



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

NÁVRH CNC ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

DESIGN OF CNC CONTROL SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Ondřej Sobotka

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Pavel Houška Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Ondřej Sobotka

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh CNC řídicího systému

v anglickém jazyce:

Design of CNC control system

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá návrhem řídicího CNC systému pro aplikace nevyžadující současný synchronizovaný pohyb více os najednou. Cílem je navrhnout systém kompatibilní s G-kódem, který umožní řídit zařízení s kartézským souřadným systémem. Přínosem bude možnost použití levných řídicích jednotek s RS232/RS485 komunikačních jednotek a běžného PC pro běh řídicího systému.

Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se s problematikou CNC řídicích systémů a G-kódem.
2. Řešte komunikaci s dostupnými řídicími jednotkami pohonů.
3. Navrhněte strukturu řídicího systému.
4. Realizujte řídicí systém a vybrané G a M funkce, nutné pro řízení tříosého stroje.
5. Řešte problematiku přesnosti polohování jednotlivých os i přesnosti stroje jako celku.

Seznam odborné literatury:

- [1] Pavelka J., Čeřovský Z., Javůrek J., Elektrické pohony, Nakladatelství ČVUT, Praha 2003
- [2] Souček, P.: Servomechanismy ve výrobních strojích, monografie, vydavatelství ČVUT 2004, ISBN 80-01-02902-6
- [3] Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors, 2004, Springer-Verlag, ISBN 0-378-00750-4
- [4] Noskiewicz, P.: Modelování a identifikace systémů, Montanex a.s., Ostrava 1999, ISBN 80-7225-030-2
- [5] National Instruments: LabView Control Design User Manual 371057 [online], 2009, dostupné z URL:<<http://www.ni.com>>

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Houška, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 25.11.2013




Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem řídicího CNC systému pro aplikace nevyžadující synchronizovaný pohyb více os najednou. Cílem je kompatibilita s G-kódem, který umožní řídit zařízení s kartézským souřadným systémem. S užitím běžného PC pro běh systému a komunikaci pomocí sériové linky.

Abstract

The thesis describes the design of a control system for CNC applications which do not require synchronized motion of several axis at once. The goal is compatibility with G-code that allows you to control the device with a Cartesian coordinate system. With the use of the normal PC to run the system and communicate via serial line.

Klíčová slova

G-kód, automatizace, RS232/485, CNC

Keywords

G-code, automation, RS232/485, CNC

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 30. května 2014

.....
podpis studenta

Bibliografická citace

SOBOTKA, O. Návrh CNC řídicího systému. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Houška, Ph.D..

Poděkování

Děkuji panu Ing. Pavlu Houškovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost, cenné rady a připomínky při tvorbě mé práce. Dále bych rád poděkoval firmě Routech s.r.o. za zapůjčení řídicích jednotek.

Obsah:

1	ÚVOD	13
2	CNC řídicí systémy.....	15
2.1	Struktura CNC systémů pro stavbu obráběcích strojů.....	15
2.1.1	Řídicí systém	15
2.1.2	Modulární pohonný systém	16
2.1.3	Motory	16
2.1.4	Periferie řídicích systémů	16
2.1.5	Příslušenství modulárních systémů	17
2.2	HMI CNC systémů	18
2.2.1	Provozní režimy CNC systému	20
2.3	Programování CNC obráběcích strojů	21
2.4	Struktura programu G-kódu.....	21
2.5	Struktura bloku	22
2.6	Příklad obecné struktury G-kódu	22
3	Struktura standardu G-kódu pro vytvářený řídicí systém	25
3.1	Řízené osy.....	25
3.2	Číslování bloků (řádků)	26
3.3	Úvod a konec programu.....	26
3.4	Funkce interpolace	26
3.4.1	G00 - Nájezd do polohy (rychlostní polohování) skupina 01	26
3.4.2	G01 - Lineární interpolace (pracovní polohování) skupina 01.....	27
3.4.3	G02/03 – Kruhová interpolace skupina 01	28
3.4.4	G04 – Časová prodleva skupina 00	28
3.5	Funkce ovlivňující chování stroje.....	28
3.5.1	G17,G18,G19 - Volba souřadné roviny skupina 02	28
3.5.2	G20,G21 - Vstup v milimetrech nebo palcích skupina 06	28
3.5.3	G28 - Nájezd do referenční polohy skupina 00	29
3.5.4	G40,G41,G42 – Korekce na poloměr nástroje skupina 07.....	29
3.5.5	G54 – G59 Volba posunutí souřadného systému skupina 12.....	31
3.5.6	G90,G91 - Absolutní a inkrementální zadávání hodnot skupina 03.....	31
3.5.7	G94,G95 - Způsob zadávání posuvu skupina 05	31
3.6	M-funkce.....	32
3.7	Technologické informace.....	33
4	Definice parametrů stroje a dodaných komponent	35
4.1	Konstrukce stroje	35

