END_IF;
```

Příloha G - Program pozicování – 2. část

```
(*Začnutí pohybu*)
IF (Pozicovani_Poddelny = TRUE) AND (Stav_Osa_X = 2) THEN

    IF Motor_Poddelny_Rychlost = FALSE THEN

        Time1.DelayTime := Aktualni_Rychlost_Osa_X;
        Time1.Enable := TRUE;
        Time1.In := 1;
        Time1();

        IF Time1.Out = 1 THEN
            Motor_Poddelny_Rychlost := TRUE;
            Time1.Enable := FALSE;
            Time1();

            Aktualni_Krok_Osa_X := Aktualni_Krok_Osa_X + 1;
        END_IF;

    ELSE

        Time2.DelayTime := Aktualni_Rychlost_Osa_X;
        Time2.Enable := TRUE;
        Time2.In := 1;
        Time2();

        IF Time2.Out = 1 THEN
            Motor_Poddelny_Rychlost := FALSE;
            Time2.Enable := FALSE;
            Time2();

        END_IF;
    END_IF;

(*Zvyšování rychlosti*)
IF Aktualni_Krok_Osa_X < Kroky_Zrychleni_Osy_X THEN
    Aktualni_Rychlost_Osa_X := Aktualni_Rychlost_Osa_X / 2;

    IF Aktualni_Rychlost_Osa_X < Perioda_Rychlosti THEN
        Aktualni_Rychlost_Osa_X := Perioda_Rychlosti;
    END_IF;
END_IF;
```

Příloha H - Program pozicování – 3. část

```
IF Motor_Podelny_Smar = FALSE THEN
  (*Snižování rychlosti*)
  IF Poloha_Osa_X > Zadana_Pozice_Podelna - 0.005 THEN
    Aktualni_Rychlost_Osa_X := Aktualni_Rychlost_Osa_X * 2;

    IF Aktualni_Rychlost_Osa_X > Minimalni_Rychlost THEN
      Aktualni_Rychlost_Osa_X := Minimalni_Rychlost;
    END_IF;
  END_IF;

  (*Kontrola najetí do žádané pozice*)
  IF Poloha_Osa_X >= Zadana_Pozice_Podelna - 0.0025 THEN
    Motor_Podelny_Jede := TRUE;
    Motor_Podelny_Rychlost := FALSE;
    Pozicovani_Podelny := FALSE;
    Stav_Osa_X := 0;
  END_IF;

ELSE
  (*Snižování rychlosti*)
  IF Poloha_Osa_X - 0.005 < Zadana_Pozice_Podelna THEN
    Aktualni_Rychlost_Osa_X := Aktualni_Rychlost_Osa_X * 2;

    IF Aktualni_Rychlost_Osa_X > Minimalni_Rychlost THEN
      Aktualni_Rychlost_Osa_X := Minimalni_Rychlost;
    END_IF;
  END_IF;

  (*Kontrola najetí do žádané pozice*)
  IF Poloha_Osa_X <= Zadana_Pozice_Podelna + 0.0025 THEN
    Motor_Podelny_Jede := TRUE;
    Motor_Podelny_Rychlost := FALSE;
    Pozicovani_Podelny := FALSE;
    Stav_Osa_X := 0;
  END_IF;

END_IF;

END_IF;
```

Příloha I - Program pozicování – 4. část

```
// Příčná osa
IF (Pozicovani_Pricny = FALSE) THEN
  Stav_Osa_Y := 0;
  IF Nastavit_Zadanou_Pozici_Pricna = TRUE THEN
    Zadana_Pozice_Pricna := Poloha_Osa_Y;
  END_IF;
END_IF;

(*Klidový stav*)
IF (Pozicovani_Pricny = TRUE) AND (Stav_Osa_Y = 0) AND (Pozicovani_Podelnny = FALSE) THEN
  Stav_Osa_Y := 1;
END_IF;

(*Vypočtení parametrů pro pohyb*)
IF (Pozicovani_Pricny = TRUE) AND (Stav_Osa_Y = 1) THEN

  Kroky_Celkem_Osa_Y := ABS((Poloha_Osa_Y - Zadana_Pozice_Pricna) * 400);
  Kroky_Zrychleni_Osa_Y := SQRT(((1/Perioda_Rychlosti)));

