

Automatizovaná korekce výsuvného vřeteníku horizontálního obráběcího stroje

Bc. Martin Ministr

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Martin Ministr
Osobní číslo: A22322
Studijní program: N0714A150006 Automatické řízení a informatika v průmyslu 4.0
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Automatizovaná korekce výsuvného vřeteníku horizontálního obráběcího stroje
Téma práce anglicky: Automated correction of the retractable spindle of a horizontal machine tool

Zásady pro vypracování

1. Proveďte analýzu současného stavu korekce vybočení výsuvného vřeteníku obráběcího stroje WFT 13R.
2. Proveďte literární rešerši z oblasti řídicích systémů CNC obráběcích strojů.
3. Navrhněte způsob automatizovaného postupu kompenzace vybočení vřeteníku zahrnující postupné měření vybočení a výpočet akčního zásahu pro proporční ventil.
4. Vytvořte a odlaďte programové vybavení pro činnosti uvedené v předchozím bodu a v případě přístupu do CNC řídicího systému jej do řešení zahrňte.
5. Navržený způsob automatizované kompenzace vybočení vřeteníku ověřte a zhodnoťte.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- 1.The History of Computer Numerical Control. *INSTITUTE OF TECHNICAL TRADES* [online]. 2016 [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.instituteoftechnicaltrades.com/post/history-computer-numerical-control>
- 2.Probing and tool measurement systems for machine tools. *RENISHAW* [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/en/probing-and-tool-measurement-systems-for-machine-tools-6073>
- 3.Historie FANUC. *FANUC*. *FANUC* [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsme/fanuc-historie>
- 4.CNC Programming: How CNC Machine Programming Works? *WAYKEN RAPID MANUFACTURING* [online]. 2023 [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://waykenrm.com/blogs/cnc-machine-programming/>
- 5.*PROGRAMOVÁNÍ A ŘÍZENÍ CNC STROJŮ* [online]. Liberec, 2005 [cit. 2023-11-05]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce: **8. prosince 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2024**



doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 21.5.2024

Martin Ministr, v.r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem Diplomové práce je automatizace kompenzace výchyly výsuvného vřeteníku horizontálního obráběcího stroje. V současné době je tato činnost realizována v podstatě ručním postupem tak, že se vřeteník vysouvá po menších vzdálenostech až na vzdálenost maximálního výsuvu a ručně se zapisují hodnoty poklesu v jednotlivých bodech. Následně se podle naměřených hodnot nastaví hodnota analogového výstupu PLC. Tento výstup je napojen na proporcionální ventil, jenž ovládá píst, který tlačí na vřeteník a tím jej vyrovnává, aby nedocházelo k jeho padání. Po nastavení hodnot v PLC se opět provádí měření, aby se zjistilo, jestli nastavené hodnoty jsou dostatečné nebo je potřeba je ještě změnit. Tento proces se musí několikrát opakovat, než dojde k uspokojivému výsledku. Výsledek řešení DP by měl přispět k automatizaci popsaného postupu s cílem doplnit zařízení měřicím přístrojem (obrobkovou sondou) s tím, že by naměřená data byla ukládána do CNC systému stroje, odkud by se informace o korekci posílala do PLC a tam by se podle nich upravovala hodnota analogového výstupu pro proporcionální ventil.

Klíčová slova: CNC, Fanuc, Heidenhain, Siemens, PLC

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is the automation of the compensation of the deflection of the spindle of the sliding spindle of a horizontal machine tool. At present, this is basically done manually by extending the spindle over smaller distances up to the maximum extension distance and manually recording the drop values at individual points. The analogue output of the PLC is then adjusted according to the measured values. This output is connected to a proportional valve which controls the piston that pushes on the spindle, thus balancing it to prevent it from falling. After setting the values in the PLC, measurements are again made to see if the set values are sufficient or if they need to be changed. This process must be repeated several times before a satisfactory result is obtained. The result of the DP solution should contribute to the automation of the described procedure with the aim of adding a measuring device (workpiece probe) to the machine, where the measured data would be stored in the CNC system of the machine, from where the correction information would be sent to the PLC and the value of the analogue output for the proportional valve would be adjusted accordingly.

Keywords: CNC, Fanuc, Heidenhain, Siemens, PLC

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Vladimíru Vaškovi, CSc. Za cenné rady a připomínky při řešení této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE	11
1.1 BLOKOVÉ SCHÉMA CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE	11
1.2 FUNGOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE	12
1.3 VÝHODY A NEVÝHODY CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	13
1.4 HISTORIE CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	13
1.5 ROZDĚLENÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	14
1.5.1 Rozdělení podle jejich specializace	14
1.5.2 Rozdělení podle počtu současně řízených os	14
1.5.3 Rozdělení podle druhu operace	16
2 PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	17
2.1 FORMÁT JEDNOHO ŘÁDKU PROGRAMU	17
2.2 ZPŮSOBY CNC PROGRAMOVÁNÍ	17
2.2.1 Ruční CNC programování.....	17
2.2.2 Konverzační programování.....	18
2.2.3 Programování CAD/CAM	18
2.3 FUNKCE PRO PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJE	18
2.3.1 G – funkce	18
2.3.2 M – funkce	18
2.3.3 Další funkce	18
2.4 VÝZNAM RŮZNÝCH FUNKCÍ.....	19
3 ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY CNC STROJŮ	20
3.1 VÝVOJOVÉ STUPNĚ ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ	20
3.1.1 Stroje 1. vývojového stupně.....	20
3.1.2 Stroje 2. vývojového stupně.....	20
3.1.3 Stroje 3. vývojového stupně.....	20
3.1.4 Stroje 4. vývojového stupně.....	20
3.1.5 Stroje 5. vývojového stupně.....	20
3.1.6 Stroje 6. vývojového stupně.....	21
3.1.7 Řídící systémy v dnešní době.....	21
3.2 DALŠÍ DĚLENÍ ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ	21
3.2.1 Řídící systémy s absolutním programováním	21
3.2.2 Řídící systémy s přírůstkovým programováním	21
3.3 ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY FIRMY FANUC	21
3.4 ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY FIRMY SIEMENS	22
3.5 ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY FIRMY HEIDENHAIN	23
4 MĚŘÍCÍ SYSTÉMY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	24
4.1 OBROBKOVÁ SONDA RMP60	24
5 PROPORCIONÁLNÍ VENTIL	25
6 ANALOGOVÁ VÝSTUPNÍ KARTA	26
7 PLC	27

7.1	PRINCIP ČINNOSTI PLC.....	27
7.2	PROGRAMOVACÍ JAZYK LADDER DIAGRAM (LD)	27
II PRAKTICKÁ ČÁST		28
8	POPIS PROBLÉMU	29
8.1	SOUČASNÉ ŘEŠENÍ – MĚŘENÍ	29
8.2	SOUČASNÉ MĚŘENÍ – PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....	30
9	NÁVRH NOVÉHO ŘEŠENÍ.....	32
9.1	POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ SYSTÉMU.....	33
10	PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....	38
10.1	ČÁST PRO CNC SYSTÉM	38
10.1.1	Hlavní program	39
10.1.2	Podprogram pro hrubé měření	39
10.1.3	Podprogram pro nalezení rozsahu napětí	41
10.1.4	Podprogram pro jemné měření.....	42
10.1.5	Podprogram pro určení akčního zásahu	43
10.1.6	Podprogram pro výpočet směrnice přímky	43
10.1.7	Odeslání hodnot z CNC paměti do PLC	44
10.2	ČÁST PRO PLC	45
10.2.1	Ukládání dat v PLC	45
10.2.2	Výběr vhodných dat pro výpočet akčního zásahu.....	46
10.2.3	Matematické operace v PLC	46
10.2.4	Zápis výsledných dat.....	46
11	MĚŘENÍ.....	47
11.1	MĚŘENÍ VYBOČENÍ PŘI NULOVÉM AKČNÍM ZÁSAHU	47
11.2	MĚŘENÍ V CELÉM ROZSAHU AKČNÍHO ZÁSAHU	48
11.3	MĚŘENÍ A URČENÍ AKČNÍHO ZÁSAHU	51
11.4	KONTROLNÍ MĚŘENÍ.....	56
12	HMI PROSTŘEDÍ	58
ZÁVĚR		60
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		61
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		66
SEZNAM OBRÁZKŮ		67
SEZNAM TABULEK.....		69
SEZNAM PŘÍLOH.....		70

ÚVOD

Tato práce se zabývá automatizací korekce výchyly výsuvného vřeteníku horizontálního obráběcího stroje.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část práce se věnuje obecnému popisu CNC stroje a jeho fungování. Dále je zde uvedena historie CNC stroje a rozdělení podle několika různých kritérií. Následuje část o programování CNC strojů a poté se v této části práce pojednává o řídicích systémech CNC strojů. Detailněji jsou zde popsány řídicí systémy Fanuc, Heidenhain a Siemens. Poté je zde popis dalších součástí, které jsou použity pro řešení této práce. Je to popis obrobkové sondy, proporcionálního ventilu, analogové výstupní karty a obecný popis PLC.

Praktická část nejprve pojednává o daném problému a jeho současným řešením. Následuje návrh nového řešení pro korekci vybočení. Dále je zde uveden podrobný popis jednotlivých procedur, které se při měření a následné korekci vykonávají. Následuje část, ve které jsou zobrazena naměřená data, výsledné hodnoty akčního zásahu a následně data, která byla naměřena při kontrolním měření. V závěru praktické části je možné nalézt popis HMI prostředí, které bylo vytvořeno pro případnou korekci výsledných hodnot anebo pro servisní zásahy u zákazníka.

Součástí práce je i příloha, která obsahuje hlavní NC program pro nalezení vhodného akčního zásahu.

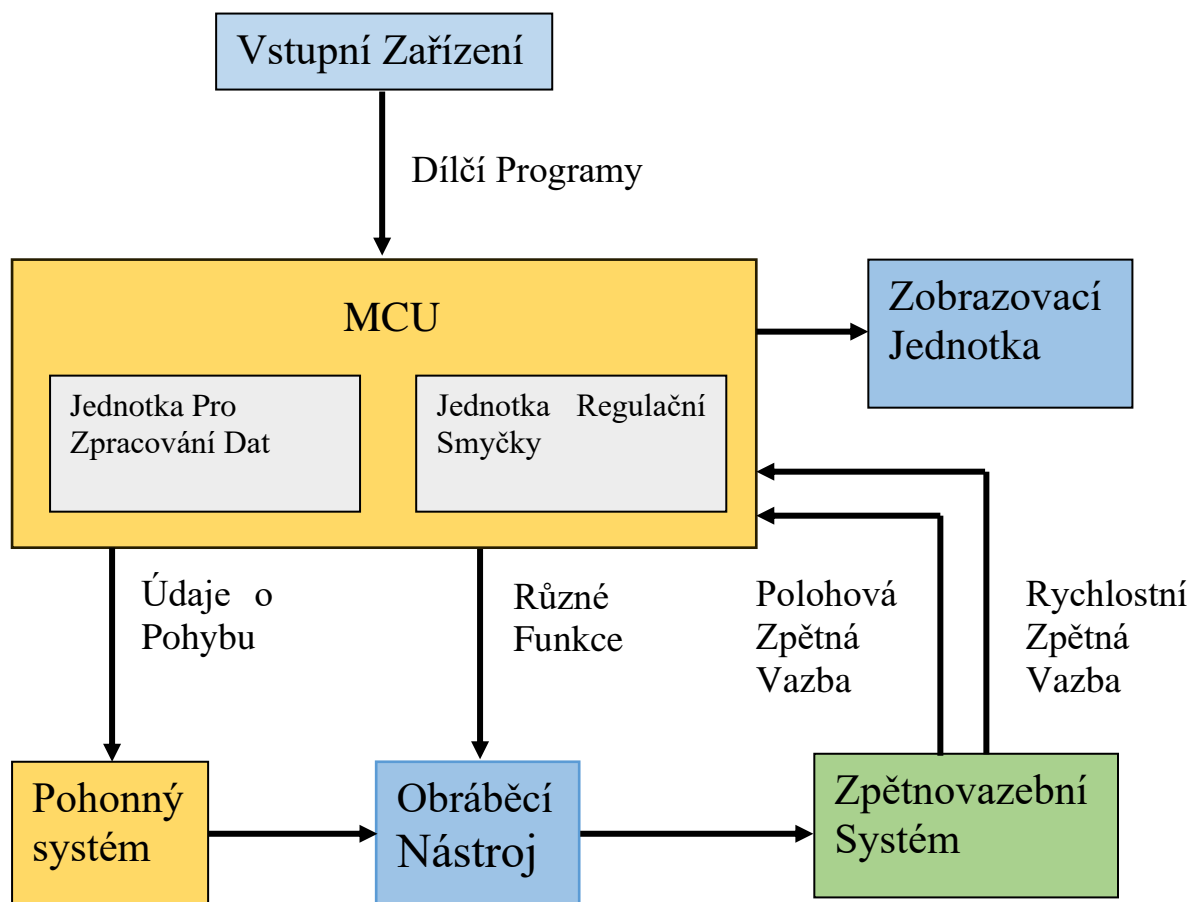
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE

Zkratka CNC znamená Computer Numerical Control. Do češtiny je tato zkratka překládána jako počítačové číslicové řízení. Pomocí CNC můžeme automatizovat řízení, pohyb a přesnost obráběcích strojů tak, abychom dokázali obrábět výrobek podle předem definovaných kritérií. Tyto obráběcí stroje jsou plně řízené počítači a ovládání pracovních funkcí je realizováno řídicím systémem pomocí předem vytvořeného programu. [1], [2]

1.1 Blokové schéma CNC obráběcího stroje

Na následujícím obrázku je uvedeno zjednodušené blokové schéma CNC obráběcího stroje:



Obrázek 1. Zjednodušené schéma CNC obráběcího stroje [10]

Popis jednotlivých částí:

1. Vstupní zařízení
 - Je zodpovědné za načítání CNC programů do systému stroje
 - Vstupním zařízením může být například klávesnice anebo USB disk pro přenos programů

2. Řídicí jednotka stroje (MCU)
 - Klíčová součást CNC stroje
 - Načítá jednotlivé příkazy programu a převádí je do instrukcí, které následně stroj vykonává
3. Pohonný systém
 - Je složený z motorů, které jsou zodpovědné za pohyb nástroje v jednotlivých osách stroje
 - Servomotor otáčí kuličkovým šroubem a následně dochází k pohybu vřetene nebo lože
4. Obráběcí nástroj
 - Vykonává různé procesy na obrobcích (vrtání, frézování, ...)
5. Zpětnovazební systém
 - Zajišťuje zpětnou vazbu o poloze dané osy
 - Je tvořen lineárními nebo rotačními enkodéry, které se připojují přímo k motoru
6. Zobrazovací jednotka
 - Obrazovka, která poskytuje důležité informace pro obsluhu stroje
 - Umožňuje komunikaci mezi operátorem a CNC strojem

[10]

1.2 Fungování CNC obráběcího stroje

Nejprve se napíše program pro daný výrobek. Tento program je složený z tzv. G a M kódů. Tento program se poté pomocí vstupního zařízení vloží do řídicí jednotky stroje. Následně řídicí systém stroje vyšle ke stroji příkaz – například pohyb některé z os stroje. Pohonný systém dané osy pak přijímá pohybové instrukce z řídicí jednotky a na základě těchto instrukcí řídí pohyb a rychlost dané osy. Pomocí systému zpětné vazby jsou informace o pohybu a rychlosti zasílány pomocí zpětnovazebního mechanismu zpět do řídicí jednotky stroje. V řídicí jednotce dochází k porovnání těchto signálů se žádanými hodnotami a následně korekci vysílaného signálu. [2],[10]

1.3 Výhody a nevýhody CNC obráběcích strojů

CNC obráběcí stroje mají spoustu výhod, ale také nějaké nevýhody. Shrnutí těchto výhod a nevýhod je popsáno v následující tabulce:

Tabulka 1. Výhody a nevýhody CNC obráběcích strojů [10], [11]

VÝHODY CNC STROJŮ	NEVÝHODY CNC STROJŮ
Výroba velmi složitých součástí	Vysoké pořizovací a servisní náklady
Úspora času a snížení prostojů ve výrobě	Kvalifikovaný personál pro vytváření programů
Vysoká přesnost a opakovatelnost	Další náklady na vybavení stroje (měřicí zařízení, dopravní a manipulační zařízení)
Vhodné pro sériovou výrobu	Nevhodné pro jednorázové obrobky

1.4 Historie CNC obráběcích strojů

Počátky CNC obrábění sahají až do průmyslové revoluce v 19. století, kdy dochází ke vzniku metody třískového obrábění. Ve 40. letech vzniká myšlenka číslicového řízení. První číslicově řízené stroje byly použity na počátku 50. let 20. století. Tyto stroje byly řízené pomocí děrných pásek. V 60. letech dochází k propojení NC systémů pomocí integrovaných obvodů. V roce 1972 dochází společností FANUC k vytvoření prvního CNC obráběcího centra. Toto centrum bylo založeno na technologii počítačového číslicového řízení. V dalších letech dochází k modernizaci strojů za pomoci mikro počítačových struktur na bázi CNC/PLC. Do strojů jsou taktéž přidávány senzory pro sledování pohybu objektů. V 90. letech je prováděno zpřesňování obrábění. Společnost Siemens uvádí na trh CNC systém Sinumerik se zabudovanými bezpečnostními prvky. V tomto období firma Heidenhein začíná používat rozhraní EnDat pro snímání polohy. V současné době dochází v oblasti CNC strojů k integraci CAD/CAM systémů, implementace umělé inteligence a k rozvoji digitálních dvojčat. [3], [4]

1.5 Rozdělení CNC obráběcích strojů

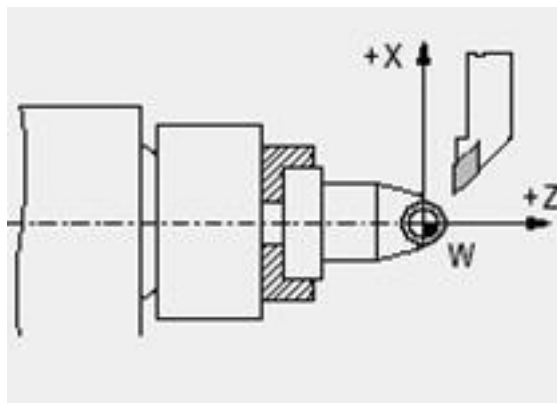
CNC stroje můžeme dělit podle několika kritérií. Číslicově řízené obráběcí stroje mohou být děleny například podle jejich specializace, podle počtu současně řízených os anebo podle druhu operace. [5], [6]

1.5.1 Rozdělení podle jejich specializace

1. Jednoprofesní – mohou vykonávat pouze jeden druh operace při jednom upnutí obrobku, patří sem například soustruhy, frézy, brusky, ...
2. Víceprofesní – na obrobku se může provádět více operací při jednom upnutí. Tyto stroje se označují jako obráběcí centra. [5], [6]

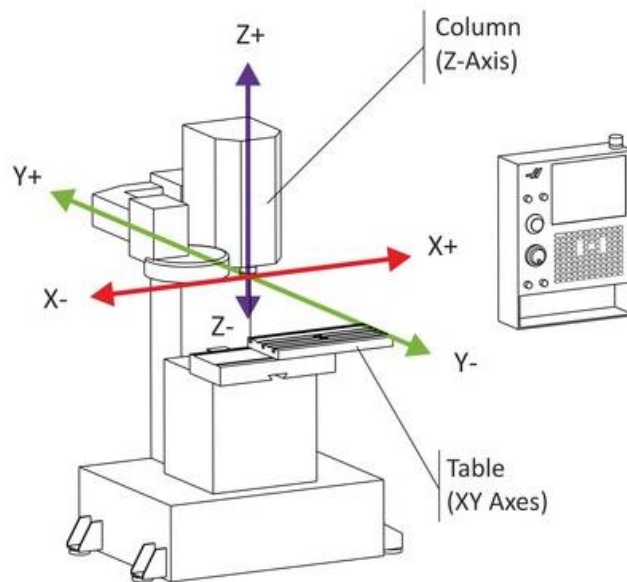
1.5.2 Rozdělení podle počtu současně řízených os

1. Jednoosé obrábění 1D – stroj vykonává pohyb pouze ve směru jedné osy (vrtačky). [5], [6]
2. Dvouosé obrábění 2D – řízení dvou os najednou (soustruhy), umožňuje pohyb v osách X – Z. [5], [6]