4.2	Parametry stroje	37
5	Návrh struktury řídicího systému	39
5.1	Hardwarová struktura stroje	39
5.2	Nastavení jednotek	40
6	Návrh systému	43
6.1	Definice parametrů stroje	43
6.2	Konfigurace G-kódu	44
6.3	HMI provozní režimy řídicího systému.....	46
6.3.1	HMI režim Homing.....	46
6.3.2	HMI Manuální provoz.....	46
6.3.3	HMI program.....	47
6.4	Struktura CNC systému	47
7	Problematika přesnosti polohování	49
7.1	Možnosti metod měření přesnosti polohování.....	50
7.2	Stanovení teoretické přesnosti polohování	51
7.2.1	Teoretický výpočet přesnosti polohování	53
7.2.2	Teplotní ovlivnění přesnosti stroje	54
7.3	Přesnost najíždění na referenční snímač.....	55
7.4	Stanovení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslicově řízených osách dle ČSN ISO 230-2:2010	56
7.4.1	Definice parametrů pro měření	56
8	Závěr	59
9	Bibliografie.....	61

1 ÚVOD

Práce se zabývá návrhem univerzálního řídicího systému pro kartézský stroj. Kartézský souřadný systém se vyznačuje třemi navzájem kolmými osami, které se protínají v jednom bodě. Kartézské stroje se využívají jako základ některých 3-osých manipulátorů, obráběcích center a mnoha dalších zařízení. Uplatnění těchto strojů spočívá hlavně v aplikacích, kde se nesmí měnit orientace objektu při pohybu a tam kde je ideální pracovní prostor vytyčen hranolem. Užití automatizovaných strojů pomáhá k snížení zmetkovitosti, zlepšení kvality, úspor pracovních míst a zvýšení zisku. Aby stroj zlepšil kvalitu, je nutné provést měření přesnosti stroje a zjistit jeho aplikovatelnost pro danou situaci.

Výrobou kartézských strojů se zabývají velcí i malý výrobci. Velcí výrobci vsázejí na embedded systém, který využívá jádra procesoru běžného PC, avšak většina ostatních dílů je plně přizpůsobena řízení stroje v těžkých provozních podmínkách. Menší výrobci využívají implementaci běžného PC s Windows nebo Linux a řízení přes komunikační porty PC.

Řídicí systém je programovatelné zařízení, které ovládá technologický proces. Pro univerzálnost řídicího systému je nutné použít systém, který je dobře dostupný, a proto bude volba systému směřována k běžnému nebo průmyslovému PC. Jelikož požadujeme, aby byl stroj univerzální, budeme zadání funkcí realizovat G-kódem, který se převážně používá pro řízení NC a CNC obráběcích strojů. Řízení pohonů budeme optimalizovat pro řízení z běžného PC, a proto vybereme moduly, které lze řídit přes standardní rozhraní PC. Tato řešení většinou neumožňují real-time řízení. Užitím PC jako řídicího systému má i pozitivní vlastnosti jako možnost zobrazení technologických programů a výkresové dokumentace, možnost zálohování po síti atd. Ve většině průmyslových aplikací je toto také možné, ale donedávna většinou za příplatek.

Toto řešení je cíleno k navrhnutí levného systému pro více druhů aplikací. V našem řešení bychom chtěli implementovat jednoduché zadání pro různé rozměry stroje. Abychom dokázali zajistit univerzálnost, bude nutné vybrat vhodného výrobce pohonů s širokým sortimentem pohonů. Při výsledné aplikaci na stávajícím konstrukci stroje zjistíme s jakou synchronností dokážeme polohovat v 3-osém souřadném systému. V jaké přesnosti a rychlosti je stroj schopen pracovat. Jestli je běžné PC schopno řídit stabilně stroj. [1]

2 CNC ŘÍDICÍ SYSTÉMY

Na trhu je mnoho výrobců, kteří se zabývají vývojem a prodejem řídicích CNC systémů. Z pohledu zastoupení na českém trhu se jedná především o Siemens, Heidenhain, Fanuc a Mitsubischi, kteří dodávají své řídicí systémy výrobcům kovoobráběcích strojů pro třískové obrábění. Celosvětově lze do této skupiny výrobců zařadit například ještě Fagor a Emco. Tito výrobci udávají trend ve vývoji CNC systémů. Další skupinou výrobců jsou výrobci výrobních strojů, kteří si vyvíjí vlastní CNC systémy pro své stroje např. Hass, STYLE CNC, Okuma a Hurco. Poslední skupinou jsou výrobci low-cost systémů, kteří prodávají jednoduché CNC systémy s různými parametry a vlastnostmi. Tyto systémy jsou většinou postaveny na krokových motorech bez zpětné vazby, a proto nejsou vhodné do výrobních provozů, kde je potřeba minimalizovat zmetkovitost.

Při výběru řídicího systému pro obráběcí centra se nejvíce klade důraz na výkon, rychlost zpracování dat, snadnost obsluhy a programování, dostupnost servisu a především spolehlivost. Dostupnost servisu, respektive náhradních dílů, po skončení záruční doby bývá velmi často velký problém u low-cost systémů.