  IF Kroky_Zrychleni_Osa_Y > (Kroky_Celkem_Osa_Y/2) THEN
    Kroky_Zrychleni_Osa_Y := (Kroky_Celkem_Osa_Y/2) - 5;
  END_IF;

  Kroky_Zpomaleni_Osa_Y := Kroky_Zrychleni_Osa_Y + 10;

  IF (Poloha_Osa_Y - Zadana_Pozice_Pricna) < 0 THEN
    Motor_Pricny_Smer := FALSE;
  ELSE
    Motor_Pricny_Smer := TRUE;
  END_IF;

  Motor_Pricny_Jede := FALSE;
  Aktualni_Rychlost_Osa_Y := Minimalni_Rychlost;
  Aktualni_Krok_Osa_Y := 0;
  Krok := 1;

  TimeDelay_1.IN := 0;
  TimeDelay_2.IN := 1;
  Time1.Enable := 0;
  Time2.Enable := 0;

  Stav_Osa_Y := 2;
END_IF;
```

Příloha J - Program pozicování – 5. část

```
(*Začnutí pohybu*)
IF (Pozicovani_Pricny = TRUE) AND (Stav_Osa_Y = 2) THEN

    IF Motor_Pricny_Rychlost = FALSE THEN

        Time1.DelayTime := Aktualni_Rychlost_Osa_Y;
        Time1.Enable := TRUE;
        Time1.In := 1;
        Time1();

        IF Time1.Out = 1 THEN
            Motor_Pricny_Rychlost := TRUE;
            Time1.Enable := FALSE;
            Time1();

            Aktualni_Krok_Osa_Y := Aktualni_Krok_Osa_Y + 1;
        END_IF;

    ELSE

        Time2.DelayTime := Aktualni_Rychlost_Osa_Y;
        Time2.Enable := TRUE;
        Time2.In := 1;
        Time2();

        IF Time2.Out = 1 THEN
            Motor_Pricny_Rychlost := FALSE;
            Time2.Enable := FALSE;
            Time2();

        END_IF;
    END_IF;

    (*Zvyšování rychlosti*)
    IF Aktualni_Krok_Osa_Y < Kroky_Zrychleni_Osa_Y THEN
        Aktualni_Rychlost_Osa_Y := Aktualni_Rychlost_Osa_Y / 2;

        IF Aktualni_Rychlost_Osa_Y < Perioda_Rychlosti THEN
            Aktualni_Rychlost_Osa_Y := Perioda_Rychlosti;
        END_IF;
    END_IF;
```


Příloha K - Program pozicování – 6. část

```
IF Motor_Pricny_Smer = FALSE THEN
  (*Snižování rychlosti*)
  IF Poloha_Osa_Y > Zadana_Pozice_Pricna - 0.005 THEN
    Aktualni_Rychlost_Osa_Y := Aktualni_Rychlost_Osa_Y * 2;

    IF Aktualni_Rychlost_Osa_Y > Minimalni_Rychlost THEN
      Aktualni_Rychlost_Osa_Y := Minimalni_Rychlost;
    END_IF;
  END_IF;

  (*Kontrola najetí do žádané pozice*)
  IF Poloha_Osa_Y >= Zadana_Pozice_Pricna - 0.0025 THEN
    Motor_Pricny_Jede := TRUE;
    Motor_Pricny_Rychlost := FALSE;
    Pozicovani_Pricny := FALSE;
    Stav_Osa_Y := 0;
  END_IF;
ELSE
  (*Snižování rychlosti*)
  IF Poloha_Osa_Y - 0.005 < Zadana_Pozice_Pricna THEN
    Aktualni_Rychlost_Osa_Y := Aktualni_Rychlost_Osa_Y * 2;

    IF Aktualni_Rychlost_Osa_Y > Minimalni_Rychlost THEN
      Aktualni_Rychlost_Osa_Y := Minimalni_Rychlost;
    END_IF;
  END_IF;