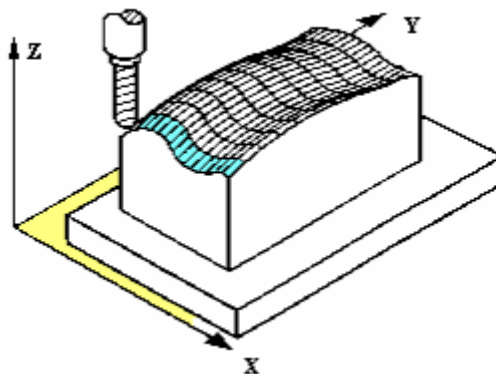
Obrázek 2. Souřadný systém soustruhu [7]

3. Dvou a půl osé obrábění 2,5D – umožňuje provádět kruhovou nebo lineární interpolaci v rovině X-Y, X-Z nebo Y-Z. Nejprve se najede na hloubku řezu (osa Z) a poté se obrábí v osách X-Y (frézky).[5], [6]



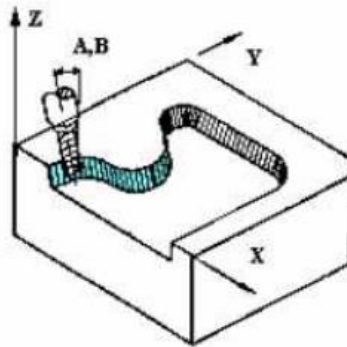
Obrázek 3. Souřadný systém frézky [8]

4. Tříosé obrábění 3D – umožňuje obrábět v současně v osách X-Y-Z (frézky).[5], [6]



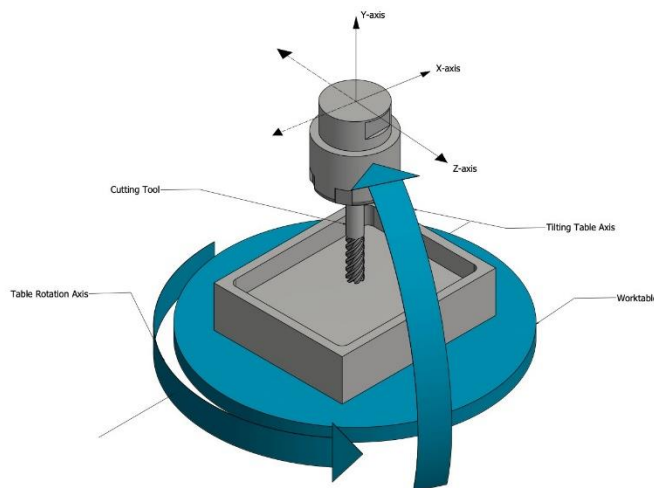
Obrázek 4. Souřadný systém tříosého obrábění [37]

5. Čtyřosé obrábění 4D – je zde umožněná rotace okolo os X, Y, Z, nástroj nebo obrobek mohou být různě naklopeny. [5],[6]



Obrázek 5. Souřadný systém čtyřosého obrábění [37]

6. Pětiosé obrábění 5D – umožňuje obrábění nejsložitějších a komplexních tvarů například lopatek turbín, tyto stroje jsou schopny provádět rotaci okolo os X a Y. [5],[6]



Obrázek 6. Souřadný systém pětiosého obrábění[9]

1.5.3 Rozdělení podle druhu operace

V této kategorii dělíme číslicově řízené obráběcí stroje na:

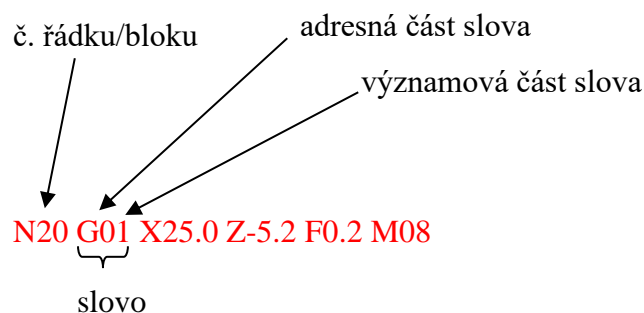
- Vrtací a závitovací
- Vyvrtávací
- Soustružnické
- Frézovací
- Brousící
- Ozubárenské

2 PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Programování je proces psaní kódu nebo sady instrukcí, které mohou být použity k řízení CNC strojů. Struktura programu a formát jednotlivých řádků je dán normou ISO 6983. Každý program je složený z řady bloků. NC program musí začínat číslem programu, pod kterým je i uložen v paměti stroje. Poté je v programu provedeno nastavení nulového bodu obrobku, nástroje a jeho korekce. V další části programu jsou již uvedeny příkazy pro samotné obrábění. Tato část se několikrát opakuje z důvodů změny řezných podmínek anebo výměny nástroje. Program samotný je ukončen funkcí M30. [11],[12]

2.1 Formát jednoho řádku programu

Každý řádek programu je složený z několika prvků. Začíná písmenem N, což označuje číslo konkrétního řádku. Dále řádek obsahuje slova. Tato slova jsou tvořena ze dvou částí. Jsou to části adresná, tato část je tvořena jedním písmenem (např. G, M, X, Y, ..) a částí významovou (posloupnost číslic). Tyto části se ve slově od sebe nijak neoddělují. Jednotlivá slova jsou od sebe oddělena alespoň jednou mezerou. [11]



Obrázek 7. Ukázka řádku NC programu [11]

2.2 Způsoby CNC programování

Pro psaní NC programů můžeme využít několik různých způsobů. Těmito způsoby jsou ruční programování, konverzační programování a programování CAM.

2.2.1 Ruční CNC programování

Jedná se o nejzákladnější způsob programování. Provádí se ručním zadáváním příkazů přímo do CNC stroje. Nebo se program vytvoří na jiném zařízení a následně se do stroje nahraje. Tento způsob programování je vhodný při obrábění jednoduchých součástí, neboť je tento způsob pracný a může docházet k chybám. [12]

2.2.2 Konverzační programování

Umožňuje zadávat příkazy v jednoduché angličtině. Systém pokládá operátorovi řadu řízených otázek. Tento způsob programování je rychlejší a jednodušší než ruční programování, a taktéž se hodí spíše pro jednoduché úlohy. [12]

2.2.3 Programování CAD/CAM

Jedná se o jeden z nejčastěji používaných způsobů programování. Při tomto způsobu dochází k převedení CAD výkresu do SW CAM. Zde následně dojde k definici dráhy nástroje a na základě těchto informací SW vygeneruje program pro obrábění. Pomocí SW CAM je možné zobrazit dráhu nástroje a detekovat tak případné kolize. Tento způsob programování je vhodný pro prototypové obrábění. [12]

2.3 Funkce pro programování CNC stroje

Mezi funkce, které používáme u CNC obráběcích strojů můžeme zařadit funkce G, M, S, T, F, D.

2.3.1 G – funkce

Základní přídatné funkce, které ve spojení se souřadnicemi definují dráhu nástroje. Mezi základní G – funkce patří pohyb po přímce, pohyb po kružnici, rychloposuv a pracovní posuv. [11]

2.3.2 M – funkce

Pomocné funkce, které slouží pro ovládání periférií stroje. Můžeme díky nim ovládat například čerpadla pro chlazení nástrojů, mazací agregáty, spouštět otáčky motoru anebo provést automatickou výměnu nástroje. Tyto funkce se často liší podle typu stroje nebo podle výrobce stroje. [11],[13]

2.3.3 Další funkce

Zbylé funkce slouží pro úpravu otáček (S – funkce), pomocí T – funkcí můžeme obsluhovat nástroje, za pomocí F – funkcí definujeme rychlost posuvu a D – funkce definují offset nástroje.

2.4 Význam různých funkcí

V této podkapitole je uveden seznam několika funkcí a operátorů, které jsou využity při řešení této práce.

G0	rychloposuv
G1	pracovní posuv
G4	časová prodleva
G31	najetí na sondu
G43	kompence délky nástroje
G53	pohyb ve strojních souřadnicích
G54	pohyb v uživatelském souřadném systému
G65	volání jiného podprogramu
G90	absolutní programování
G91	inkrementální programování
M0	zastavení programu
M3	otáčky po směru hodinových ručiček
M4	otáčky proti směru hodinových ručiček
M5	zastavení otáček
M10	aktivace obrobkové sondy
M11	vypnutí obrobkové sondy
M30	konec programu
M99	konec podprogramu
LT	menší než
LE	menší nebo rovno
EQ	rovno
GT	větší než
GE	větší nebo rovno
+	sčítání
-	odečítání
*	násobení
/	dělení
=	přiřazení
ABS	absolutní hodnota
#	makro proměnná

3 ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY CNC STROJŮ

Řídící systém je jednou z hlavních částí CNC stroje. Jedná se o programovatelná zařízení, která ovládají celý technologický proces. Kvalita celého obráběcího procesu závisí na přesnosti a spolehlivosti řídicího systému. Pomocí řídicích systémů můžeme získat informace o stavu připojených signálů a přenášet elektrické veličiny na stroj. [14], [15]

3.1 Vývojové stupně řídicích systémů

Řídící systémy číslicově řízených strojů byly vyráběny v jednotlivých stupních:

3.1.1 Stroje 1. vývojového stupně

Jedná se o NC stroje, které jsou přizpůsobeny NC řídicím systémům. Tyto stroje jsou odvozeny od běžných konvenčních strojů (soustruhy, frézky). Tyto stroje jsou nepřesné a málo spolehlivé. V současné době se již v provozu nepoužívají. [14]

3.1.2 Stroje 2. vývojového stupně

Tyto stroje byly konstruovány s ohledem na požadavky číslicového řízení. Řídící systémy těchto strojů umožňují řízení v obecných cyklech. Je možná automatická výměna nástrojů pomocí revolverových hlav, opotřebované nástroje se vyměňují ručně. [14]

3.1.3 Stroje 3. vývojového stupně

Stroje 3. vývojového stupně byly vytvořeny především pro provoz ve výrobních soustavách. Systémy těchto strojů umí vybrat požadovaný nástroj, má větší zásobník nástrojů a umí také automaticky vyměnit obrobky. Opotřebované nástroje se stále vyměňují ručně. [14]

3.1.4 Stroje 4. vývojového stupně

Řídící systémy jsou plně automatické a taktéž vyměňují nástroje. Stroje 4. vývojového stupně mají dokonalejší konstrukci než stroje předchozích vývojových stupňů. Dále využívají laserové paprsky pro měření. [14]

3.1.5 Stroje 5. vývojového stupně

U těchto strojů jsou uplatňovány různé mechatronické prvky. Pro měření rozměrů obrobku v průběhu obrábění se začínají používat měřící sondy. Je umožněna kompenzace chyb polohování a korekce programu pro dodržení daných rozměrů. [14]

3.1.6 Stroje 6. vývojového stupně

V tomto vývojovém stupni dochází ke zdokonalení strojů z předchozích vývojových stupňů. Dochází ke snížení potřebného času na výměnu nástroje i obrobku, a navíc jsou tyto stroje velice přesné. [14]

3.1.7 Řídicí systémy v dnešní době

V současnosti mají řídicí systémy spoustu výhod oproti předchozím vývojovým fázím. Současné řídicí systémy jsou jednodušší a rychlejší na programování, mají možnost uchovávání dat pro pozdější použití, vyšší produktivita a nižší cena výroby, vhodné pro úsporu pracovní plochy a specializovaných pracovníků. V současné době dokážou systémy vypočítat potřebný čas na obrábění, díky tomu je možné lépe naplánovat výrobu. [14]

3.2 Další dělení řídicích systémů

Řídicí systémy můžeme dále dělit podle typu programování. Rozlišujeme dva typy systémů. První jsou systémy s absolutním programováním a druhým typem jsou systémy s přírůstkovým programováním.

3.2.1 Řídicí systémy s absolutním programováním

Jedná se o nejrozšířenější programování. Většina systémů je přednastavena právě na tento systém. Veškeré programové rozměry se vztahují k nulovému bodu obrobku. Poloha bodu je přímo zřejmá ze souřadnic. [15]

3.2.2 Řídicí systémy s přírůstkovým programováním

V přírůstkovém programování se daný rozměr vždy uvažuje jako přírůstek k předchozí poloze nástroje. Kontrola programu není tak jednoduchá, jako je u absolutního programování, je nutné zkontrolovat celý program až po hledaný rozměr. Tento typ programování je vhodný především v podprogramech, kdy se v různých místech na obrobku opakují složitější tvary. [15]

3.3 Řídicí systémy firmy FANUC

Firma Fanuc je jedna z největších dodavatelů řídicích systémů a automatizační techniky na světě. První systém číslicového řízení byl touto firmou vyvinut již v roce 1956. Od té doby se tato společnost specializuje nejen na výrobu CNC systémů a CNC strojů, ale i na

automatizaci celých výrobních linek a výrobu robotů. Do současné doby bylo na celém světě prodáno více než 4,9 miliónů řídicích CNC jednotek a 810 tisíc robotů. [16]

Tato práce je prováděna na stroji s řídicím systémem Fanuc 31iB.

Vybrané vlastnosti systému Fanuc 31iB:

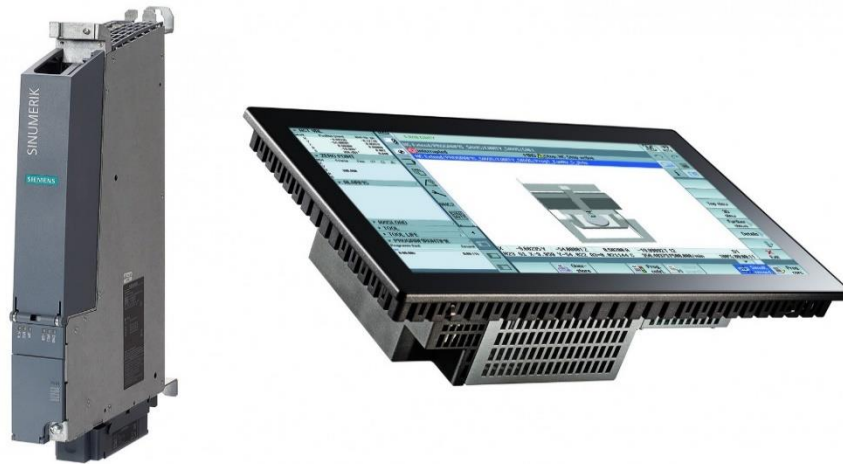
- 3D detekce kolize
- 5osé obrábění
- Integrované vysokorychlostní PMC (obchodní označení pro vestavěné PLC)
- Multifunkční obrábění – frézka/soustruh nebo soustruh/frézka [18]



Obrázek 8. Systém firmy Fanuc [17]

3.4 Řídicí systémy firmy Siemens

V roce 1960 uvedla firma Siemens na trh svůj první NC systém. Tento systém v roce 1964 pojmenovala názvem Sinumerik. V roce 1973 byl vytvořen první CNC systém Sinumerik 500C. Následovaly další řady systému Sinumerik (např. Sinumerik System 3, Sinumerik 820, Sinumerik 840D, atd.). Systémy Sinumerik mohou pracovat se všemi obráběcími technologiemi z jednoho zdroje – soustružení, frézování, broušení. A nejen díky tomuto se staly velmi populárními, a to hlavně v odvětvích jakými jsou automobilový průmysl, letectví, medicínská technika. [22], [23]



Obrázek 9. Systém řady Sinumerik ONE [24]

3.5 Řídicí systémy firmy Heidenhain

Společnost Heidenhain byla založena již v roce 1889. Kromě CNC řídicích systémů se tato firma zabývá také výrobou odměřovací techniky a pohonů. Řídicí systémy Heidenhain mohou být použity jak u jednoduchých strojů se třemi osami, tak na složitých obráběcích centrech s až 23 osami. Výrobky Heidenhain se uplatňují hlavně ve frézovacích a soustružnických strojích. Mimo to nachází uplatnění také při broušení, ohýbání anebo při 3D tisku. [25], [26], [27], [28]



Obrázek 10. Řídicí systém Heidenhain TNC7 [29]

4 MĚŘÍCÍ SYSTÉMY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

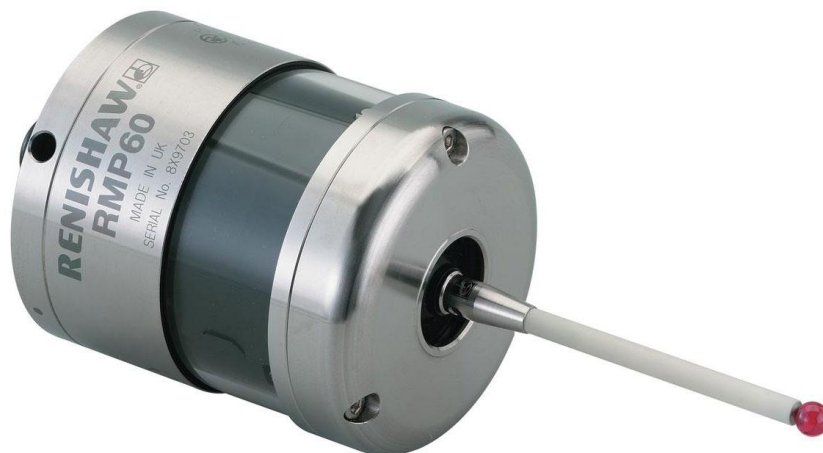
Měřicí systémy obráběcích strojů se používají pro měření polohy, rozměrů a vlastností obrobku anebo také obráběcího nástroje přímo na obráběcím stroji. Pro tuto činnost se používají tzv. sondy. Tyto sondy dělíme na obrobkové a nástrojové. Obrobkové sondy se používají pro ustavování obrobků na obráběcím stroji a pro zjištění přesných rozměrů obrobků. Nástrojové sondy se používají pro zjištění rozměrů nástroje a detekci poškozeného nebo opotřebovaného nástroje. Měření zpravidla probíhá před samotným obráběním, ale může probíhat i během anebo i po obrábění. Díky měřicím systémům můžeme zlepšovat kvalitu vyrobených součástí. [19]

4.1 Obrobková sonda RMP60

Tato obrobková sonda se používá pro kontrolu obrobků a různé seřizovací účely. Je vhodná pro velká obráběcí centra. Signál mezi sondou a přijímačem je přenášén pomocí rádiového signálu. [20]

Tabulka 2. Specifikace obrobkové sondy RMP60 [20]

Rozměry sondy	Délka: 76 mm, průměr: 63 mm
Váha	876 g
Rádiová frekvence	2400 – 2483,5 MHz
Provozní rozsah	Až 15 m
Jednosměrná opakovatelnost	1,00μm



Obrázek 11. Obrobková sonda RMP60 [21]

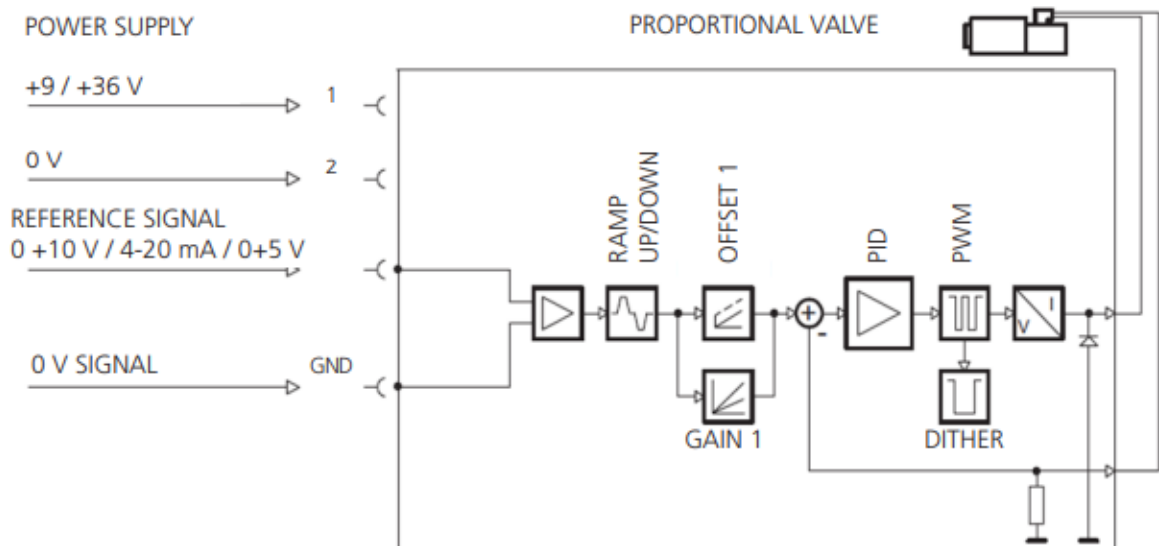
5 PROPORCIONÁLNÍ VENTIL

Proporcionální ventil může plynule regulovat průtok hydraulické kapaliny a řídit tak hodnotu tlaku v hydraulických systémech. Tento ventil je ovládán elektrickým signálem. Řídicím signálem může být proud nebo napětí. [30]

Pro tuto práci byl použit proporcionální ventil firmy Agro-hytos typ EL6.