Podstatným kritériem je také datová správa technologických programů (založení, ukládání, kopírování, mazání a možnost tvorby složek). Většina systému se potýká s malou vnitřní pamětí cca. 60Mb a omezenou pamětí na počet technologických programů. Toto je velmi podstatná nevýhoda při malosériové výrobě. Některé stroje mají zabudovanou ethernetovou kartu, ale toto je spíše záležitost novějších dražších strojů. U ostatních strojů je řešena komunikace pouze přes RS232 port nebo slotem pro datovou kartu. Při nahrávání a vyhrávání programů je potom nutné mít zastaven běh programu, což vede k prodlužování výrobních časů.

Záleží také na typu výkresové dokumentace k výrobě, některé systémy již nabízejí možnost obdoby CAM (ComputerAidedManufacturing) [2] softwarové podpory pro 3D modely přímo v systému stroje. Toto řešení se využívá především v jednodušší malosériové výrobě bez užití obrábění 3D ploch. V dnešní době převládají spíše CAM software, které generují G kód nebo jiný univerzální kód pro stroje dané firmy. Univerzálnost a přenositelnost kódu do jiného stroje je velmi důležitá z důvodu využitelnosti rozmanitého strojového parku firem.

2.1 Struktura CNC systémů pro stavbu obráběcích strojů

Současné CNC řídicí systémy jsou koncipovány modulárně. Toto řešení nabízí velkou variabilitu systému a možnost uplatnění nejen v řízení obráběcích strojů. Modulární systémy se skládají z dvou základních částí: vlastního řídicího systému, HMI (humanmachine interface) a modulárního pohonného systému.

2.1.1 Řídicí systém

U všech zmiňovaných výrobců je možno vybírat z široké škály řídicích systémů s již implementovaným uživatelským rozhraním. CNC řídicí systémy se standardně dodávají s možností řízení 3 až 21os, s omezením synchronních os. Řídicí systém se skládá z průmyslového PC, MCI-Board a systémového softwaru. Na obr.1 je znázorněn ve skupině PCU(polystaticky centrovaná umyvadla). Pomocí rozhraní např. Profibus jsou připojeny pohony a periferie. Mezi periferie patří strojní panel, zobrazovací jednotka nebo ruční kolečko. [3]



Obr. 1 Varianty modulárního systému Sinumerik [4]

2.1.2 Modulární pohonný systém

Pohonný systém tvoří frekvenční digitální měniče a motory se snímači. Modulární systém se vyznačuje jednotnou velikostí modulů (mění se pouze šíře), rozhraním pro napájení a komunikaci. Modulární systém nabízí velkou variabilitu ve volbě pohonů. Někteří výrobci nabízí i software pro správné sestavení modulů a motorů.

2.1.3 Motory

Nabízené motory lze rozdělit do dvou skupin synchronních a asynchronních motorů. Do skupiny synchronních motorů patří hlavně posuvové motory a zabudovatelné vřetena. Standardní posuvové motory jsou 1FK7 a 1FT7, tyto motory jsou určeny pro spojení s mechanismem, který vykonává pohyb. Novinkou posledních let jsou lineární motory typ 1FN3 a prstencový 1FW6. Tyto motory se vyznačují vyšší přesností (jejich přesnost je dána snímačem polohy), jelikož jejich konstrukce nevyužívá pro pohyb mechanických převodů. Poslední skupinou synchronních motorů jsou zabudovatelná vřetena, na obr.1 je znázorněn 1FE1 a elektrovřeteno 2SP1. Asynchronní motory tvoří skupinu motorů pro vřetena na obr.1 motor typ 1PH8. [3]

2.1.4 Periferie řídicích systémů

Mezi periferie patří především HMI (Humanmachine interface). HMI CNC systému bude popsáno v následující kapitole. Dále nabízejí možnost komunikace s dalšími automatizačními moduly např. manipulačními roboty, PLC jednotkami, výstup dat pro sledování produkce stroje atd.

2.1.5 Příslušenství modulárních systémů

Modulární sestavy mají k dispozici mnoho příslušenství. Pro CNC stroje se typicky využívají především 3D obrobkové sondy a nástrojové sondy. Někteří výrobci se v této oblasti neangažují a toto příslušenství kooperují například s fa. Renishaw nebo fa. Blum.