  (*Kontrola najetí do žádané pozice*)
  IF Poloha_Osa_Y <= Zadana_Pozice_Pricna + 0.0025 THEN
    Motor_Pricny_Jede := TRUE;
    Motor_Pricny_Rychlost := FALSE;
    Pozicovani_Pricny := FALSE;
    Stav_Osa_Y := 0;
  END_IF;
END_IF;

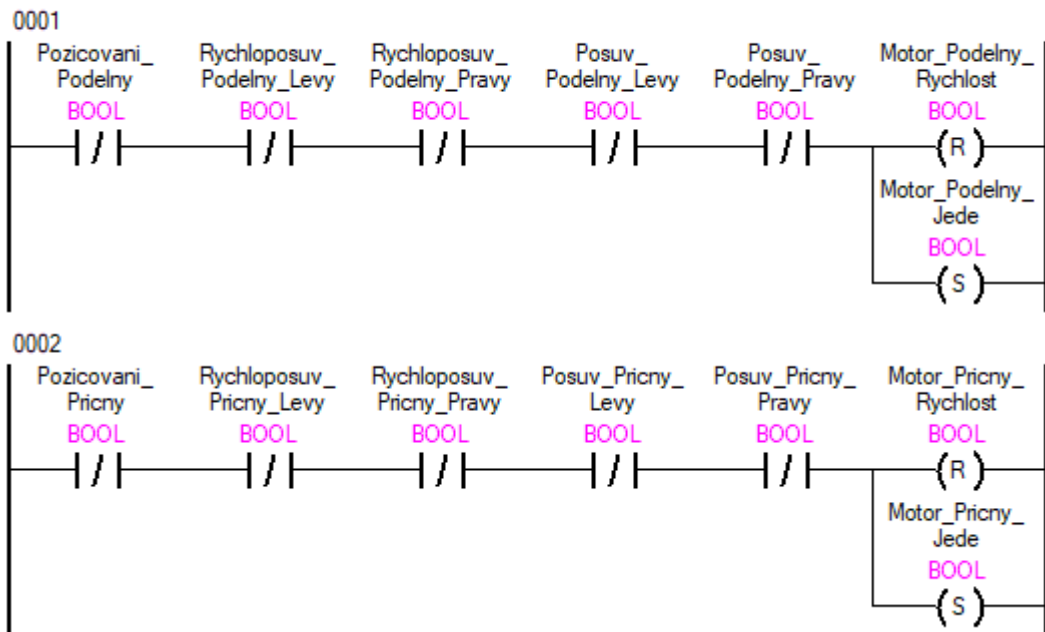
END_IP;
END_PROGRAM
```

Příloha L - Program výpočtu rychlosti pohybu krokových motorů

```
PROGRAM _CYCLIC
    Perioda_Rychlosti := 60/(Otacky_Vretene[Index_Otacky_Vretene] * Rezna_Rychlost[Index_Rezna_Rychlost] * Pocet_Kroku_Na_Otacku);
    IF Perioda_Rychlosti < 0.001 THEN
        Perioda_Rychlosti := 0.001;
    END_IF;
END_PROGRAM
|
```

Příloha M - Program nastavení výstupů na počáteční stavy

PROGRAM_CYCLIC



Příloha N - Blok pro absolutní pohyb motoru pomocí knihovny Motion Control

0001

MC MoveAbsolute	
BOOL	BOOL
EN	ENO
REFERENC ...	BOOL
Axis	Done
BOOL	BOOL
Execute	Busy
REAL	BOOL
Position	Active
REAL	BOOL
Velocity	Command Aborted
REAL	BOOL
Acceleration	Error
REAL	DINT
Deceleration	ErrorID
REAL	
Jerk	
Mc Direction ...	
Direction	
Mc BufferMo ...	
BufferMode	

Příloha O - Elektronické přílohy

1. Projekt
 - 1.1. As
 - 1.2. Binaries
 - 1.3. Diagnosis
 - 1.4. Logical
 - 1.5. Physical
 - 1.6. Temp
 - 1.7. LastUser.set
 - 1.8. Petr.set
 - 1.9. Test.apj
2. Compact Flash
 - 2.1. DATA1
 - 2.2. DATA2
 - 2.3. SYSTEM
3. Raport z Automation Studia