Tabulka 3. Technická data proporcionálního ventilu [31]

Provozní napětí	V	9–36 DC
Maximální výstupní proud	A	3
Typ řídicího signálu		0-5[V], 0-10[V], 4-20[mA]
Nastavitelný rozsah funkcí rampy	s	0,05-99,5
PWM frekvence	Hz	40-450
Provozní teplota okolí	°C	-40, +75



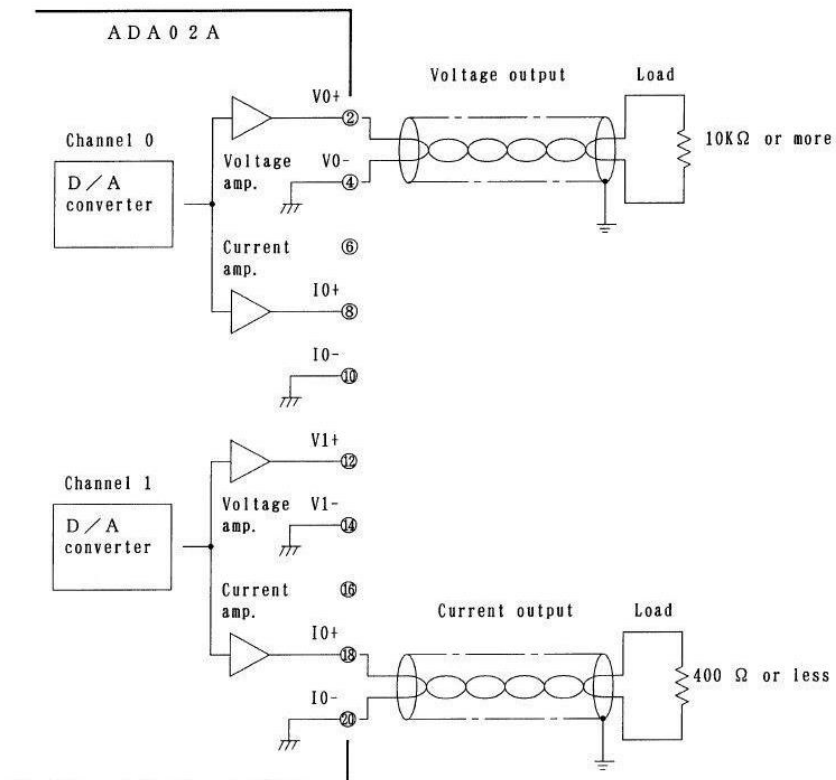
Obrázek 12. Blokové schéma proporcionálního ventilu [31]

6 ANALOGOVÁ VÝSTUPNÍ KARTA

Proporcionální ventil je řízen analogovou výstupní kartou od společnosti Fanuc. Tato karta má označení ADA02. Vstupní řídicí signál je hodnota o velikosti 12 B v rozsahu -2000 až +2000. Karta má dva kanály, první kanál je pro napětí v rozsahu -10 [V] až +10 [V] a druhý kanál je pro proud v rozsahu 0 [mA] až +20 [mA]. [32]

Tabulka 4. Vstupně – výstupní poměr analogové karty ADA02A [32]

Digitální vstup	Analogový výstup
+2000	+10 [V]
+1000	+5 [V] nebo +20 [mA]
0	0 [V] nebo 0 [mA]
-1000	-5 [V]
-2000	-10 [V]



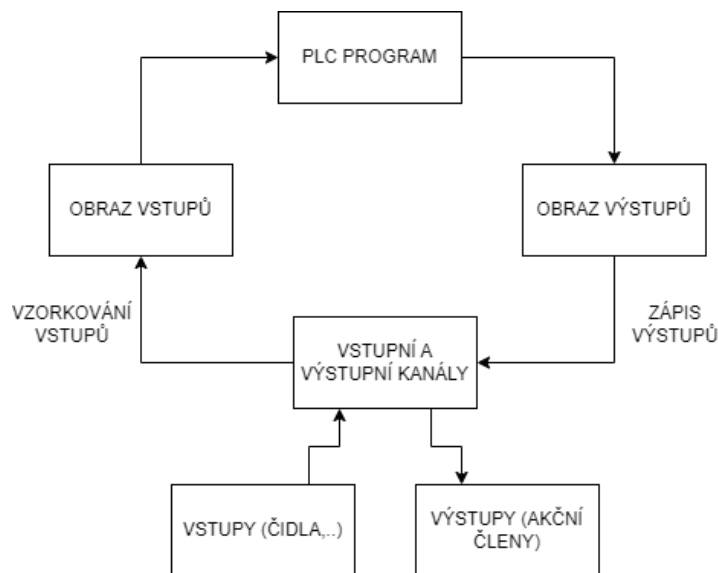
Obrázek 13. Schéma analogové výstupní karty [33]

7 PLC

PLC (programovatelný automat) je vstupně/výstupní zařízení, které se často používá pro řízení různých průmyslových úloh. Programovatelný automat je řízen mikroprocesorem s operačním systémem, který zajišťuje co nejrychlejší dobu odezvy. [34]

7.1 Princip činnosti PLC

Algoritmus, jímž se PLC řídí je zapsán jako posloupnost instrukcí v paměti uživatelského programu. Procesor cyklicky vykonává tuto posloupnost. Nejprve se načtou vstupy a uloží se do paměti. Tyto údaje se dále nazývají jako obraz vstupů. Podle vytvořeného uživatelského programu se s těmito daty provedou potřebné procesy a výsledek se zapíše jako obraz výstupů. Obraz výstupů je následně zapsán na výstupní periférie. Tento proces se opakuje stále dokola. [35], [36]



Obrázek 14. Cyklus PLC [35]

7.2 Programovací jazyk Ladder Diagram (LD)

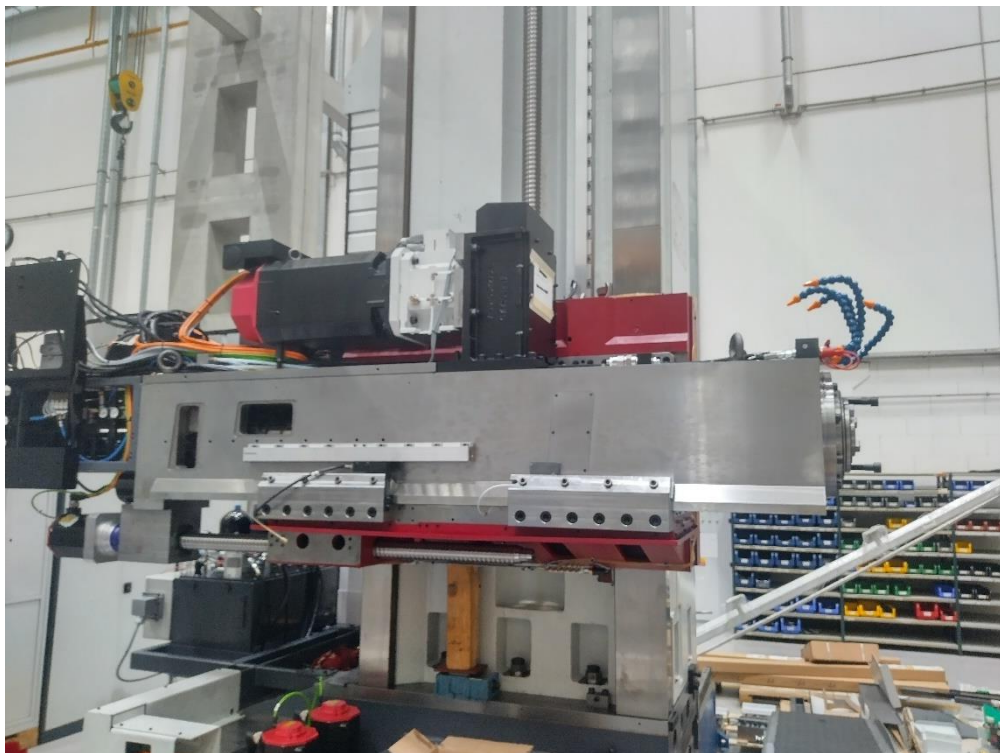
V češtině se pro tento programovací jazyk používá název jazyk příčkového diagramu. Tento programovací jazyk pochází z USA a je založen grafické reprezentaci reléové logiky. [34]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 POPIS PROBLÉMU

Tato práce je řešena na horizontálním obráběcím stroji s výsuvným vřeteníkem. Při vysouvání tohoto vřeteníku dochází vlivem gravitace k jeho vybočení. Toto vybočení je potřeba z důvodu přesného obrábění kompenzovat tak, aby vřeteník byl neustále co nejvíce rovný.

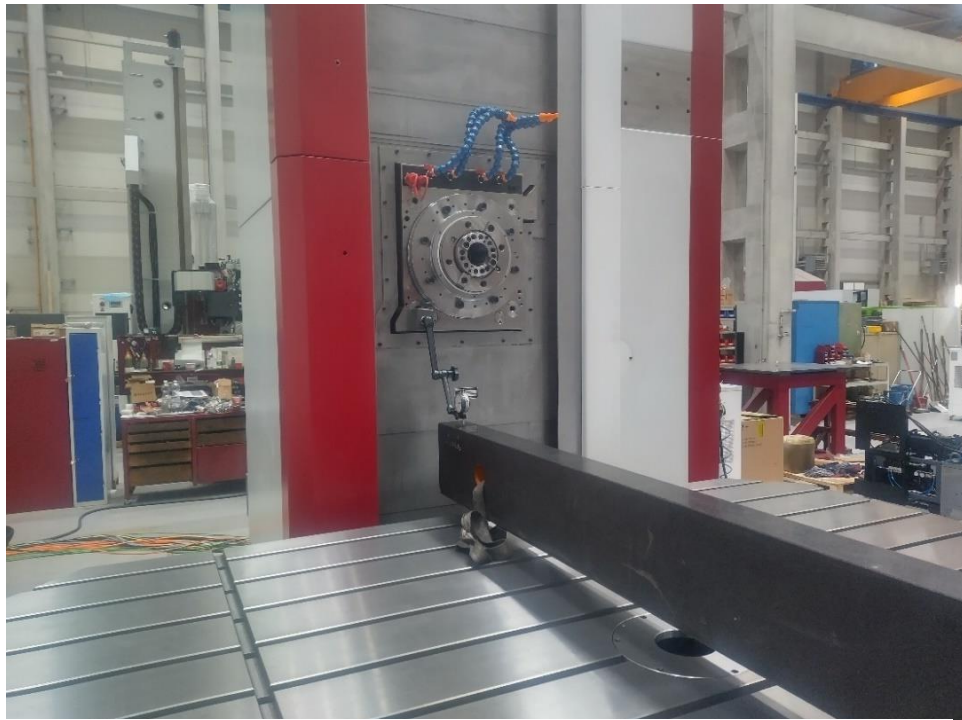
Ke kompenzaci dochází tak, že je přes analogový výstup řízeno napětí v rozsahu 0–10 [V] na proporcionální ventil. Tento ventil následně pouští hydraulický olej do pístů, které tlačí na vřeteník a tím jej vyrovnávají.



Obrázek 15. Výsuvný vřeteník horizontálního obráběcího stroje

8.1 Současné řešení – měření

V současné době se pro měření vybočení používá analogové měřidlo, tzv. úchylkoměr. Tento úchylkoměr se pomocí magnetického držáku připevní na vřeteník stroje. Před vřeteník se položí tzv. granitové pravítko, které je vyrovnané do roviny s přesností na 0,01 [mm]. Na pravítko je umístěna špička úchylkoměru. Následně dochází k vysouvání vřeteníku a ručnímu odečítání hodnot z úchylkoměru. Podle naměřených hodnot se nastaví velikost akčního zásahu v jednotlivých vzdálenostech a celé měření se opakuje s těmito hodnotami. Tento postup je nutné několikrát opakovat, než dojde k uspokojivému řešení.

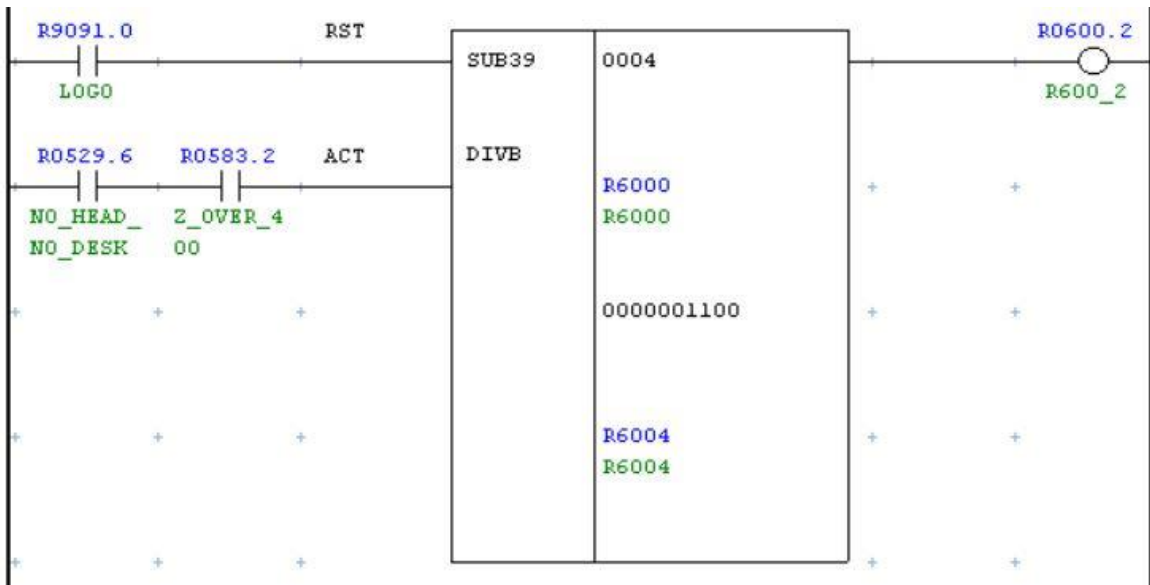


Obrázek 16. Měření pomocí úchylkoměru

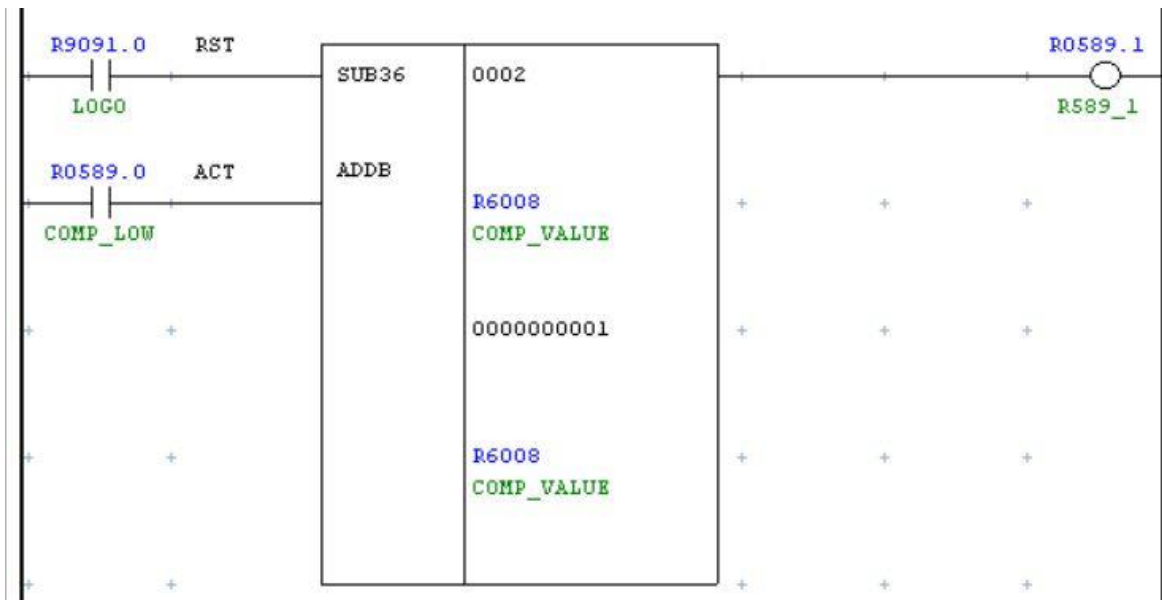
8.2 Současné měření – programové vybavení

Programové vybavení pro tento způsob kompenzace je řešeno následovně. Z paměti CNC stroje se vyčítá hodnota vysunutí vřeteníku (osa Z). Tato hodnota se ukládá do paměti PLC. Ve vzdálenosti, ve které začne být vybočení vřeteníku příliš velké se provede to, že se hodnota osy Z vydělí určitou konstantou. Hodnota konstanty závisí na míře vybočení. Výsledná hodnota dělení je poté zapsána na vstup analogového výstupu. Tato konstanta je používána tak dlouho, dokud opět nedojde k vybočení vřeteníku nad únosnou mez. Pokud při dalším vysunutí začne vřeteník opět vybočovat nad únosnou mez, je v této vzdálenosti použito další dělení hodnoty osy Z, jen s jinou konstantou tak, aby se zvýšila hodnota na vstupu analogové karty. Celý rozsah vysunutí vřeteníku je tímto způsobem rozdělen na několik menších úseků podle toho, jak moc vřeteník vybočuje.

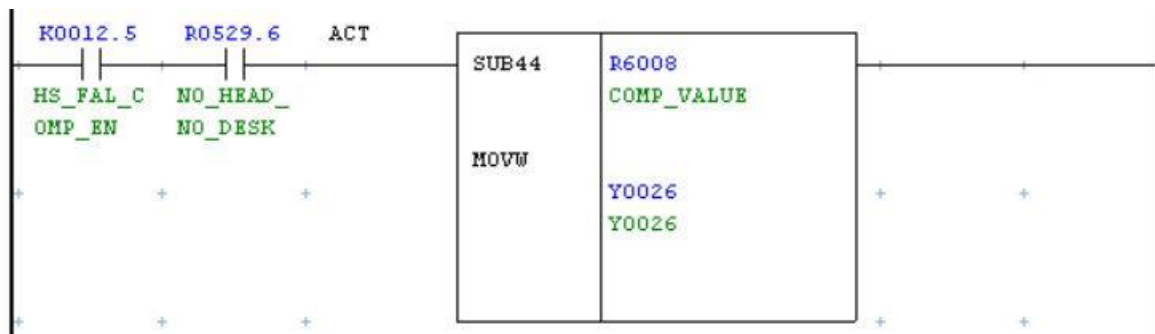
Samotný zápis výsledných hodnot na vstup analogového výstupu je prováděn tak, že se k aktuální hodnotě vstupu přičítá (popřípadě odčítána) hodnota 1. Tato hodnota je přičítána (odčítána) při každé otočce cyklu až do doby, dokud nebude na vstupu požadovaná hodnota. Tento způsob zápisu má za cíl zabezpečit plynulejší změnu tlaku na vřeteník.