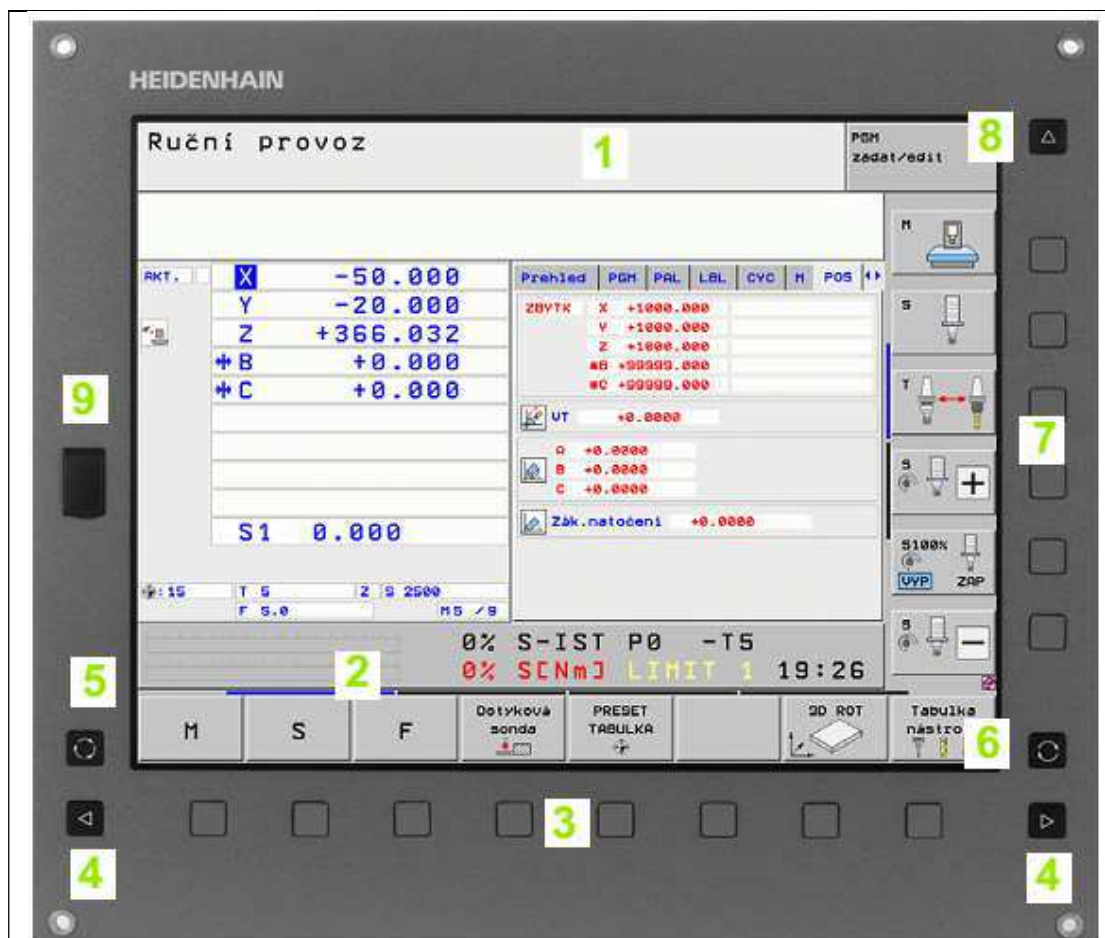
Obr. 2 Možnosti příslušenství fa. BLUM [5]



Obr. 3 Nástrojová sonda Renishaw TS27R [6]

2.2 HMI CNC systémů

Ovládací panel je základní složkou HMI (humanmachine interface), slouží jako rozhraní mezi obsluhou a CNC systémem. V této kapitole uvedeme řešení ovládacího panelu a režimy, ve kterých se vykonávají technologické operace.



Obr. 4 Monitor ovládacího panelu TNC 530i fa.Heidenhain [7]

Obrazovka je složena :

1. Záhloví - zobrazuje se aktuální provozní režim (při poruše chybová hláška)
2. Softtlačítka – zobrazení významu softkláves – pro zobrazení cyklů, funkci atd.
3. Softklávesy
4. Přepínání lišt softtlačítek
5. Definování rozdělení obrazovky – změna pravé poloviny obrazovky (např. lze zobrazit čas vykonávání programu nebo aktuálního posunutí nul.bodu)
6. Tlačítko přepínání mezi strojními a programovacími režimy
7. Softklávesy definované výrobcem stroje – většinou servisní zásahy a funkce v ručním režimu
8. Přepínání softkláves výrobce stroje
9. Konektor USB

Strojní panely jsou konstruovány primárně tlačítkově z důvodu znečištění a vyšší odolnosti panelu. Dotykové panely strojů se používají spíše v čistých provozech.



Obr. 1 Strojní panel TNC 530i [7]

Strojní panel se skládá z :

1. Abecední klávesnice – zadávání názvů programů, komentářů a programování DIN/ISO
2. Souhrn tlačítek – Správa souborů, kalkulátor, MOD-funkce, nápověda a error
3. Programovací provozní režimy
4. Strojní provozní režimy
5. Tlačítka pro programování v dialogu
6. Směrové klávesy a příkaz skoku GOTO – slouží pouze pro editaci software (nelze pohybovat osami)
7. Numerická klávesnice s volbou os
8. Touchpad
9. Navigační klávesy smarT.NC

2.2.1 Provozní režimy CNC systému

Ruční provoz a ruční kolečko

Tento režim slouží k nastavení nulových bodů. S osami lze pohybovat pomocí tlačítek nebo ručního kolečka. Rychlost posuvu může být ovlivněna potenciometrem. V tomto režimu lze roztočit vřeteno.

Polohování s ručním zadáváním

Režim slouží k jednoduchému naprogramování např. přejetí plochy. Většina systémů okamžitě zapomíná provedenou instrukci.

Program zadat/editovat

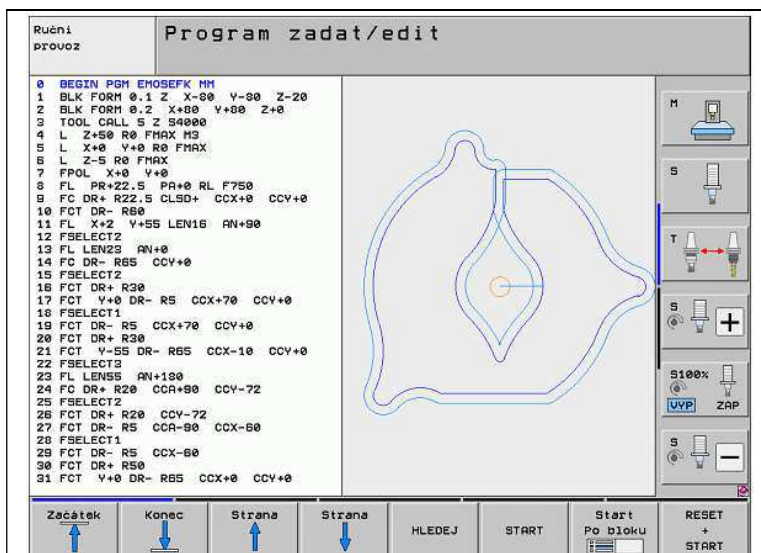
Režim pro tvorbu CNC kódu. Možno provozovat i za běhu technologického programu. Většinou obrazovka rozdělena na dvě poloviny, v jedné probíhá editace kódu, v druhé se zobrazuje programovaná kontura nebo nápověda k cyklům.

Program test

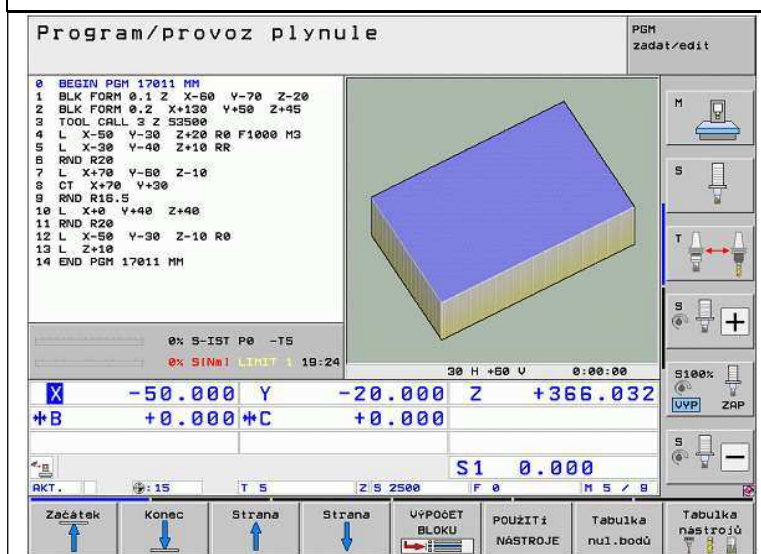
Režim pro testování programu, v němž stroj simuluje dráhy pohybu. Podobné zobrazení jako u režimu zadat /edit, ale s možností přepnutí do 3D zobrazení. Režim se používá pro odhalení chyb a kolize nástroje s obrobkem v programu. Není možno provozovat zároveň s vykonáváním technologického programu.

Provádění programu plynule a po bloku

Program se provádí plynule až do konce programu nebo okamžitě programového, případně ručního zastavení. V režimu po bloku je po každém řádku nutné stisknout tlačítko START [7]



Obr. 5 Provozní režim Zadat/Editovat TNC 530i [7]



Obr. 6 Provozní režim Provoz plynule TNC 530i [7]

2.3 Programování CNC obráběcích strojů

Pro programování CNC strojů je doporučován standard RS274D, který byl vyvíjen od 60.let minulého století asociací EIA (Electronic Industry Association) do roku 1980, kdy byl přijat jako standard. [8]

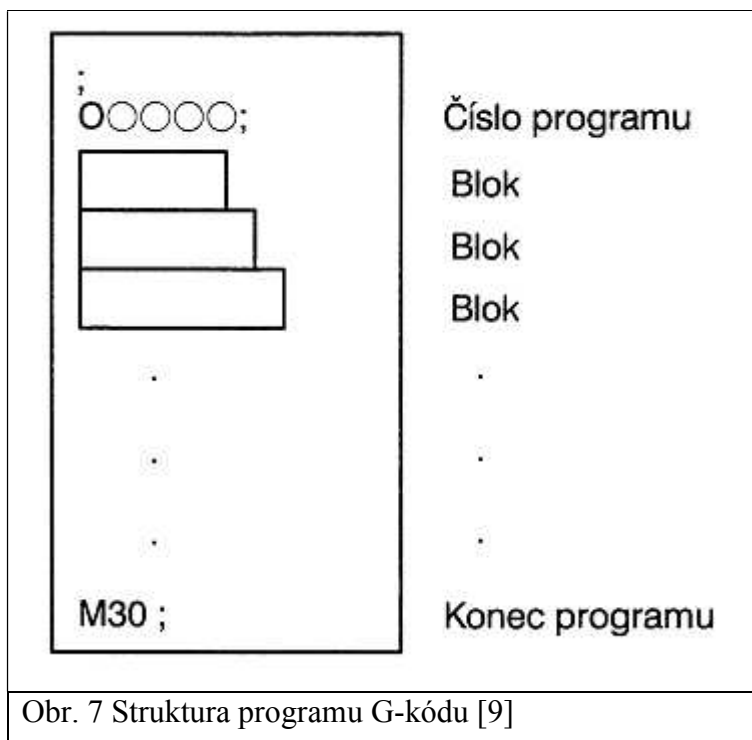
Tento standard je jednotlivými výrobci doplňován o nové cykly a funkce. Doplňování se již neprovádí formou revizí standardu, ale každý výrobce si definuje svoje vlastní funkce. Využití tohoto standardu je v CAM programování, kde počítačem generovaný kód je vytvářen pomocí základních funkcí. Tyto základní funkce jsou většinou stejné u všech výrobců a proto je kód přenositelný. [8]