Obrázek 19. Dělení vzdálenosti konstantou při vysunutí nad 400[mm]



Obrázek 18. Přičítání hodnoty 1 k akčnímu zásahu



Obrázek 17. Převod výsledné hodnoty na vstup analogového výstupu

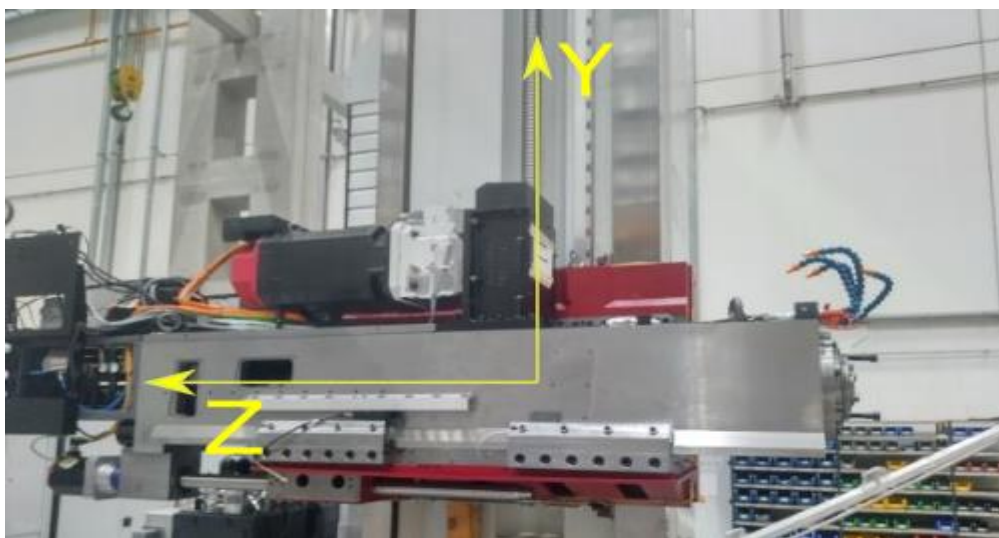
9 NÁVRH NOVÉHO ŘEŠENÍ

V novém řešení by mělo být měření pomocí úchylkoměru nahrazeno automatizovaným měřením pomocí obrobkové sondy RMP60, která se běžně používá u většiny obráběcích strojů a je to tak snadno dostupné měřidlo. Sonda pracuje tak, že v případě sepnutí jejího doteku dojde ke změně stavu digitálního vstupu v PLC.



Obrázek 20. Obrobková sonda RMP60 na obráběcím stroji

Sonda je na stroji umístěná v nástrojové hlavě tak, aby dotek směřoval v záporném směru osy Y globálního souřadného systému stroje. Tím pádem se při vybočení vřeteníku budou měnit hodnoty osy Y. Tyto hodnoty budou následně zapsány do paměti CNC stroje, přesněji do tzv. makro proměnných.



Obrázek 21. Směr os souřadného systému stroje

Těsně nad granitovým pravítkem při nulovém vysunutí vřetene se nastaví nulový bod uživatelského souřadného systému. Směry jednotlivých os zůstávají stejné jako směry globálního souřadného systému stroje.

V této poloze – při nulovém vysunutí osy Z se změří hodnota v ose Y při nulovém akčním zásahu analogového výstupu. Naměřená hodnota se nadále bude používat jako žádaná hodnota pro celý rozsah výsuvu vřeteníku. Poté se provede vysunutí vřeteníku o -50 [mm] a opětovné měření. Nejprve se provede měření s nulovým akčním zásahem a poté se bude akční zásah postupně zvyšovat např. po 1 [V] až na maximální možnou hodnotu což je 10 [V]. Následně dojde k výběru dvou hodnot, mezi kterými leží žádaná hodnota, jenž byla naměřena při nulovém vysunutí a nulovém akčním zásahu. Poté bude následovat měření ve vybraném rozsahu akčního zásahu se změnou 0,1 [V]. Z naměřených dat se následně provede výběr neoptimálnější hodnoty a tato hodnota bude zvolena jako akční zásah pro daný bod. Poté se vřeteník opět vysune o -50 [mm] a celý proces se takto zopakuje až do hodnoty plného výsuvu, což odpovídá hodnotě -700 [mm]. Následně se provede stejné měření, akorát pro pohyb vřeteníku směrem zpět až do hodnoty vysunutí -50 [mm].

Takto se provede měření napětí celkově ve 14 bodech v každém směru pohybu – při nulovém vysunutí bude akční zásah roven nule. Jednotlivé body se následně proloží úsečkami. Tyto úsečky budou funkcí dráhy osy Z. Výsledná hodnota akčního zásahu bude pomocí rovnice lineární funkce přepočítávána tak, aby odpovídala hodnotě úseček mezi jednotlivými body.

$$f: y = ax + b \quad (1)$$

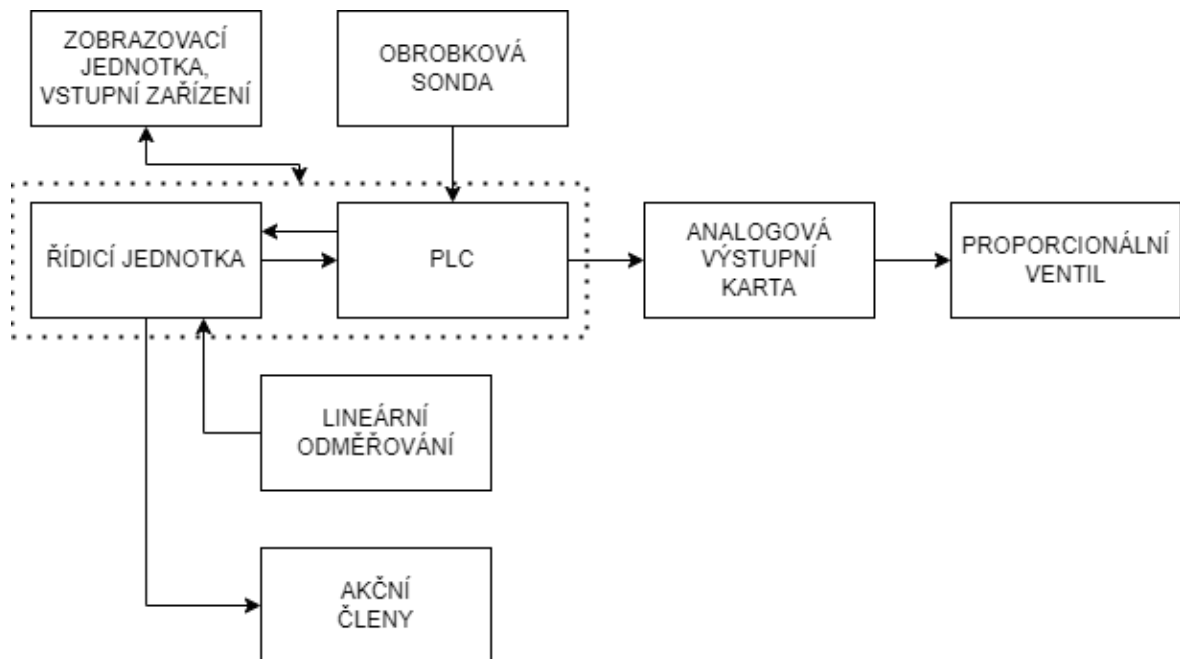
Koeficient b bude v tomto případě tvořen naměřenými hodnotami v jednotlivých bodech, koeficient a bude sklon mezi naměřenými hodnotami a koeficient x bude absolutní hodnota vysunutí vřeteníku.

9.1 Popis jednotlivých částí systému

Systém pro realizaci nového řešení je složen z několika částí. Každá část tohoto systému vykonává potřebnou činnost pro zajištění funkčnosti tohoto řešení.

Realizaci tohoto řešení lze rozdělit na dva případy. První případ zahrnuje samotné měření vybočení a hledání vhodného akčního zásahu. Ve druhém případě se jedná řízení hodnoty akčního zásahu na základě naměřených dat a míře vysunutí.

Na následujícím obrázku lze vidět schéma zapojení systému při měření a hledání vhodného akčního zásahu.



Obrázek 22. Schéma systému při hledání optimálních hodnot

Řídicí jednotka

V řídicí jednotce se vykonává největší část tohoto úkolu. Řídicí jednotka ovládá podle vytvořeného NC programu pohyb stroje a na základě dat z PLC a z lineárního odměřování vyhodnocuje míru vybočení vřeteníku. Při hledání optimální hodnoty akčního zásahu je z řídicí jednotky odesílána do PLC jeho hodnota.

PLC

PLC přijímá od řídicí jednotky informace o velikosti hodnoty akčního zásahu a poté tuto hodnotu posílá na analogovou výstupní kartu. Dále PLC přijímá informace o sepnutí obrobkové sondy a tuto informaci posílá do řídicí jednotky.

Řídicí jednotka i PLC jsou v tomto případě zabudovány v jednom modulu (viz. obrázek níže).



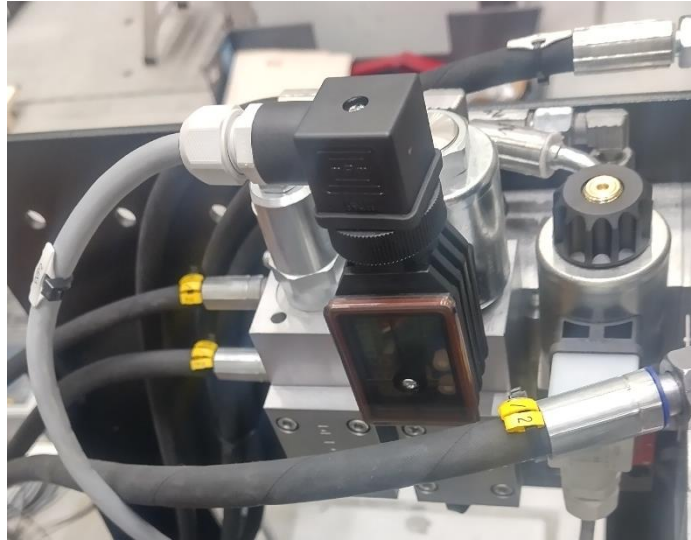
Obrázek 23. Řídicí jednotka a PLC

Analogová výstupní karta a proporcionální ventil

Analogová výstupní karta na základě informací z PLC řídí hodnotu napětí. Tato karta je napojena na proporcionální ventil, který ovládá tlak, jenž působí na vřeteník.



Obrázek 24. Analogová výstupní karta



Obrázek 25. Proporcionální ventil

Zobrazovací jednotka a vstupní zařízení

Nedílnou součástí CNC systému je i zobrazovací jednotka, díky které můžeme sledovat pohyb a stav stroje. Jsou zde umístěny i dvě klávesnice, které plní funkci vstupního zařízení. Toto zařízení slouží k ovládání stroje.

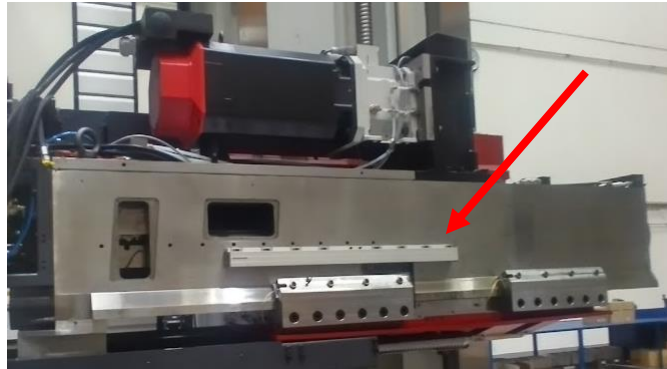


Obrázek 26. Zobrazovací jednotka a vstupní zařízení

Lineární odměřování a akční členy

Lineární odměřování odesílá do řídicí jednotky informace o polohách jednotlivých os. Na základě těchto informací řídicí jednotka vyhodnocuje míru vybočení vřeteníku.

Pomocí akčních členů je na základě signálů z řídicí jednotky řízen pohyb stroje.



Obrázek 28. Lineární odměřování Heidenhain



Obrázek 27. Akční člen FANUC

Po nalezení optimálních hodnot je řízení akčního zásahu prováděno přímo z PLC na základě hodnoty vysunutí. To znamená, že hodnota z lineárního odměřování je místo do řídicí jednotky posílána přímo do PLC, kde se na základě této informace mění hodnota akčního zásahu.



Obrázek 29. Schéma systému při běžném používání

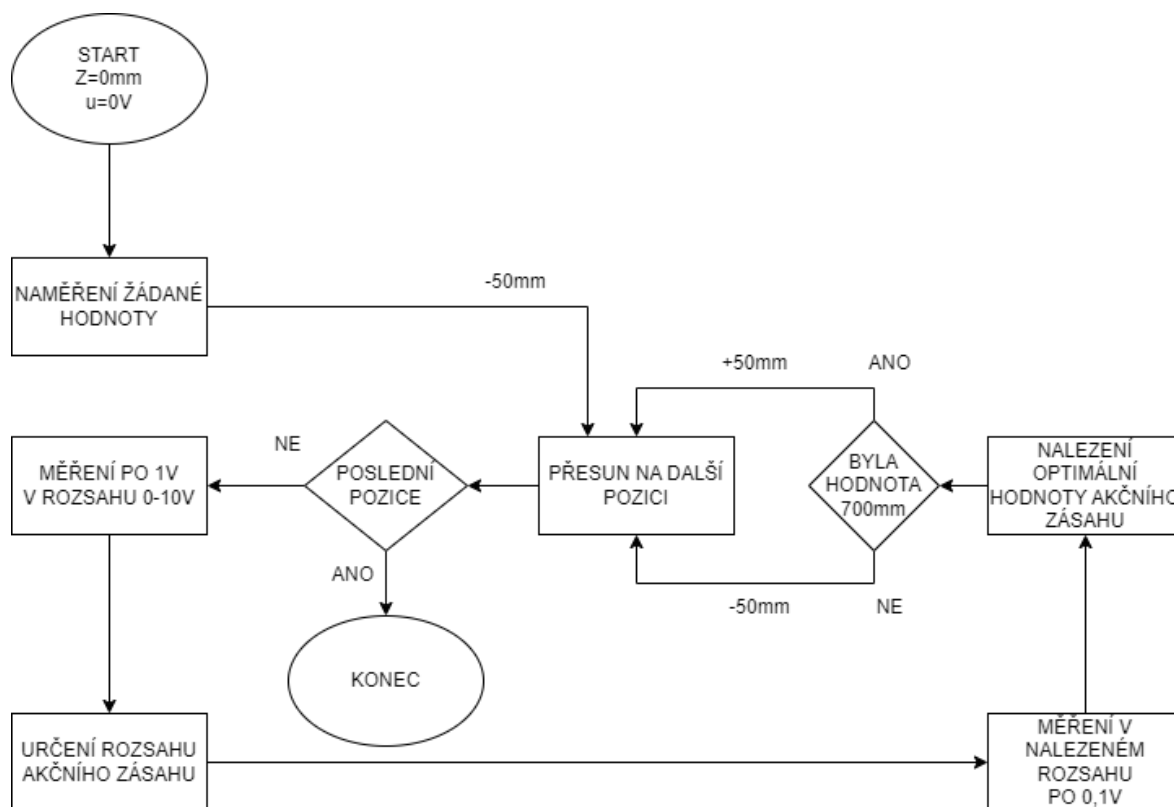
10 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Programové vybavení pro tuto úlohu by se dalo rozdělit do dvou částí. První část je prováděna přímo v řídicím systému CNC stroje. Druhá část je prováděna v PLC.

10.1 Část pro CNC systém

V části pro CNC systém je prováděna ta část tohoto úkolu, ve které probíhá samotné měření vychýlení při změnách akčního zásahu a následné určení ideálního akčního zásahu. Tato část je tvořena z několika dílčích částí. Jedná se o hlavní program, podprogram pro měření po větším kroku, následné určení rozsahu, ve kterém se nachází ideální hodnota akčního zásahu.

Nejprve se zde provádí měření pro případ, kdy se vřeteník vysouvá směrem ven (do záporného směru osy Z), po nalezení ideálních hodnot akčního zásahu a výpočtu směrnic úseček se provede měření, kdy se vřeteník zasouvá. V této části práce je popsána pouze ta část měření, která se použije měření při vysouvání. Měření opačným směrem zde není podrobněji popsáno, protože je prováděno obdobným způsobem, pouze se liší směr, jakým se daná osa pohybuje. Princip měření a vyhodnocení vhodného akčního zásahu je úplně stejný pro oba směry.



Obrázek 30. Diagram měření a určení akčního zásahu

10.1.1 Hlavní program

V hlavním programu se nejprve provede inicializace proměnných a zapnutí obrobkové sondy. Následuje projetí celého výsuvu těsně nad granitovým pravítkem, aby se zjistilo, zda se v cestě měření nenachází nějaká překážka. Poté se najede do počátečních pozic pro měření. V tomto bodě se provede měření žádané hodnoty. Po naměření žádané hodnoty se začnou volat jednotlivé podprogramy pro měření a určení ideálního akčního zásahu.

Ukázka volání jednotlivých podprogramů:

WHILE[#1LE#2]DO1

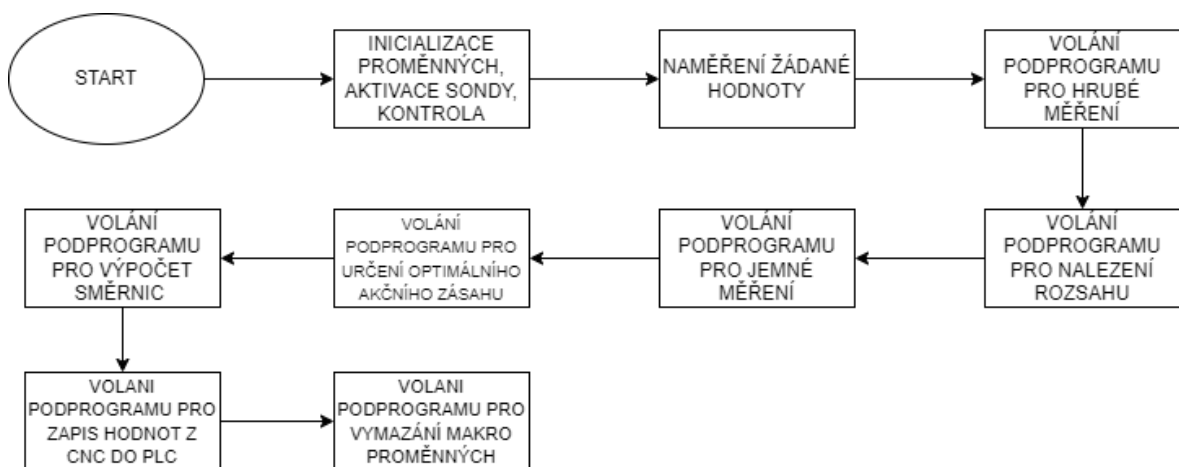
G65P9050A#1 (ZAVOLANI PODPROGRAMU PRO HRUBE MERENI)

G65P9051B#1 (VYPOCET MEZI AKCNIHO ZASAHU)

G65P9052I#1 (ZAVOLANI PODPROGRAMU PRO JEMNE MERENI)

#1=#1+1 (ZVYSENI HODNOTY)

END1



Obrázek 31. Diagram funkce hlavního programu

Na uvedeném diagramu lze vidět, jak funguje hlavní program. Tento uvedený cyklus se provádí dvakrát, nejprve pro měření směrem ven – pro hodnoty -50[mm] až -700[mm] po -50[mm]. Posléze pro měření směrem zpět pro hodnoty -700[mm] až -50[mm] po 50[mm].

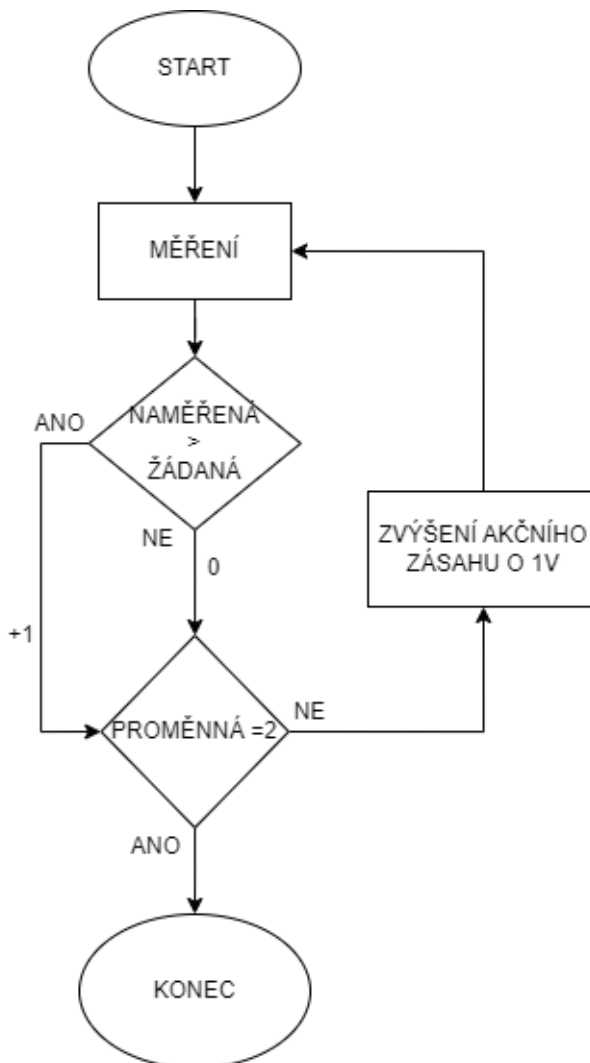
10.1.2 Podprogram pro hrubé měření

V podprogramu pro hrubé měření nalezneme NC program, ve kterém se nejprve načtou počáteční proměnné a podle dat přijatých z hlavního programu se navolí rozsah makro proměnných, do kterých se budou zapisovat naměřená data. Následně stroj najede do požadované polohy na ose Z a začne zde provádět měření se změnou akčního zásahu po 1 [V].

Samotné měření probíhá tak, že hodnota vysunutí vřetene zůstává stejná a stroj pohybuje pouze osou Y směrem do záporného směru. Při najetí na granitové pravítko se sepne dotek sondy a stroj se vrátí do původní pozice v ose Y. Následně se stroj opět rozjede záporným směrem, ovšem s menší rychlostí než v předchozím pohybu. Po sepnutí doteku sondy se naměřená hodnota v ose Y zapíše do makra č. 136, odtud je tato hodnota ukládána do předem definovaných uživatelských makro proměnných. Naměřené hodnoty jsou záporné, protože směr osy Y, ve kterém měření probíhá je záporný. Naměřená hodnota udává vzdálenost od nulového bodu souřadného systému po granitové pravítko. Čím větší je absolutní hodnota naměřených dat, tím je vřeteník výš. V tomto podprogramu je prováděno porovnávání absolutních hodnot naměřených dat a žádané hodnoty. V případě, že absolutní hodnota naměřených dat je dvakrát po sobě větší než žádaná hodnota, je tento podprogram pro hrubé měření ukončen. Tohle porovnávání je zde z důvodu úspory času při měření.

Ukázka cyklu, ve kterém dochází k měření a následnému zápisu dat a jejich porovnávání:

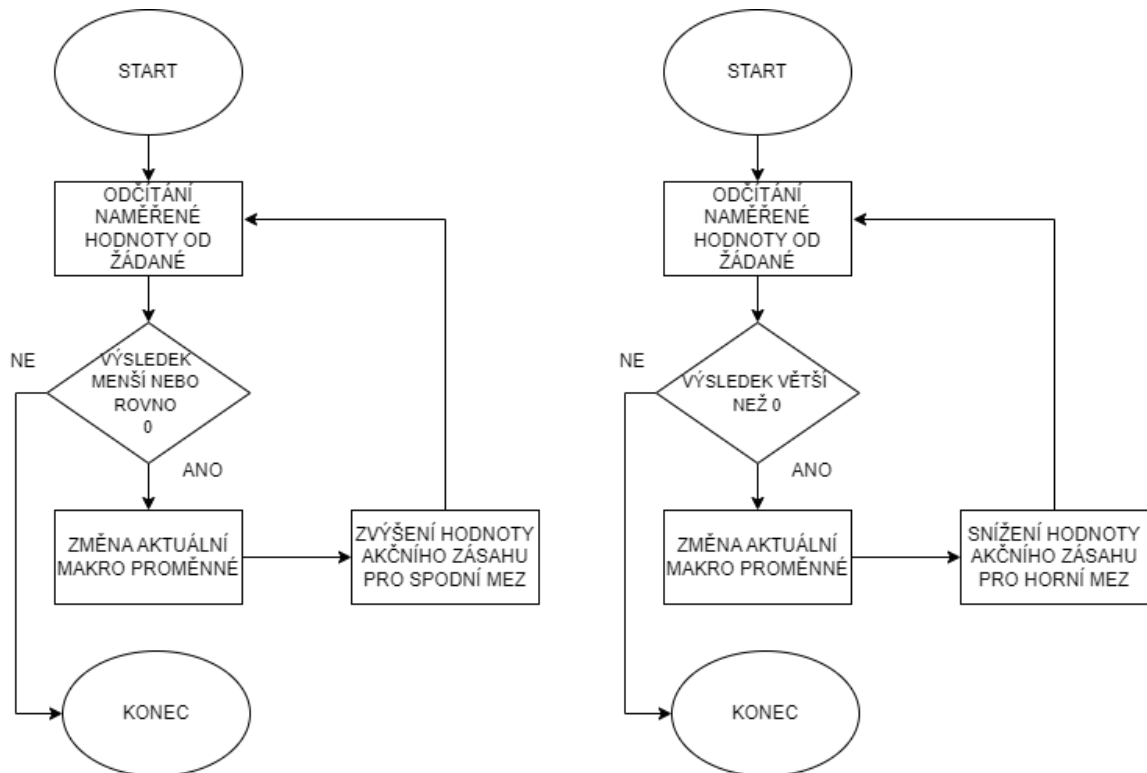
```
WHILE[#6LE#4]DO1
G5101A[#6]X1      (ZMENA AKCNIHO ZASAHU)
G4X5              (5s PAUZA)
G65P9811Y-1Q5    (MERENI)
#[#7+#9]=#136    (ZAPIS NAMERENE HODNOTY DO MAKRA)
(CAST PRO ROZHODOVANI O UKONCENI MERENI)
IF[[ABS#[#7+#9]]GE[ABS[#700]]]THEN#10=#10+1
IF[[ABS#[#7+#9]]LT[ABS[#700]]]THEN#10=0
IF[#10EQ2]THENGOTO100
#6=#6+#5        (PRICTENI AKCNIHO ZASAHU)
#9=#9+1         (PRO PREPIS MAKER)
G5101A0X1       (VYPNUTI AKCNIHO ZASAHU)
G4X5            (5s PAUZA)
END1
N100           (KONEC MERENI)
#740=#6        (HODNOTA AKCNIHO ZASAHU PRI POSLEDNIM MERENI)
G5101A0X1     (VYPNUTI AKCNIHO ZASAHU)
M99
```



Obrázek 32. Diagram hrubého měření

10.1.3 Podprogram pro nalezení rozsahu napětí

Zde se provádí hledání rozsahu napětí, ve kterém se nachází žádaná hodnota. Jako v předchozích případech, tak i zde dochází nejprve k inicializaci počátečních hodnot proměnných. Následuje rozhodování o tom, které makro proměnné se budou prohledávat. To, která oblast se bude aktuálně prohledávat záleží na pořadí měření. Následuje část NC programu, kde se porovnávají naměřené hodnoty s žádanou hodnotou a rozhoduje se, zda je tato hodnota menší nebo větší. Výsledkem tohoto podprogramu jsou dvě hodnoty napětí, v jejichž rozsahu se nachází žádaná hodnota.



Obrázek 33. Diagram pro hledání rozsahu hodnot akčního zásahu

10.1.4 Podprogram pro jemné měření

Tento podprogram je velmi podobný podprogramu pro hrubé měření. Nejprve se načtou hodnoty rozsahu akčního zásahu. Tyto hodnoty jsou získány v předchozím podprogramu. Následuje měření se změnou akčního zásahu o 0,1 [V]. Stejně jako při hrubém měření je zde provedeno ukončení měření v případě, že bude absolutní hodnota dvou po sobě jdoucích měření větší než žádaná hodnota.

Ukázka části podprogramu, ve které dochází k měření, zápisu dat a porovnávání dat:

```

WHILE[#11LE#10]DO2
#11=#11/10
G5101A[#11]X1      (ZMENA AKCNIHO ZASAHU)
G4X5               (5s PAUZA)
G54G90Y2F500      (NAJEDE 2mm NAD NULOVY BOD)
G65P9811Y-1Q5     (MERENI)
#[#13+#12]=#136   (ZAPIS NAMERENE HODNOTY DO MAKRA)
(CAST PRO ROZHODOVANI O UKONCENI MERENI)
IF[[ABS#[#13+#12]]GT[ABS[#700]]]THEN#14=#14+1

```

```

IF[[ABS[#13+#12]]LT[ABS[#700]]]THEN#14=0
IF[#14EQ2]THENGOTO100
IF[#11GT10]THEN#11=10 (ABY NEDOCHAZELO KE ZVYSOVANI AKCNIHO ZASAHU
NAD 10)
#11=#11*10
#11=#11+#9 (ZVYSENI AKCNIHO ZASAHU)
#12=#12+1 (PRO ZVYSENI OFFSETU MAKER)
G5101A0X1 (VYPNUTI AKCNIHO ZASAHU)
G4X5 (5s PAUZA)
END2

```

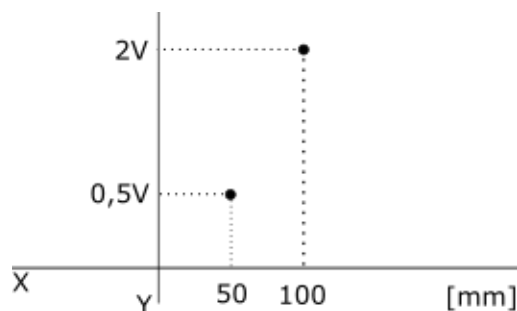
10.1.5 Podprogram pro určení akčního zásahu

Po dokončení všech měřících podprogramů a naměření všech potřebných dat následuje volání podprogramu, který v naměřených datech nalezne optimální hodnoty akčního zásahu. Tento podprogram funguje tak, že cyklicky prochází oblasti naměřených dat. Každá oblast obsahuje data, která byla naměřena v jednotlivých bodech vysunutí vřeteníku při různých akčních zásazích. V každé oblasti se hledají taková data, která jsou neblíže k žádané hodnotě. Nalezeným hodnotám se následně přiřadí hodnota akčního zásahu a tyto hodnoty se zapíše do paměti CNC stroje – makro proměnných.

10.1.6 Podprogram pro výpočet směrnice přímky

V tomto podprogramu se provádí výpočet směrnic úseček mezi jednotlivými body. Nejprve se provede výpočet hodnoty v ose Y. Tento výpočet se provede tak, že se od hodnoty v aktuálním bodě osy Z odečte hodnota napětí v předchozím bodě. Výsledná hodnota se vydělí hodnotou osy X, což je 50 [mm]. Výsledná hodnota je poté uložena do makro proměnných.

Na následujícím obrázku je ilustrační ukázka výpočtu směrnice. Od hodnoty 2 se odečte hodnota 0,5 a výsledek se podělí hodnotou 50. Tato směrnice pak bude použita pro dráhu od 50 do 99,999 [mm].



Obrázek 34. Ukázka výpočtu směrnice úsečky

10.1.7 Odeslání hodnot z CNC paměti do PLC

Veškeré naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty jsou uloženy v paměti CNC stroje – v tzv. makro proměnných. Pro další práci je nutné hodnoty akčního zásahu v jednotlivých bodech a směrnice úseček mezi těmito body uložit do paměti PLC, kde se s těmito daty bude pracovat dále.

Následující část kódu slouží pro odeslání hodnot akčního zásahu do PLC. Nejprve je nutné do makro proměnné 3962 zapsat hodnotu, do které budeme chtít data v PLC ukládat. Data se ukládají do uživatelských registrů R. V tomto případě se data budou ukládat do adres R3210, R3200 a R3208. Po zvolení, do které adresy v PLC je možné do dané adresy zapsat data. To se provádí tak, že se vybraná data zapíše do příslušné makro proměnné, podle toho, jakou mají tyto data velikost. Data typu byte se zapisují do makro proměnné 3963, data typu word se zapisují do makro proměnné 3964 a data typu double-word se zapisují do makro proměnné 3965. Hodnoty jsou před převodem do PLC vynásobena tisícem kvůli eliminaci desetinných míst.

Ukázka kódu pro posílání dat do PLC:

```
WHILE[#1LT#2]DO1
#3962=3210
#3963=#1          (PRO INDEX TABULKY V PLC)
#3=#[710+#1]*1000 (VYNASOBENI 1 000 KVULI DESETINNE CARCE)
#3962=3200        (ZAPIS HODNOT DO PLC NA ADRESU R3200)
#3965=#3          (ZAPIS HODNOT NA DANOU ADRESU)
#1=#1+1
G4X0.1           (PAUZA 0.1s)
#3962=3208
#3963=1
G4X0.1           (PAUZA 0.1s)
#3962=3208
#3963=0
END1
```

Podobně, jako funguje zapisování do PLC můžeme data z PLC vyčítat. Do makro proměnné 3962 zadáme adresu v PLC, ze které chceme číst a do makro proměnné 100 zadáme jednu z makro proměnných 3963, 3964 anebo 3965 podle toho o jaký datový typ se jedná. Poté je možné si data z makra 100 přepsat do jiných proměnných a libovolně s nimi pracovat.

#3962=3220

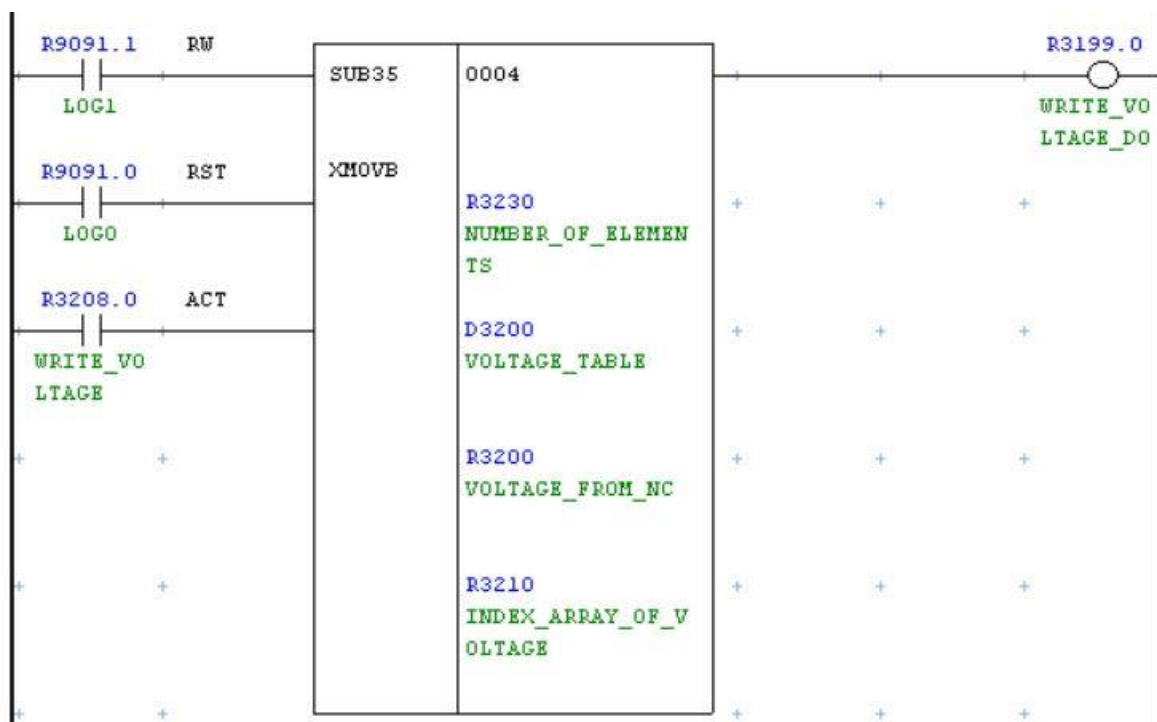
#100=#3965

10.2 Část pro PLC

V PLC se vykonává ta část, kterou je nutné provádět nepřetržitě. Nejprve je zde prováděn převod a následné ukládání dat z CNC. Poté se zde vykonávají výpočty pro určení akčního zásahu, a nakonec i samotný akční zásah.

10.2.1 Ukládání dat v PLC

Ukládání dat v PLC je řešeno pomocí instrukce *XMOVB*. Tato instrukce ukládá z předem definované adresy na jinou adresu za pomoci indexování. Pro tuto instrukci je nutné předem definovat celkový počet polí do kterých se budou data ukládat (R3230), dále adresu, ze které se budou data vyčítat (R3200) a poté i počáteční adresu na kterou se budou data ukládat (D3200). Data jsou ukládána při sepnutí vstupu *ACT* (R3208.0) od počáteční adresy dále podle toho, jaká je aktuální hodnota indexu (R3210).



Obrázek 35. Ukládání dat do PLC – instrukce XMOVB

V této práci jsou použity celkem čtyři tyto instrukce. Každá instrukce zaznamenává jiná data. Zaznamenávají se data pro napětí v jednotlivých bodech a směrnice úseček mezi těmito body, které byly získány při měření během vysouvání vřeteníku a také pro ty hodnoty, které

byly získány při zasouvání vřeteníku. Hodnoty, které jsou nutné pro správný chod instrukcí *XMOVB* (hodnota proměnné index, ACT) jsou zasílány z CNC během odesílání dat do PLC.

10.2.2 Výběr vhodných dat pro výpočet akčního zásahu

Pro správné vyčítání dat z tabulek a pro správné určení akčního zásahu je nutné rozlišit, jakým směrem se vřeteník pohybuje. V PLC je již z dřívější doby vytvořen program, který zapisuje do určité adresy absolutní hodnotu osy Z. V případě, že je porovnávána hodnota této adresy s hodnotou, která byla při předchozí otočce cyklu PLC můžeme snadno zjistit, zda se vřeteník vysouvá anebo zasouvá. V případě že vřeteník stojí na místě je sepnutý poslední aktivní stav.

Jak již bylo zmíněno hodnota akčního zásahu se bude řídit pomocí rovnice lineární funkce (rovnice 1). Jelikož je měření prováděno v bodech po 50 [mm] je nutné rozlišit, mezi jakými body se aktuální hodnota osy Z nachází. Pomocí instrukce *RNGD*, která vrací log1 v případě, že je hodnota proměnné v daném rozsahu, lze zjistit, mezi kterými body se vřeteník aktuálně nachází. Díky tomuto je možné vybrat vhodná data z tabulek a dále s nimi pracovat.

10.2.3 Matematické operace v PLC

Po vybrání vhodných dat se v PLC řeší matematické operace tak, aby byla splněna rovnice lineární funkce. Nejprve je nutné od aktuální polohy osy Z odečíst počáteční hodnotu intervalu ve kterém se vřeteník nachází. Tato operace je nutná proto, aby hodnota polohy, se kterou se bude pracovat v rovnici byla v rozmezí 0 až 50. Tohoto se docílí způsobem, který je zmíněný v předchozím bodě.

Dále se již provádí samotné násobení výsledné hodnoty polohy vřeteníku se směrnicí akčního zásahu v daném rozmezí. Následně se k tomuto výsledku přičítá počáteční hodnota napětí. Tak, aby byla splněna rovnice lineární funkce.

10.2.4 Zápis výsledných dat

Po ukončení výpočtu jsou data převedena z datového typu double-word na datový typ real. Je to proto, aby mohla být použita desetinná místa. Před převodem do PLC byla data kvůli desetinným místům vynásobena tisícem, a proto jsou po převodu na real vyděleny tisícem. Z důvodu toho, že jako vstupní signál analogové karty musí být číslo v rozmezí od 0 do 2000 je výsledná hodnota vynásobena 200(hodnota 200 odpovídá výstupnímu napětí 1[V]). Tato hodnota je následně zaslána na analogový výstup PLC.