Hlavní rozdíly mezi jednotlivými G-kódy jsou v počátku a konci kódu. Výrobci užívají standard definovaný fa. Fanuc, nebo si definují vlastní standard, který uvedou v návodu pro obsluhu systému.

Většina výrobců vyvíjí také svůj vlastní programovací jazyk. V těchto jazycích jsou implementovány různé funkce z CAM software. Hlavně v prostředí programování kontur jsou tyto systémy na vysoké úrovni. Kontura se kreslí podobně jako v CAD systémech pro PC. Výrobci implementují mnoho cyklů pro obrábění kontury, tyto cykly jsou většinou velmi dobře graficky zpracované. Tato programovací prostředí jsou u každého výrobce jedinečná.

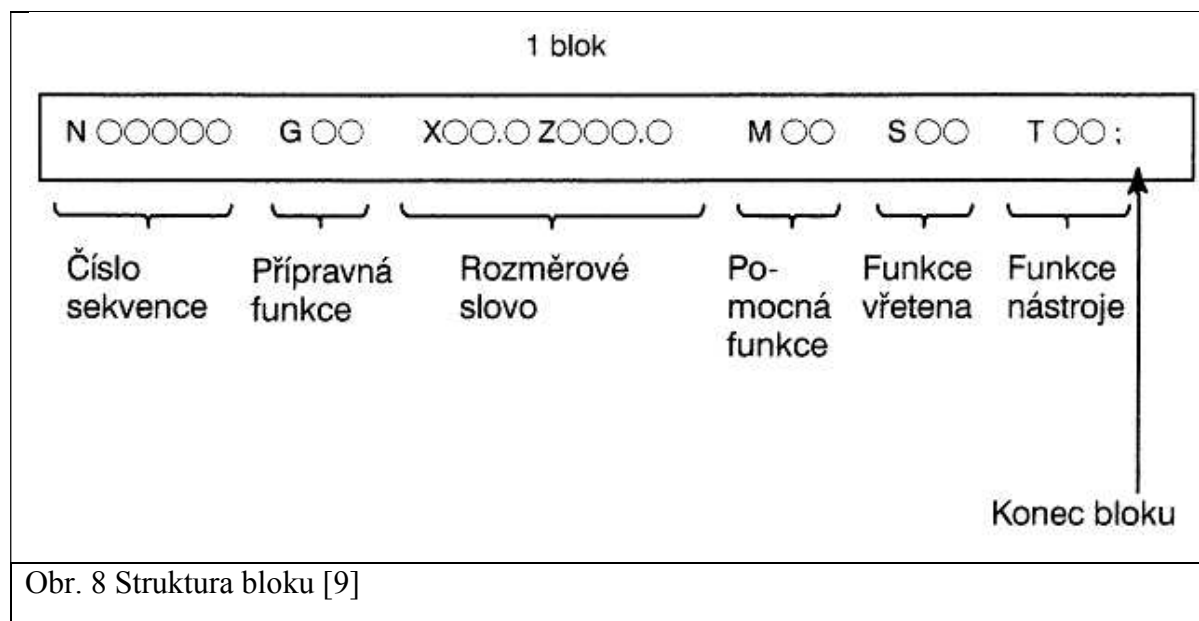
2.4 Struktura programu G-kódu

Program je skupina povelů zadávaných CNC systému pro vykonávání technologických operací. Vykonávání povelů probíhá po kroku. Skupina kroků se nazývá blok. Každý blok má své číslo. Číslo pro rozlišení bloků se nazývá číslo sekvence. Slouží pro snadnou orientaci v programu, pro běh programu není u většiny systémů potřebné. Blok je v některých literaturách nazýván řádek. Na počátku programu je obvykle „;“ nebo „%“. Na dalším řádku za písmenem O se nalézá čtyřmístné číslo programu. Následuje sekvence bloků. Kód konce programu je M02 nebo M30. [9]