11 MĚŘENÍ

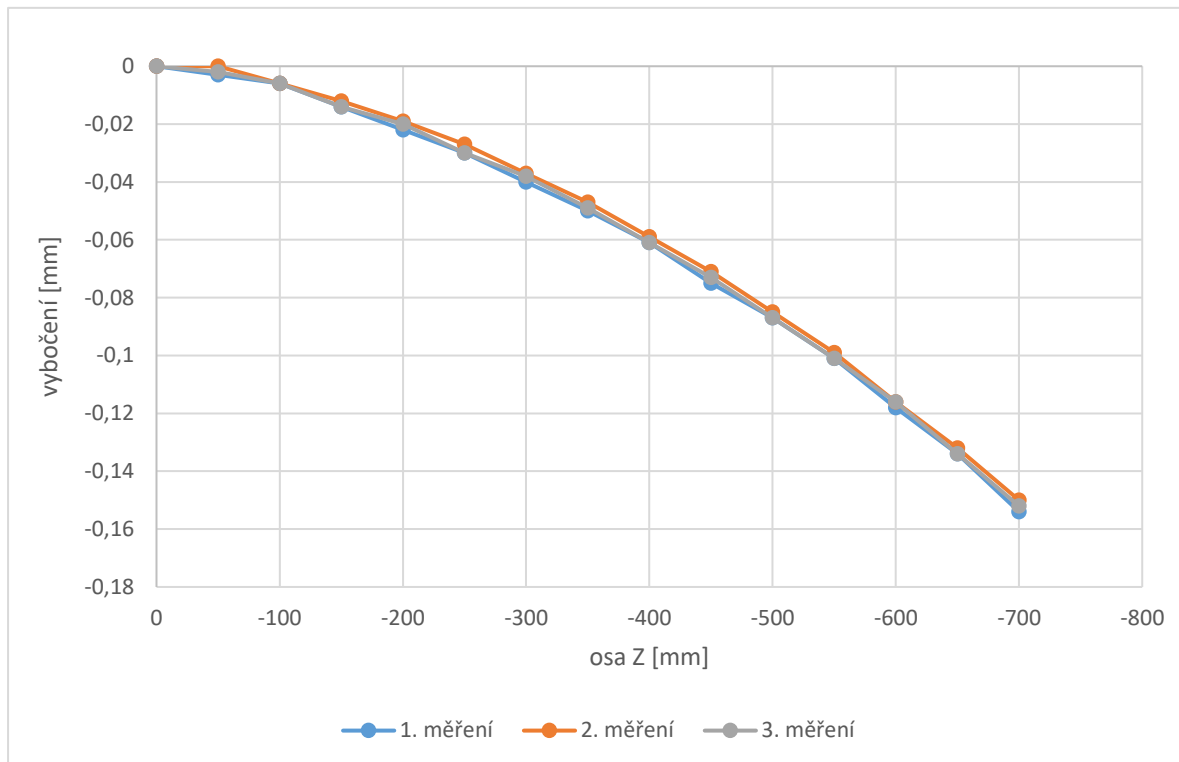
Měření bylo rozděleno do několika částí. Nejprve bylo provedeno měření vybočení vřeteníku při nulovém akčním zásahu s krokem -50 [mm] směrem ven. Toto měření bylo provedeno celkem třikrát, z důvodu ověření opakovatelnosti sondy. Dále následovalo měření vybočení vřeteníku při změnách akčního zásahu v rozsahu 0 až 10 [V] se změnou 1 [V]. Po tomto měření bylo provedeno samotné hledání optimálních hodnot akčního zásahu s vysouváním vřeteníku po -50 [mm] a následným zasouváním s krokem 50[mm]. Na závěr byla provedena celkově tři měření v obou směrech s krokem 20 [mm]. Tato měření měla ověřit správnost nalezených hodnot akčního zásahu.

11.1 Měření vybočení při nulovém akčním zásahu

Tohle měření bylo vybráno proto, aby bylo zaznamenáno vybočení vřeteníku bez jakékoliv kompenzace. Měření se tedy provádělo s akčním zásahem 0 [V] a intervalem vysunutí - 50[mm]. Měření bylo provedeno celkově třikrát, to proto, aby byla odzkoušena opakovatelnost naměřených dat.

Tabulka 5. Naměřená data při nulovém akčním zásahu

VYSUNUTÍ [mm]	1.MĚŘENÍ [mm]	ODCHYLKY 1.MĚŘENÍ [mm]	2.MĚŘENÍ [mm]	ODCHYLKY 2. MĚŘENÍ [mm]	3.MĚŘENÍ [mm]	ODCHYLKY 3. MĚŘENÍ [mm]
0	-2,3982	0	-2,3982	0	-2,3982	0
-50	-2,3952	-0,003	-2,3982	0	-2,3962	-0,002
-100	-2,3922	-0,006	-2,3922	-0,006	-2,3922	-0,006
-150	-2,3842	-0,014	-2,3862	-0,012	-2,3842	-0,014
-200	-2,3762	-0,022	-2,3792	-0,019	-2,3782	-0,02
-250	-2,3682	-0,03	-2,3712	-0,027	-2,3682	-0,03
-300	-2,3582	-0,04	-2,3612	-0,037	-2,3602	-0,038
-350	-2,3482	-0,05	-2,3512	-0,047	-2,3492	-0,049
-400	-2,3372	-0,061	-2,3392	-0,059	-2,3372	-0,061
-450	-2,3232	-0,075	-2,3272	-0,071	-2,3252	-0,073
-500	-2,3112	-0,087	-2,3132	-0,085	-2,3112	-0,087
-550	-2,2972	-0,101	-2,2992	-0,099	-2,2972	-0,101
-600	-2,2802	-0,118	-2,2822	-0,116	-2,2822	-0,116
-650	-2,2642	-0,134	-2,2662	-0,132	-2,2642	-0,134
-700	-2,2442	-0,154	-2,2482	-0,15	-2,2462	-0,152



Obrázek 36. Graf odchytek měření při nulovém akčním zásahu

Z naměřených dat je zřejmé, že s vysunutím vřeteníku narůstá i míra jeho vybočení. Maximální hodnota vybočení se pohybuje okolo 0,15 [mm]. Tato hodnota je pro další používání stroje nedostatečná a je tedy potřeba provést kompenzaci vybočení, aby rozsah vybočení byl maximálně 0,02 [mm]. Naměřená data se mezi sebou liší pouze o pár tisícín milimetrů, což může být způsobeno mírnou chybou měření anebo skutečně došlo k mírnému posunutí vřeteníku (např. vlivem mazání nebo vlivem pohybu vřeteníku mezi jednotlivými měřeními). Celkově lze ovšem říct, že naměřená data jsou velice podobná a obrobková sonda má dobrou opakovatelnost.

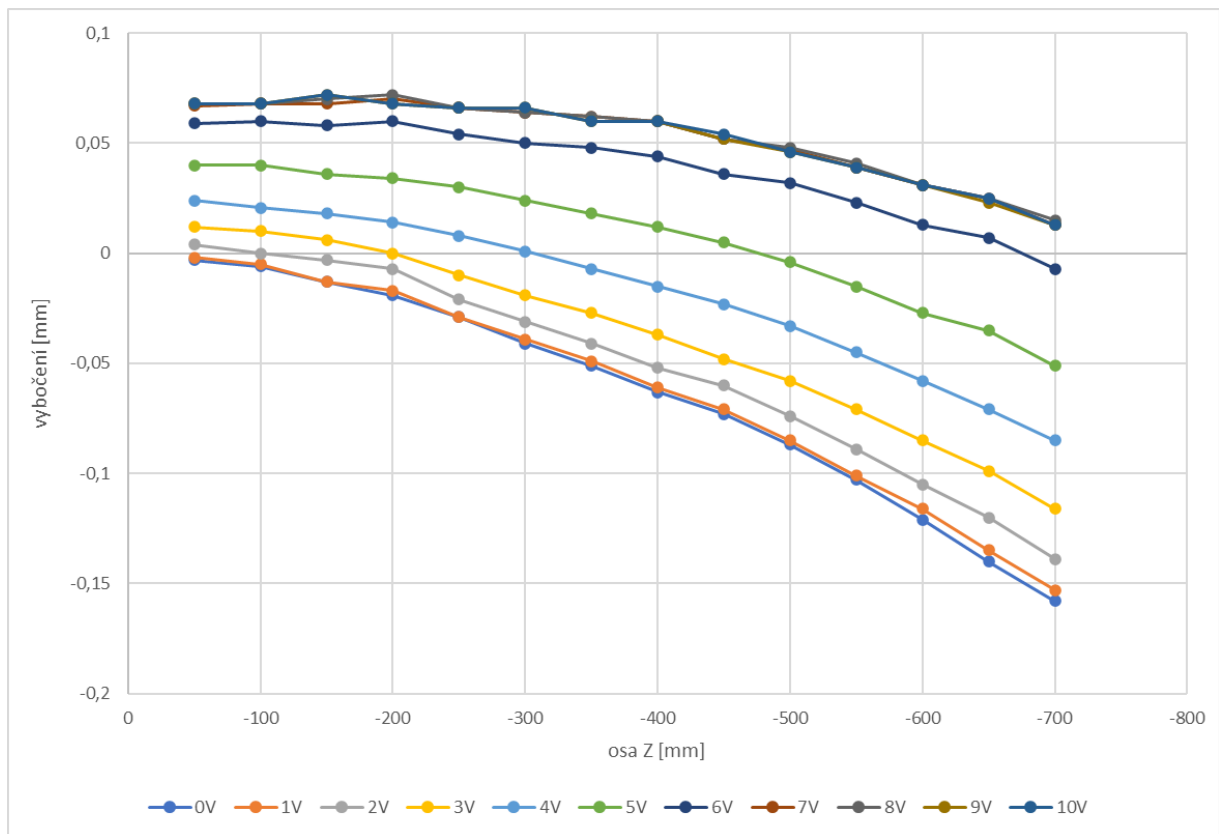
11.2 Měření v celém rozsahu akčního zásahu

Další měření, které bylo provedeno bylo měření v celém rozsahu akčního zásahu. Tohle měření bylo provedeno z toho důvodu, aby bylo zobrazeno chování systému při různých akčních zásazích, Měření bylo provedeno pro oba směry pohybu vřeteníku s roztečí 50 [mm].

Z důvodu lepší přehlednosti naměřených dat jsou v tabulkách a grafech prezentovány odchylky naměřených hodnot od žádané hodnoty, která byla získána při nulovém vysunutí.

Tabulka 6. Odchytky vybočení při změně akčního zásahu od 0 do 10 [V] směrem ven

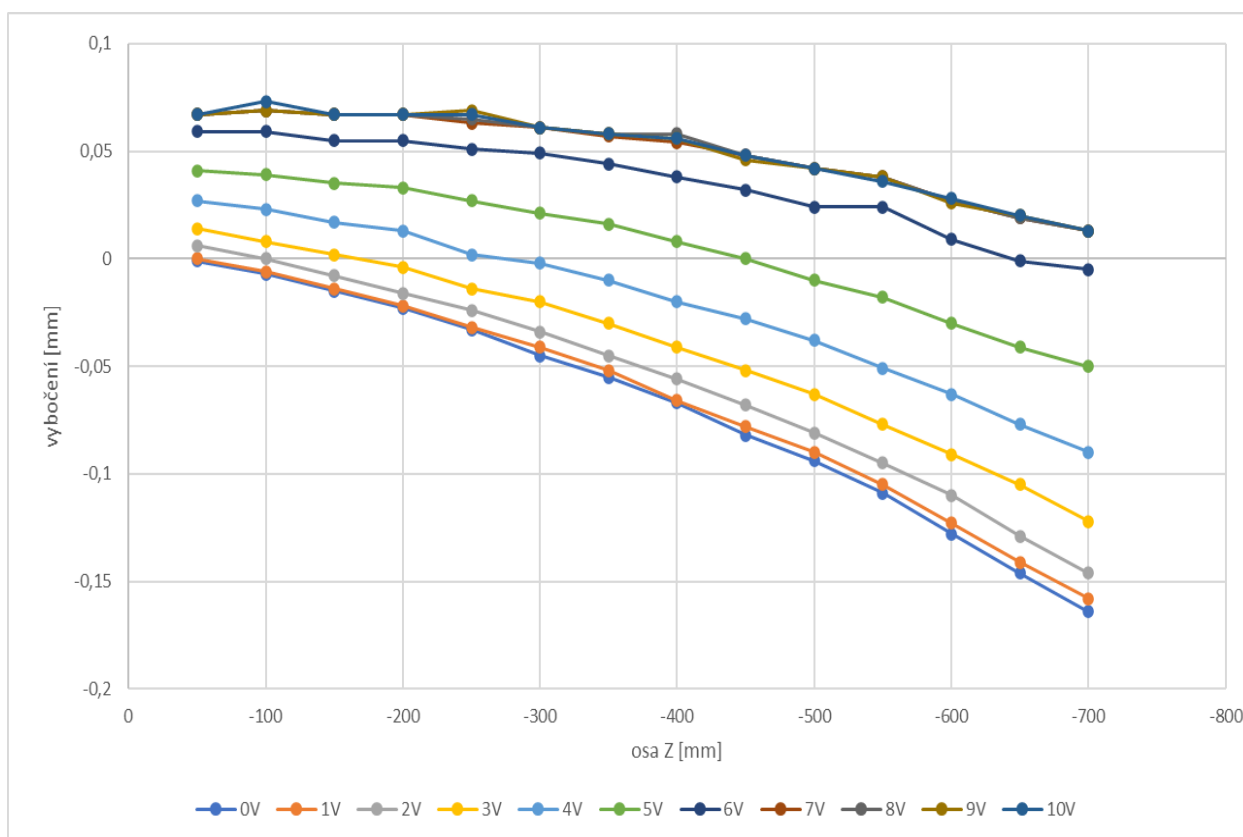
Vzdálenost [mm]	Akční zásah [V]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-50	-0,003	-0,002	0,004	0,012	0,024	0,04	0,059	0,067	0,068	0,068	0,068
-100	-0,006	-0,005	0	0,01	0,0206	0,04	0,06	0,068	0,068	0,068	0,068
-150	-0,013	-0,013	-0,003	0,006	0,018	0,036	0,058	0,068	0,07	0,072	0,072
-200	-0,019	-0,017	-0,007	0	0,014	0,034	0,06	0,07	0,072	0,068	0,068
-250	-0,029	-0,029	-0,021	-0,01	0,008	0,03	0,054	0,066	0,066	0,066	0,066
-300	-0,041	-0,039	-0,031	-0,019	0,001	0,024	0,05	0,064	0,064	0,066	0,066
-350	-0,051	-0,049	-0,041	-0,027	-0,007	0,018	0,048	0,062	0,062	0,06	0,06
-400	-0,063	-0,061	-0,052	-0,037	-0,015	0,012	0,044	0,06	0,06	0,06	0,06
-450	-0,073	-0,071	-0,06	-0,048	-0,023	0,005	0,036	0,052	0,052	0,052	0,054
-500	-0,087	-0,085	-0,074	-0,058	-0,033	-0,004	0,032	0,047	0,048	0,046	0,046
-550	-0,103	-0,101	-0,089	-0,071	-0,045	-0,015	0,023	0,039	0,041	0,039	0,039
-600	-0,121	-0,116	-0,105	-0,085	-0,058	-0,027	0,013	0,031	0,031	0,031	0,031
-650	-0,14	-0,135	-0,12	-0,099	-0,071	-0,035	0,007	0,025	0,025	0,023	0,025
-700	-0,158	-0,153	-0,139	-0,116	-0,085	-0,051	-0,007	0,013	0,015	0,013	0,013



Obrázek 37. Graf odchylek vybočení vřeteníku při akčním zásahu od 0 do 10 [V] směrem ven

Tabulka 7. Odchytky vybočení při změně akčního zásahu od 0 do 10 [V] směrem zpět

Vzdálenost [mm]	Akční zásah [V]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-50	-0,001	0	0,006	0,014	0,027	0,041	0,059	0,067	0,067	0,067	0,067
-100	-0,007	-0,006	0	0,008	0,023	0,039	0,059	0,069	0,069	0,069	0,073
-150	-0,015	-0,014	-0,008	0,002	0,017	0,035	0,055	0,067	0,067	0,067	0,067
-200	-0,023	-0,022	-0,016	-0,004	0,013	0,033	0,055	0,067	0,067	0,067	0,067
-250	-0,033	-0,032	-0,024	-0,014	0,002	0,027	0,051	0,063	0,065	0,069	0,067
-300	-0,045	-0,041	-0,034	-0,02	-0,002	0,021	0,049	0,061	0,061	0,061	0,061
-350	-0,055	-0,052	-0,045	-0,03	-0,01	0,016	0,044	0,057	0,058	0,058	0,058
-400	-0,067	-0,066	-0,056	-0,041	-0,02	0,008	0,038	0,054	0,058	0,056	0,056
-450	-0,082	-0,078	-0,068	-0,052	-0,028	0	0,032	0,048	0,048	0,046	0,048
-500	-0,094	-0,09	-0,081	-0,063	-0,038	-0,01	0,024	0,042	0,042	0,042	0,042
-550	-0,109	-0,105	-0,095	-0,077	-0,051	-0,018	0,024	0,038	0,038	0,038	0,036
-600	-0,128	-0,123	-0,11	-0,091	-0,063	-0,03	0,009	0,027	0,027	0,026	0,028
-650	-0,146	-0,141	-0,129	-0,105	-0,077	-0,041	-0,001	0,019	0,019	0,02	0,02
-700	-0,164	-0,158	-0,146	-0,122	-0,09	-0,05	-0,005	0,013	0,013	0,013	0,013



Obrázek 38. Graf odchylek vybočení vřeteníku při akčním zásahu od 0 do 10 [V] směrem zpět

Na získaných datech lze vidět, že vychýlení pro oba směry posunu vřeteníku jsou téměř identické a nejsou mezi nimi žádné velké rozdíly. Dále z těchto dat můžeme vyčíst, že krajní polohy akčního zásahu nemají na soustavu takový vliv, jako hodnoty ze středního intervalu celého rozsahu.

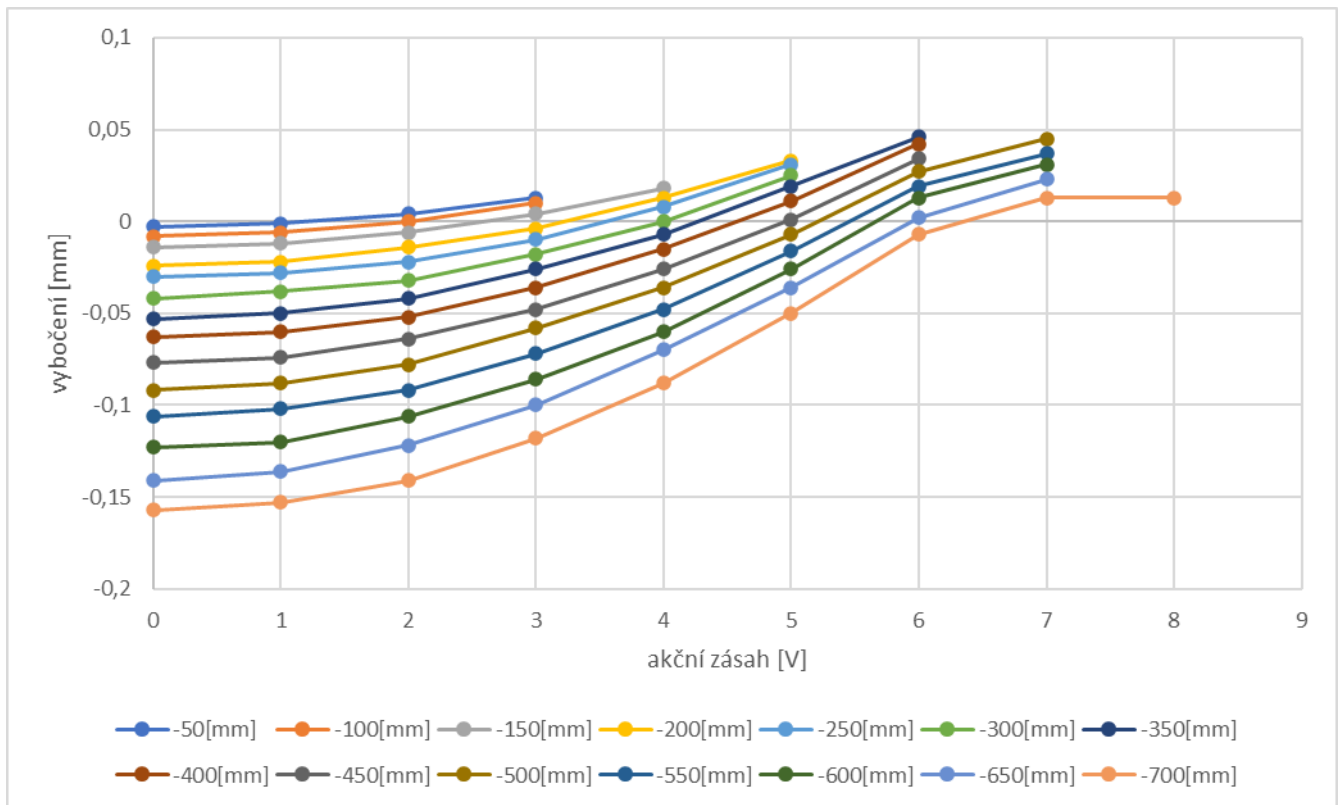
11.3 Měření a určení akčního zásahu

Jak už bylo popsáno v kapitole o programovém vybavení, tohle měření je složené ze dvou kroků. Nejprve se změří referenční hodnota při nulovém vysunutí a následně dojde k vysouvání vřeteníku po -50 [mm]. V prvním kroku bude prováděno měření se změnou akčního zásahu 1 [V]. V případě naměření dvou po sobě jdoucích hodnot, které budou stejné nebo vyšší jako žádaná hodnota, dojde k ukončení tohoto kroku. Poté se určí rozsah akčního zásahu a následně bude prováděno měření v tomto rozsahu s intervalem 0,1 [V]. Takto byla provedena celkově dvě měření – první měření bylo provedeno při vysouvání vřeteníku a druhé měření při zasouvání vřeteníku.

Naměřená žádaná hodnota: -2,4032 [mm].

Tabulka 8. Odchytky naměřených hodnot při vysouvání vřeteníku [mm]

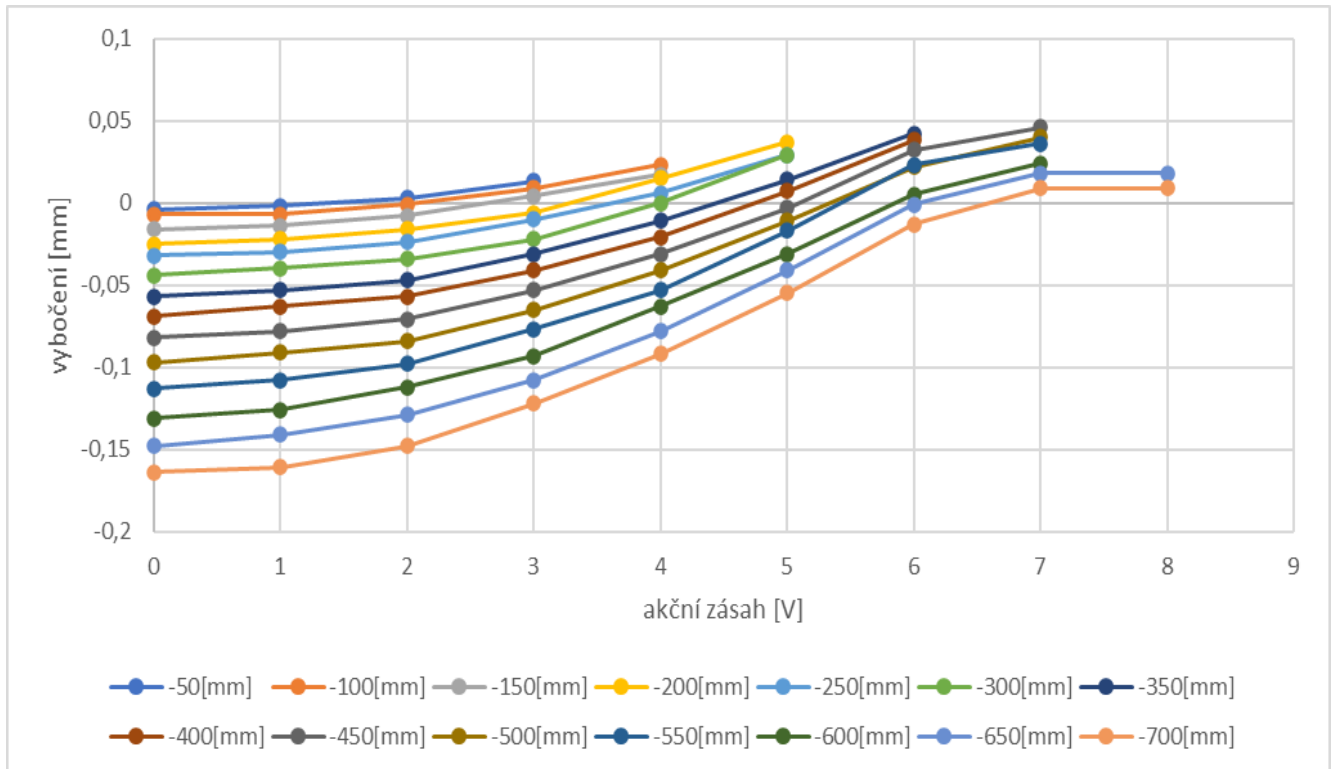
Vzdálenost [mm]	Akční zásah [V]								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
-50	-0,003	-0,001	0,004	0,013					
-100	-0,008	-0,006	0	0,01					
-150	-0,014	-0,012	-0,006	0,004	0,018				
-200	-0,024	-0,022	-0,014	-0,004	0,013	0,033			
-250	-0,03	-0,028	-0,022	-0,01	0,008	0,031			
-300	-0,042	-0,038	-0,032	-0,018	0	0,025			
-350	-0,053	-0,05	-0,042	-0,026	-0,007	0,019	0,046		
-400	-0,063	-0,06	-0,052	-0,036	-0,015	0,011	0,042		
-450	-0,077	-0,074	-0,064	-0,048	-0,026	0,001	0,034		
-500	-0,092	-0,088	-0,078	-0,058	-0,036	-0,007	0,027	0,045	
-550	-0,106	-0,102	-0,092	-0,072	-0,048	-0,016	0,019	0,037	
-600	-0,123	-0,12	-0,106	-0,086	-0,06	-0,026	0,013	0,031	
-650	-0,141	-0,136	-0,122	-0,1	-0,07	-0,036	0,002	0,023	
-700	-0,157	-0,153	-0,141	-0,118	-0,088	-0,05	-0,007	0,013	0,013



Obrázek 39. Graf vybočení při změnách akčního zásahu 1 [V] – směr ven

Tabulka 9. Odchytky naměřených hodnot při zasouvání vřeteníku [mm]

Vzdálenost [mm]	Akční zásah [V]								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
-50	-0,004	-0,002	0,003	0,013					
-100	-0,007	-0,007	-0,001	0,009	0,023				
-150	-0,016	-0,014	-0,008	0,004	0,017				
-200	-0,025	-0,022	-0,016	-0,006	0,015	0,037			
-250	-0,032	-0,03	-0,024	-0,01	0,006	0,029			
-300	-0,044	-0,04	-0,034	-0,022	0	0,029			
-350	-0,057	-0,053	-0,047	-0,031	-0,011	0,014	0,042		
-400	-0,069	-0,063	-0,057	-0,041	-0,021	0,007	0,038		
-450	-0,082	-0,078	-0,071	-0,053	-0,031	-0,003	0,032	0,046	
-500	-0,097	-0,091	-0,084	-0,065	-0,041	-0,011	0,022	0,04	
-550	-0,113	-0,108	-0,098	-0,077	-0,053	-0,017	0,023	0,036	
-600	-0,131	-0,126	-0,112	-0,0931	-0,063	-0,031	0,005	0,024	
-650	-0,148	-0,141	-0,129	-0,108	-0,078	-0,041	-0,001	0,018	0,018
-700	-0,164	-0,161	-0,148	-0,122	-0,092	-0,055	-0,013	0,009	0,009



Obrázek 40. Graf vybočení při změnách akčního zásahu 1 [V] – směr zpět

Z naměřených dat byly vybrány tyto hodnoty akčních zásahů v jednotlivých bodech:

Tabulka 10. Hodnoty akčních zásahů

Vzdálenost [mm]	Směr ven		Směr zpět	
	Dolní mez [V]	Horní mez [V]	Dolní mez [V]	Horní mez [V]
-50	1	2	1	2
-100	2	3	2	3
-150	2	3	2	3
-200	3	4	3	4
-250	3	4	3	4
-300	4	5	4	5
-350	4	5	4	5
-400	4	5	4	5
-450	4	5	5	6
-500	5	6	5	6
-550	5	6	5	6
-600	5	6	5	6
-650	5	6	6	7
-700	6	7	6	7

V těchto intervalech pak bylo provedeno měření s krokem 0,1 [V].

Tabulka 11. Měření s krokem 0,1 [V] – směr ven

Vzdálenost [mm]	Akční zásah [V]										
	Odchylky naměřených hodnot [mm]										
	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
-50	-0,003	-0,002	-0,002	0	0						
-100	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
-100	0	0									
-150	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
-150	-0,006	-0,006	-0,006	-0,004	-0,004	-0,004	-0,002	-0,002	0	0,002	
-200	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4
-200	-0,003	0	0,001								
-250	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4
-250	-0,01	-0,008	-0,006	-0,004	-0,004	-0,002	0	0,001			
-300	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
-300	0,001	0,003									
-350	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
-350	-0,005	-0,001	-0,001	0,001	0,003						
-400	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
-400	-0,015	-0,012	-0,009	-0,005	-0,002	-0,001	-0,001	0,003	0,005		
-450	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
-450	-0,025	-0,024	-0,02	-0,018	-0,015	-0,009	-0,007	-0,005	-0,003	0,001	0,003
-500	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6
-500	-0,006	-0,002	0	0,004							
-550	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6
-550	-0,016	-0,012	-0,008	-0,006	-0,002	0	0,008				
-600	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6
-600	-0,026	-0,022	-0,02	-0,016	-0,012	-0,008	-0,004	0	0,002		
-650	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6
-650	-0,038	-0,034	-0,028	-0,026	-0,022	-0,02	-0,012	-0,002	-0,002	0,002	0,004
-700	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7
-700	-0,009	-0,002	0,002	0,008							

Tabulka 12. Měření s krokem 0,1 [V] – směr zpět

Vzdálenost [mm]	Akční zásah [V]										
	Odchylky naměřených hodnot [mm]										
	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
-50	0	0									
-100	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
-100	0	0,002									
-150	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
-150	-0,006	-0,006	-0,006	-0,004	-0,004	-0,002	-0,002	-0,001	0,001	0,001	
-200	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4
-200	0,002	0,002									
-250	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4
-250	-0,01	-0,01	-0,008	-0,006	-0,004	-0,002	0	0			

Vzdálenost [mm]	Akční zásah [V]										
	Odchyly naměřených hodnot [mm]										
-300	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
	0,002	0,004									
-350	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
	-0,009	-0,007	-0,004	0,002	0,002						
-400	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
	-0,019	-0,015	-0,015	-0,011	-0,009	-0,007	-0,001	0,001	0,003		
-450	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
	0,003	0,007									
-500	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6
	-0,011	-0,007	-0,001	0,001	0,005						
-550	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6
	-0,017	-0,013	-0,009	-0,005	-0,003	-0,001	0,001	0,005			
-600	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6
	-0,032	-0,029	-0,025	-0,021	-0,017	-0,013	-0,011	-0,007	-0,003	0,001	0,005
-650	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7
	-0,02	0,004	0,008								
-700	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7
	-0,01	-0,004	0,004	0,002							

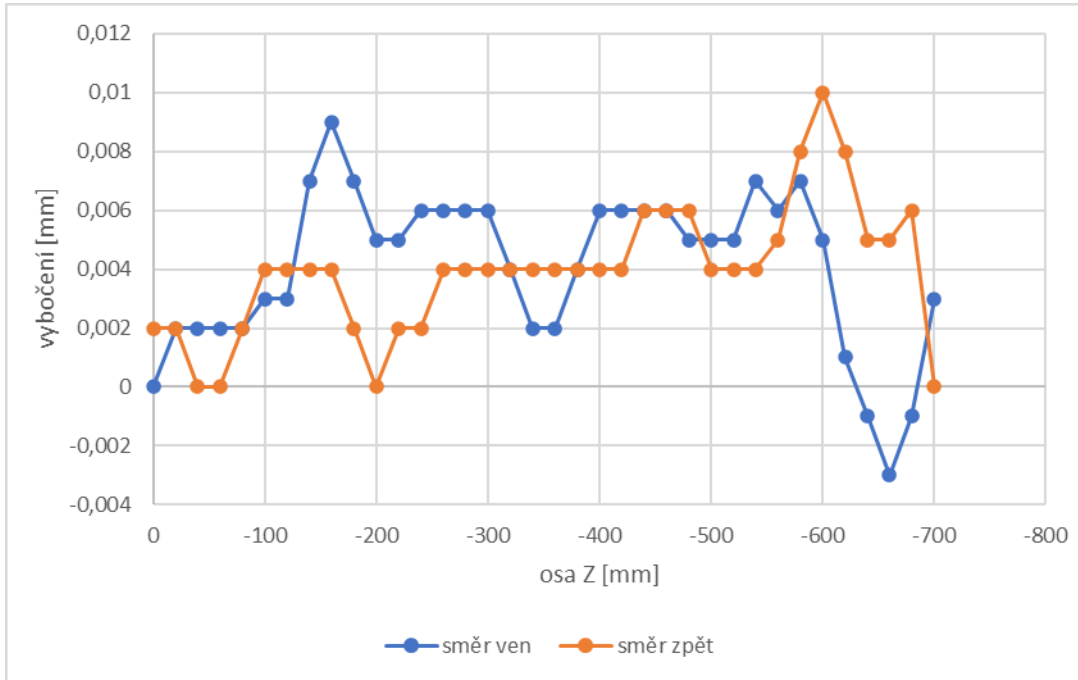
Poté proběhlo vyhodnocení naměřených dat a určení optimálního akčního zásahu. Nalezené hodnoty byly tyto:

Tabulka 13. Výsledné hodnoty akčního zásahu

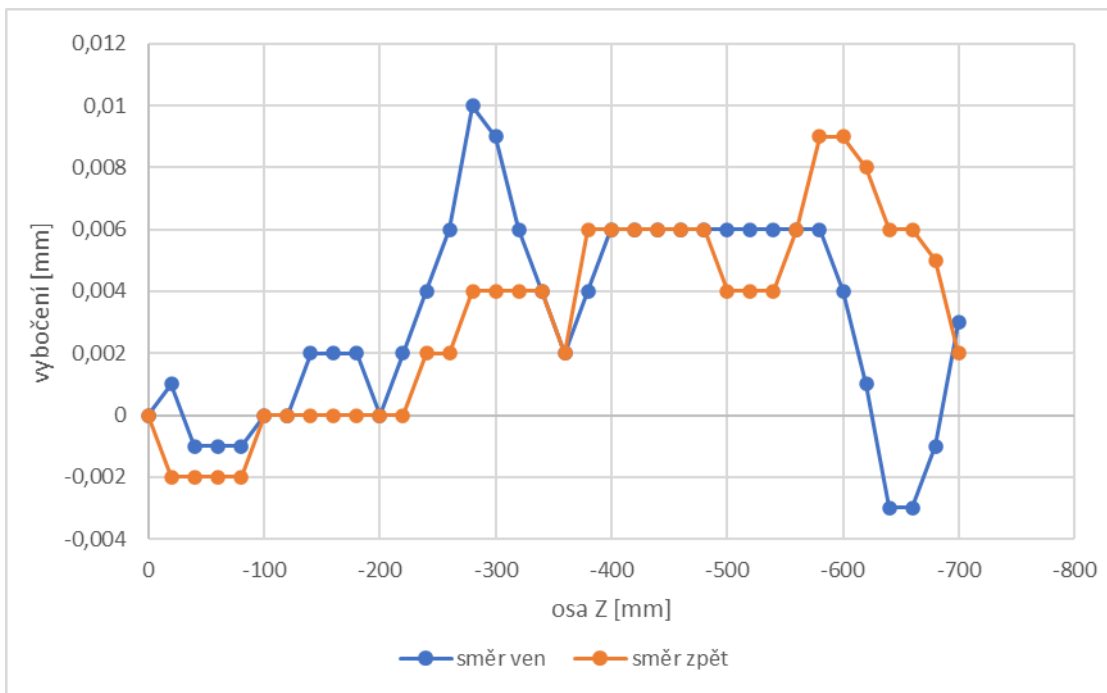
Vzdálenost [mm]	Směr ven	Směr zpět
	Výsledný akční zásah [V]	
-50	1,3	1
-100	2	2
-150	2,8	2,7
-200	3,1	3
-250	3,6	3,6
-300	4	4
-350	4,1	4,3
-400	4,6	4,6
-450	4,9	5
-500	5,2	5,2
-550	5,5	5,5
-600	5,7	5,9
-650	5,7	6
-700	6,1	6,3

11.4 Kontrolní měření

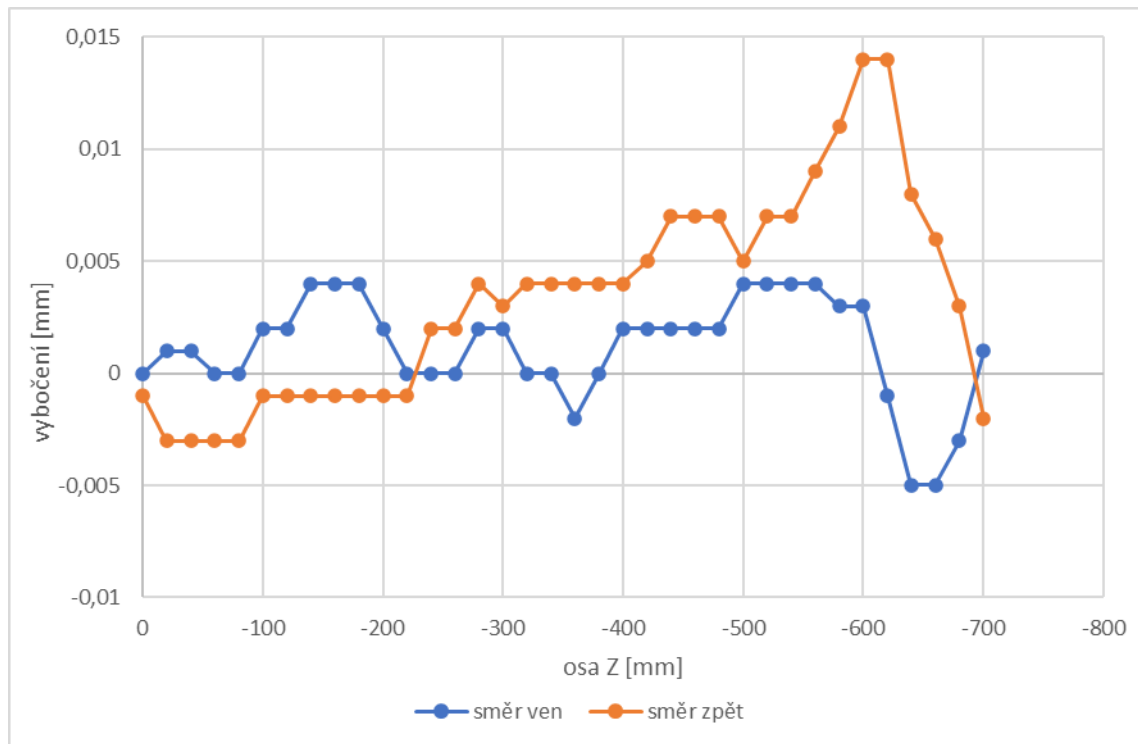
Po určení optimální hodnoty akčního zásahu bylo provedeno kontrolní měření. Toto měření se provádělo po 20 [mm] v obou směrech výsuvu vřeteníku. Celkem proběhla tři měření.



Obrázek 42. Graf prvního kontrolního měření



Obrázek 41. Graf druhého kontrolního měření



Obrázek 43. Graf třetího kontrolního měření

Rozptyl hodnot při jednotlivých měřeních:

Tabulka 14. Rozptyl hodnot kontrolních měření [mm]

1.Měření	2.Měření	3.Měření
0,013	0,013	0,019

Na uvedených grafech můžeme vidět, že akční zásah tlačí vřetení mírně nad žádanou hodnotu. Rozptyl hodnot při prvním a druhém měření byl 0,013[mm], což je velmi dobrý výsledek vzhledem k přípustné toleranci, jenž je 0,03[mm]. Ve třetím měření se objevily dvě hodnoty, které byly mimo ostatní. Tyto hodnoty mohly být způsobené více vlivy. Mohlo dojít k chybě měření nebo mohly být způsobeny mechanickými vlivy jako jsou například drobné nepřesnosti v uložení vřeteníku. Ovšem i přes tyto nepřesnosti bylo tohle měření v rámci přípustné tolerance vybočení.

Bylo provedeno i zkušební měření korekce vybočení pomocí úchylkoměru. V tomto případě bylo naměřeno vyšší zvedání vřeteníku nad žádanou hodnotu, než jaké bylo naměřeno obrobkovou sondou, ovšem i zde se měření vešlo do přípustné tolerance. Pokud by se podobné výsledky opakovaly i na dalších strojích, je možné automaticky odečítat určitou hodnotu nalezeného akčního zásahu. Další možností je doladit oblasti, ve kterých dochází k velkému vybočení pomocí vytvořeného HMI prostředí.

12 HMI PROSTŘEDÍ

V rámci této práce bylo vytvořeno HMI prostředí, díky kterému bude možné nastavovat hodnotu napětí v jednotlivých bodech. Byly vytvořeny celkově dvě obrazovky první pro změnu napětí při vysouvání vřeteníku a druhá pro změnu napětí při zasouvání vřeteníku. Tyto obrazovky by měly sloužit pro případnou korekci naměřených hodnot v případě, že nebudou dostatečně přesné, ale především by měly sloužit pro servisní zásahy u zákazníků. V současné době je při řešení problému vybočení vřeteníku u zákazníka nutné se dálkově připojit k PLC a pomocí informací o vybočení od servisního technika dálkově hledat vhodné proměnné pro akční zásah. Díky tomuto HMI prostředí již nebude nutné dálkové připojení k PLC a servisní technik bude moci nastavit hodnoty akčního zásahu kompenzace sám.