2.5 Struktura bloku

První argument bloku je sekvenční číslo, následuje přípravná funkce standardizovaná dle RS274D. Základních přípravných funkcí je méně než 100. Funkce mají definované skupiny (group), aby se zamezilo užití dvou funkcí rozporného charakteru. Rozměrové slovo je definováno přípravnou funkcí. Pomocná funkce se nazývá někdy strojní funkcí, tyto funkce se také přiřazují do skupin. Celý řádek končí znakem konce bloku „;“ nebo není použit. Za konec bloku lze zapsat komentář. Komentář je většinou umístěn do závorek „()“ nebo ho lze zapsat za znak konce bloku. Jednotlivé přípravné a pomocné funkce užití pro návrh rozebereme později. [9] [10]



2.6 Příklad obecné struktury G-kódu

Obecná struktura se skládá z počátku programu, následuje úvodní část, kde jsou definovány technologické podmínky např. rovina obrábění, typ nástroje, otáčky vřetena, roztočení vřetena atd. Další částí je samotné obrábění, které je složeno především pohyby a cykly (vrtání, závitování...). Poslední částí programu je závěr programu kde se nachází vyjetí do bezpečné polohy, přijetí stolu do výměny obrobku atd. Jako poslední se program ukončí funkcí M30 nebo M02. [9]

%	Počátek programu v komentáři název programu
O0001(ZKOUSKA)	
N10 G17 G21 G40 G54 G90 G94	Volba roviny Xp Yp; Zrušení korekce na poloměr nástroje; Načtení nulového bodu obrábění; Vstup v milimetrech; Absolutní programování; Posuv v jednotkách mm/min
N15 T1 M6	Vyvolání nástroje
N20 S1000 M3 M8	Nastavení otáček vřetene; Roztočení vřetene; Zapnutí chladicí kapaliny
N25 G00 X91.25 Y63.181	Rychloposuv na souřadnice zadané hodnotami v kartézském souřadném systému
N30 G00 Z2	Rychloposuv k materiálu (pokud je materiál na souřadnici Z0)
N35 G01 Z-10 F166	Pracovní posuv do řezu
N40 X63.75 Y15.55 F332	Pracovní posuv (pokud je funkce použita na předchozím řádku není nutné ji opětovně volat)
N45 G00 Z10	Odjezd z řezu
N50 G91 G28 Z0	Inkrementálního programování; Výjezd do referenční polohy
N55 T0 M6	Uklizení nástroje do zásobníku (vyjmutí nástroje)
N60 M30	Konec programu
%	

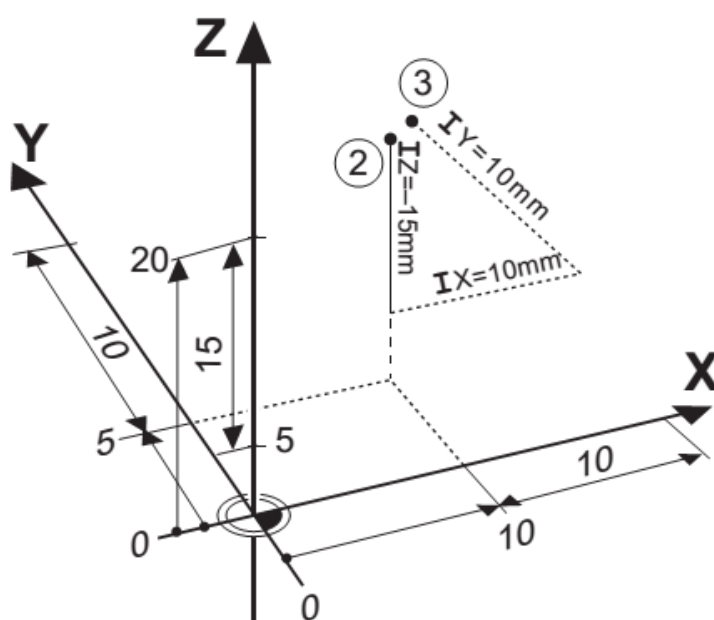
Tabulka 1 příklad G-kód

3 STRUKTURA STANDARDU G-KÓDU PRO VYTVÁŘENÝ ŘÍDICÍ SYSTÉM

Každý CNC systém má definovanou strukturu NC programu, kde je definováno jaké G kódy (přípravné funkce) a M funkce (strojní funkce) lze použít společně na jednom řádku a které kombinace vyhlásí chybu. Z tohoto důvodu jsou G-kódům a M-funkcím přiřazeny skupiny. Z každé skupiny může být na řádku pouze jeden příkaz. Výpis všech uvažovaných G kódů a M funkcí lze nalézt v programovacích příručkách. Z důvodu úprav kódů výrobců strojů není u všech příkazů přiřazena skupina, ale pro vybrané funkce byly definovány. [11]

3.1 Řízené osy

CNC systém bude dimenzován na řízení 3 os kartézského stroje.



Obr. 9 Kartézský souřadný systém [11]

Absolutní zápis do základních řízených os je pomocí adres X,Y,Z. Jejich přírůstkové hodnoty je možné zadat dvěma způsoby (na Obr. 9 znázorněny I(název osy)):

1. U,V,W – uvedené pořadí koresponduje s pořadím os
2. Změnou absolutního programování na přírůstkové příslušnou přípravnou funkcí

Př.