Obrázek 44. Ukázka HMI prostředí 1/2



Obrázek 45. Ukázka HMI prostředí 2/2

Při změně hodnot pomocí této HMI obrazovky je nutné vypočítat nové hodnoty sklonů mezi jednotlivými body. Pro tento výpočet je zde klávesa *FORWARD/BACKWARD MEASUREMENT*. Tato klávesa pomocí funkce *ONE TOUCH MACRO CALL* zavolá podprogram v CNC stroji. V tomto podprogramu se provede převod dat z PLC do CNC, následně se vypočítají hodnoty sklonů a výsledný údaj se zapíše zpět do PLC. Pro spuštění tohoto programu je nutné zvolit automatický režim stroje. Tento způsob výpočtu hodnot byl vybrán proto, že jej stačí vykonat pouze jednou, poté se data zapíše do PLC na již používané adresy a také proto, že se při tomto způsobu použijí pro výpočet makro proměnné, které se po dokončení programu vymažou a není nutné tak trvale zabírat místo v paměti PLC pro dílčí výpočty.

Pro změnu hodnot je nutné nejprve stisknout klávesu *ACTIVE CONTROL*. Po stisknutí této klávesy je možné upravovat hodnoty akčního zásahu v jednotlivých bodech. Možnost editovat hodnoty nám zobrazuje kontrolka *Active control*, která je umístěna vlevo dole. V této oblasti se dále nachází kontrolka *AUTO mode*, která signalizuje, že je vybrán automatický režim stroje. Jako poslední je zde kontrolka *Calculation in progress*, která značí, že je aktivní program pro přepočítání hodnot.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo provedení automatizace měření a automatizované hledání vhodného akčního zásahu pro kompenzaci vybočení vřeteníku horizontálního obráběcího stroje. Současný způsob měření pomocí úchylkoměru byl nahrazen automatizovaným měřením pomocí obrobkové sondy. Měření probíhalo při různém vysunutí vřeteníku a při různých hodnotách akčního zásahu. Z naměřených hodnot byly poté vybrány ideální hodnoty akčního zásahu.

Proces měření vybočení a hledání akčního zásahu je prováděn převážně řídicím systémem CNC stroje. Nalezené hodnoty se poté odešlou do PLC. Řízení akčního zásahu pomocí získaných hodnot je prováděno přes PLC na základě míry vysunutí vřeteníku.

Z hodnot, které byly opakovaně naměřeny při kontrolním měření lze říct, že vybočení vřeteníku je v přípustné toleranci, což potvrzuje správnost zvoleného řešení.

Mezi přínosy této práce lze zařadit ušetřený čas. V současné době může měření a nastavení akčního zásahu trvat i několik hodin. Pomocí automatizovaného způsobu je možné výsledků docílit již za hodinu a půl. Ovšem největším přínosem práce je to, že v případě provádění tohoto úkonu u zákazníka není nutné dálkové připojení do PLC stroje jako tomu bylo doposud. Stačí zde pouze, aby servisní technik na místě spustil měření, popřípadě může být provedena pouze korekce hodnot akčního zásahu pomocí HMI prostředí.

Co se týká ekonomického přínosu této práce, nejsou zde žádné velké ekonomické přínosy ani výdaje. Mezi ekonomické přínosy tak patří pouze ušetřený čas. Co se týče materiálových výdajů, obrobková sonda patří mezi běžně využívané vybavení CNC strojů a není tedy potřeba kupovat specializovaná měřidla.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Computer numerical control (CNC)*. Online. TechTarget. 2023. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/computer-numerical-control-CNC>. [cit. 2024-01-07].
- [2] *Jak funguje CNC stroj*. Online. Factory automation. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/jak-funguje-cnc-stroj/>. [cit. 2024-01-07].
- [3] *THE HISTORY OF COMPUTER NUMERICAL CONTROL*. Online. Institute of technical trades. 2016. Dostupné z: <https://www.instituteoftechnicaltrades.com/post/history-computer-numerical-control>. [cit. 2024-01-07].
- [4] *10 dat z historie obrábění na CNC strojích kam sahá historie CNC obrábění*. Online. Factory automation. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/10-dat-z-historie-obrabeni-na-cnc-strojich-kam-saha-historie-cnc-obrabeni/>. [cit. 2024-01-07].
- [5] POLÁŠEK, Jaromír. *ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ STROJE*. Online. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf. [cit. 2024-01-07].
- [6] MANA, Marek. *ŘÍDICÍ SYSTÉM CNC STROJŮ A MOŽNOSTI VYUŽITÍ* [online]. Brno, 2012 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_ve-rejne.php?file_id=53813. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] *Souřadný systém u soustruhů*. Online. Číslicově řízené stroje. Dostupné z: https://net.kolofikopava.cz/pernikar/nove_www/CNC_soubory/souradnice1.htm. [cit. 2024-01-07].

- [8] CNC Milling Coordinate System Made Easy. Online. 2021, roč. 2021. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-coordinate-system-made-easy/>. [cit. 2024-01-07].
- [9] LEE, Joe. *What is a 5-Axis CNC Machine, and How Do They Work?* Online. Gensun. 2021. Dostupné z: <https://www.china-machining.com/blog/what-is-a-5-axis-cnc-machine/>. [cit. 2024-01-09].
- [10] LIE, Jack. *The Anatomy of a CNC Machine: Exploring the CNC Block Diagram and its 13 Key Components*. Online. Runsom. Dostupné z: <https://www.runsom.com/blog/13-parts-of-a-cnc-machine-cnc-block-diagram/>. [cit. 2024-01-09].
- [11] *PROGRAMOVÁNÍ A ŘÍZENÍ CNC STROJŮ* [online]. Liberec, 2005 [cit. 2023-11-05]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI.
- [12] CNC Programming: How CNC Machine Programming Works? *WAYKEN RAPID MANUFACTURING* [online]. 2023 [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://waykenrm.com/blogs/cnc-machine-programming/>
- [13] *K čemu slouží G kódy a M kódy?* Online. Macmatic. 2016. Dostupné z: <https://www.macmatic.cz/component/content/article/40-technicke-clanky/66-k-cemu-slouzi-g-kody-a-m-kody>. [cit. 2024-01-14].
- [14] *Řídící systémy cnc strojů. Poznejte jejich historii!*. Online. Factory automation. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-jejich-historii/>. [cit. 2024-01-14].
- [15] *Řídící systémy cnc strojů. Poznejte různé typy řízení*. Online. Factory automation. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-rizeni/>. [cit. 2024-01-14].
- [16] Historie FANUC. FANUC. *FANUC* [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsme/fanuc-historie>

- [17] *Products*. Online. Fanuc america. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/products>. [cit. 2024-01-14].
- [18] *CNC Series 30i / 31i / 32i-MODEL B*. Online. Fanuc. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/cnc-system/series-30i-31i-32i>. [cit. 2024-01-14].
- [19] Probing and tool measurement systems for machine tools. *RENISHAW* [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/en/probing-and-tool-measurement-systems-for-machine-tools--6073>
- [20] *RMP60 – radio machine probe*. Online. RMP60 – radio machine probe. Dostupné z: https://cdn11.bigcommerce.com/s-82x61ffcq2/content/machine_tool_probes/inspection_probes/RMP60_installation_guide.pdf. [cit. 2024-01-14].
- [21] *RMP60*. Online. RMP60 – radio machine probe. Dostupné z: <https://www.pqiprobing.com/inspection-probes/rmp60/>. [cit. 2024-01-14].
- [22] KLOCOVÁ, Eva. Sinumerik slaví půlstoletí. Online. Roč. 2010. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/sinumerik-slavi-pulstoleti>. [cit. 2024-01-19].
- [23] *CNC systémy SINUMERIK*. Online. Siemens. Dostupné z: <https://www.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/cnc-sinumerik.html>. [cit. 2024-01-19].
- [24] *Technologická exploze po koronaviru*. Online. Siemens vision. 2020. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/technologicka-exploze-po-covidu>. [cit. 2024-01-19].
- [25] *HEIDENHAIN – Průkopník v měřicí a regulační technice s dlouholetou tradicí*. Online. Heidenhain. Dostupné z: <https://www.heidenhain.cz/onas/milniky>. [cit. 2024-01-19].

- [26] Řešení HEIDENHAIN pro vaše speciální aplikace. Online. Heidenhain. Dostupné z: <https://www.heidenhain.cz/prumyslova-odvetvi-a-aplikace>. [cit. 2024-01-19].
- [27] Obráběcí stroj. Online. Heidenhain. Dostupné z: <https://www.heidenhain.cz/prumyslova-odvetvi-a-aplikace/obrabeci-stroj>. [cit. 2024-01-19].
- [28] CNC-řídící systémy. Online. Heidenhain. Dostupné z: <https://www.heidenhain.cz/produkty/cnc-ridici-systemy>. [cit. 2024-01-19].
- [29] Souvislý řídící systém TNC7. Online. Heidenhain. Dostupné z: <https://www.heidenhain.cz/obrabeci-stroj/tnc7/ridici-system>. [cit. 2024-01-19].
- [30] Proporcionální ventily. Online. Yuken. Dostupné z: <https://www.yuken.cz/produkty/proporcionalni-ventily>. [cit. 2024-01-21].
- [31] Datasheet_EL6_ha9150_EN. Online. Dostupné z: https://www.argohyos.com/fileadmin/user_upload/Datasheet_EL6_ha9150_EN.pdf. [cit. 2024-01-21].
- [32] Connection and maintenance manual. Online. Dostupné z: <https://ballardintl.com/wp-content/uploads/2020/03/FANUC-IO-Model-A.pdf>. [cit. 2024-03-29].
- [33] Analog Output connetions. Online. Robot-forum.com. 2019. Dostupné z: <https://www.robot-forum.com/robotforum/thread/32510-analog-output-connetions/>. [cit. 2024-03-29].
- [34] NAVRÁTIL, Pavel. *Programování PLC*. Online. Zlín, 2019. [cit. 2024-04-02].
- [35] PŘÍRUČKA POGRAMÁTORA PLC TECOMAT. Online. 13. VYDÁNÍ. 2007. Dostupné

z: [https://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/PLC_sup/TXV00109_\(v13\)_Priruc_ka_programatora_PLC_TECOMAT.pdf](https://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/PLC_sup/TXV00109_(v13)_Priruc_ka_programatora_PLC_TECOMAT.pdf). [cit. 2024-04-02].

[36] *Princip činnosti PLC*. Online. Elektronická učebnice. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/967>. [cit. 2024-04-02].

[37] HLÁSKOVÁ, Ludka. Tvarování CNC technikou. Online. In: . S. 18. Dostupné

z: https://fraxinus.mendelu.cz/vyuka/soubory/TMZD_NMS/Povinne_volitelne_predmety/Tvarovani_materialu_na_bazi_dreva/pr07%20Tvarov%C3%A1n%C3%AD%20CNC_tehnikou.pdf. [cit. 2024-05-01].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC	Computer Numerical Control
NC	Numerical Control
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
HMI	Human Machine Interface
LD	Ladder Diagram
MCU	Micro Controller Unit
PLC	Programmable Logic Controller
RMP	Radio Machine Probe

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Zjednodušené schéma CNC obráběcího stroje [10].....	11
Obrázek 2. Souřadný systém soustruhu [7]	14
Obrázek 3. Souřadný systém frézky [8].....	15
Obrázek 4. Souřadný systém tříosého obrábění [37].....	15
Obrázek 5. Souřadný systém čtyřosého obrábění [37]	16
Obrázek 6. Souřadný systém pětiosého obrábění[9]	16
Obrázek 7. Ukázka řádku NC programu [11].....	17
Obrázek 8. Systém firmy Fanuc [17].....	22
Obrázek 9. Systém řady Sinumerik ONE [24]	23
Obrázek 10. Řídicí systém Heidenhain TNC7 [29].....	23
Obrázek 11. Obrobková sonda RMP60 [21]	24
Obrázek 12. Blokové schéma proporcionálního ventilu [31].....	25
Obrázek 13. Schéma analogové výstupní karty [33]	26
Obrázek 14. Cyklus PLC [35].....	27
Obrázek 15. Výsuvný vřeteník horizontálního obráběcího stroje	29
Obrázek 16. Měření pomocí úchylkoměru	30
Obrázek 17. Převod výsledné hodnoty na vstup analogového výstupu.....	31
Obrázek 18. Přiřítání hodnoty 1 k akčnímu zásahu.....	31
Obrázek 19. Dělení vzdálenosti konstantou při vysunutí nad 400[mm].....	31
Obrázek 20. Obrobková sonda RMP60 na obráběcím stroji	32
Obrázek 21. Směr os souřadného systému stroje	32
Obrázek 22. Schéma systému při hledání optimálních hodnot.....	34
Obrázek 23. Řídicí jednotka a PLC	35
Obrázek 24. Analogová výstupní karta.....	35
Obrázek 25. Proporcionální ventil	36
Obrázek 26. Zobrazovací jednotka a vstupní zařízení	36
Obrázek 27. Akční člen FANUC	37
Obrázek 28. Lineární odměřování Heidenhain	37
Obrázek 29. Schéma systému při běžném používání	37
Obrázek 30. Diagram měření a určení akčního zásahu	38
Obrázek 31. Diagram funkce hlavního programu	39
Obrázek 32. Diagram hrubého měření.....	41

Obrázek 33. Diagram pro hledání rozsahu hodnot akčního zásahu.....	42
Obrázek 34. Ukázka výpočtu směrnice úsečky	43
Obrázek 35. Ukládání dat do PLC – instrukce XMOVB	45
Obrázek 36. Graf odchylek měření při nulovém akčním zásahu.....	48
Obrázek 37. Graf odchylek vybočení vřeteníku při akčním zásahu od 0 do 10 [V] směrem ven.....	49
Obrázek 38. Graf odchylek vybočení vřeteníku při akčním zásahu od 0 do 10 [V] směrem zpět.....	50
Obrázek 39. Graf vybočení při změnách akčního zásahu 1 [V] – směr ven.....	52
Obrázek 40. Graf vybočení při změnách akčního zásahu 1 [V] – směr zpět.....	53
Obrázek 41. Graf druhého kontrolního měření.....	56
Obrázek 42. Graf prvního kontrolního měření	56
Obrázek 43. Graf třetího kontrolního měření	57
Obrázek 44. Ukázka HMI prostředí 1/2.....	58
Obrázek 45. Ukázka HMI prostředí 2/2.....	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Výhody a nevýhody CNC obráběcích strojů [10], [11].....	13
Tabulka 2. Specifikace obrobkové sondy RMP60 [20].....	24
Tabulka 3. Technická data proporcionálního ventilu [31].....	25
Tabulka 4. Vstupně – výstupní poměr analogové karty ADA02A [32].....	26
Tabulka 5. Naměřená data při nulovém akčním zásahu.....	47
Tabulka 6. Odchytky vybočení při změně akčního zásahu od 0 do 10 [V] směrem ven	49
Tabulka 7. Odchytky vybočení při změně akčního zásahu od 0 do 10 [V] směrem zpět	50
Tabulka 8. Odchytky naměřených hodnot při vysouvání vřeteníku [mm].....	51
Tabulka 9. Odchytky naměřených hodnot při zasouvání vřeteníku [mm].....	52
Tabulka 10. Hodnoty akčních zásahů.....	53
Tabulka 11. Měření s krokem 0,1 [V] – směr ven.....	54
Tabulka 12. Měření s krokem 0,1 [V] – směr zpět.....	54
Tabulka 13. Výsledné hodnoty akčního zásahu.....	55
Tabulka 14. Rozptyl hodnot kontrolních měření [mm].....	57
Tabulka 15. Seznam jednotlivých NC programů.....	73

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Hlavní NC program

PŘÍLOHA P I: HLAVNÍ NC PROGRAM

V této příloze je uveden hlavní NC program, ve kterém je prováděna počáteční inicializace a následně se volají jednotlivé podprogramy.

Z důvodu rozsáhlosti ostatních NC a PLC programů jsou tyto programy vloženy na CD, které je přiložené k diplomové práci.

Pro přehlednost je na konci této přílohy tabulka, které obsahuje názvy přiložených NC programů a jejich funkce.

%

<HLAVNI_PROGRAM_MERENI>

(HLAVNI PROGRAM PRO MERENI, PROVEDE VSECHNA MERENI TAM I ZPET)

(UPRAVENY PRO MERENI VSECH NAPETI V JEDNOM BODE)

#1=1(POCITANI CYKLU MERENI)

#2=14(MAXIMALNI POCET CYKLU MERENI)

G65P9832(AKTIVACE SONDY)

G43H1G91Z0(KOMPENZACE NASTROJE)

G90(ABSOLUTNI PROGRAMOVANI)

GOTO888

#3962=627(PRO POSILANI SIGNALU DO PLC)

G54G90Y2(NAJEZD NA POZICI)

G31G91Z-700F3000(KONTROLA)

IF[#3963AND1]EQ1]THENGOTO10(SEPNUTI SONDY BEHEM KONTROLY)

IF[#3963AND0]EQ0]THENGOTO20(SONDA SE NESEPLA, KONTROLA PROBEHLA V PORADKU)

N10

G65P9833(DEAKTIVACE SONDY)

M30(KONEC MERENI)

N20(NAJETI DO POCATECNICH POZIC)

G54G90Y10

G54G90Z0

G54G90Y2

G65P9811Y-1Q5(MERENI - TATO HODNOTA BUDE SLOUZIT JAKO ZADANA HODNOTA PRO CELY ROZSAH MERENI)

#700=#136(ZAPIS HODNOTY)

G54G90Y10


```
WHILE[#1LE#2]DO
G65P9050A#1(ZAVOLANI PODPROGRAMU PRO HRUBE MERENI)
G65P9051B#1(ZAVOLANI PODPROGRAMU PRO VYPOCET MEZI AKCNIHO
ZASAHU)
G65P9052I#1(ZAVOLANI PODPROGRAMU PRO JEMNE MERENI)
#1=#1+1(ZVYSENI HODNOTY)
END1
N888
#1=1
WHILE[#1LE#2]DO1
G65P9060A#1(URCCENI NAPETI V JEDNOTLIVYCH BODECH)
G65P9061B#1(VYPOCET SMERNIC MEZI JEDNOTLIVYMI BODY)
#1=#1+1
END1
G65P9062(ZAPIS HODNOT SMEREM VEN Z CNC DO PLC)
#1=1(NASTAVENI CYKLU MERENI)
G65P9065(PODPROGRAM PRO VYMAZANI MAKER)
WHILE[#1LE#2]DO2
G65P9055A#1(ZAVOLANI PODPROGRAMU PRO HRUBE MERENI SMEREM ZPET)
G65P9056B#1(ZAVOLANI PODPROGRAMU PRO VYPOCET MEZI AKCNIHO
ZASAHU SMEREM ZPET)
G65P9057I#1(ZAVOLANI PODPROGRAMU PRO JEMNE MERENI SMEREM ZPET)
#1=#1+1(ZVYSENI HODNOTY)
END2
#1=1(NASTAVENI CYKLU MERENI)
WHILE[#1LE#2]DO1
G65P9060A#1(URCCENI NAPETI V JEDNOTLIVYCH BODECH)
G65P9061B#1(VYPOCET SMERNIC MEZI JEDNOTLIVYMI BODY)
#1=#1+1(ZVYSENI HODNOTY)
END1
G65P9063(ZAPIS HODNOT DO PLC SMEREM ZPET)
G65P9833(DEAKTIVACE SONDY)
M30
%
```

Tabulka 15. Seznam jednotlivých NC programů

NÁZEV PROGRAMU	FUNKCE PROGRAMU
HLAVNI_PROGRAM_MERENI	Hlavní program pro celé měření
O9050	Hrubé měření – směr vpřed
O9051	Výpočet rozmezí akčního zásahu – směr vpřed
O9052	Jemné měření – směr vpřed
O9055	Hrubé měření – směr vzad
O9056	Výpočet rozmezí akčního zásahu – směr vzad
O9057	Jemné měření – směr vzad
O9060	Určení napětí
O9061	Výpočet směrníc
O9062	Zápis hodnot do PLC – směr vpřed
O9063	Zápis hodnot do PLC – směr vzad
O9065	Vymazání maker
O9101	Řízení akčního zásahu z CNC
O9955	Přepoččet sklonu a odeslání hodnot do PLC – HMI vpřed
O9956	Přepoččet sklonu a odeslání hodnot do PLC – HMI vzad