X25 – pozice je nastavena na 25mm

U25 – aktuální pozice je změněna o 25mm

Pomocné osy I,J,K udávají střed v kartézských souřadnicích při funkci G02/G03

3.2 Číslování bloků (řádků)

Všechny G-kódy a M-funkce by měli mít číslo bloku. Číslo bloku slouží pro jednodušší editaci a orientaci v programu. Číslo řádku není nijak specifikováno a je možno číslovat např. po násobcích 5. Většina strojů načítaný G-kód automaticky přečísluje. Číslo řádku je u starších strojů omezeno jako 5 místné a poté začíná od začátku. Číslo řádku má adresu N {číslo řádku} (Number of program line). [10]

3.3 Úvod a konec programu

Jako úvodní a koncový znak používá většina výrobců %, proto bude použito také. Název programu je řešen písmenem O s 4 místným číslem. Následuje komentář (název programu), který je uzavřen v závorkách. Někteří výrobci se snaží přizpůsobit programovacím jazykům, proto používají jako oddělovač komentáře středník, ale nepoužívají číselné značení programu. Pro stroj jsem zvolil komentáře v závorkách. [9] [10] [11]

Před koncovým znakem každého programu musí být pomocná funkce M02/M30. Při použití funkce M99 vznikne nekonečná smyčka a program poběží vždy od začátku. (Toto lze použít při automatické výměně dílů. Běh programu se zastaví stop tlačítkem.) [9]

Př.

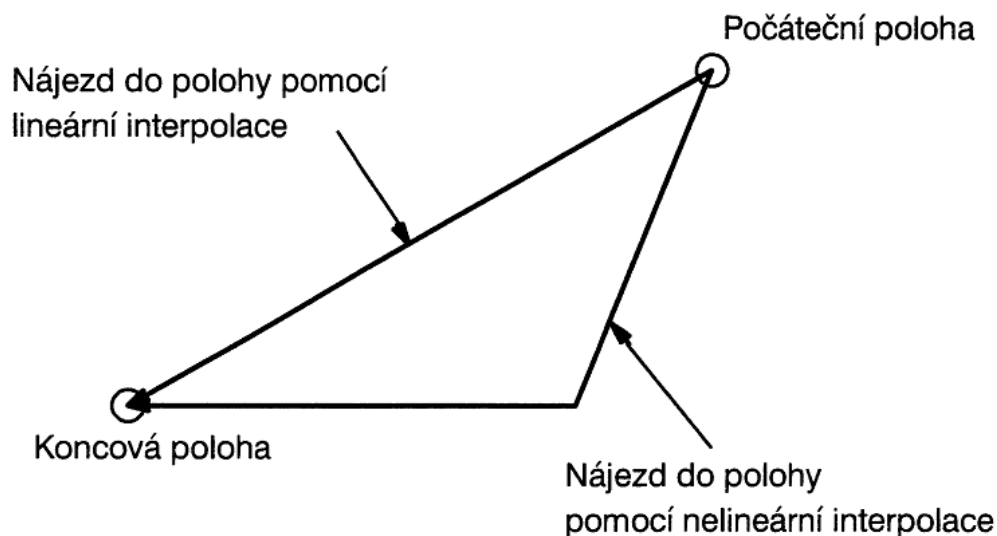
```
%
O1111 (název programu)
.
.(komentář)
.
N99999 M30
%
```

3.4 Funkce interpolace

Tyto funkce využívají pohyby os k dosažení pozice zadané uživatelem. Pozice je interpolována systémem po co nejideálnější křivce.

3.4.1 G00 - Nájezd do polohy (rychlostní polohování) skupina 01

Polohování v nejkratším možném čase na danou pozici. Využívá se maximální rychlosti os stroje. V dnešní době se ustupuje od maximální rychlosti všech os a nahrazuje se pozicováním s omezením nejpomalejší osy, aby dráha nástroje byla interpolována do přímky. Toto pozicování má zásadní vliv na simulace v CAM software, protože zde jsou dráhy simulovány jako přímky, a proto může dojít ke kolizi s materiálem. Na obr. 10 je znázorněno polohování. Lomená přímka zobrazuje maximální rychlost všech os. Parametry této funkce jsou kartézské souřadnice. [9] [10]

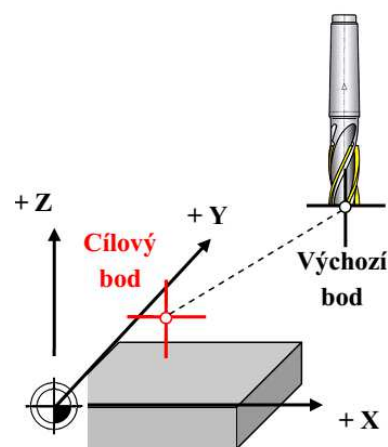


Obr. 10 Pohyb lineární a nelineární interpolací [9]

Velikost rychloposuvu se určuje parametrem výrobce stroje pro každou osu zvlášť (nemusí být stejné). Dosažení polohy je určeno taktéž výrobcem a to parametrem rozsahu polohy motoru. Pro navrhovaný systém bude požadována lineární interpolace. [9]

Př.

G00 X0 Y0 Z0 (polohování na pozici [0,0,0])



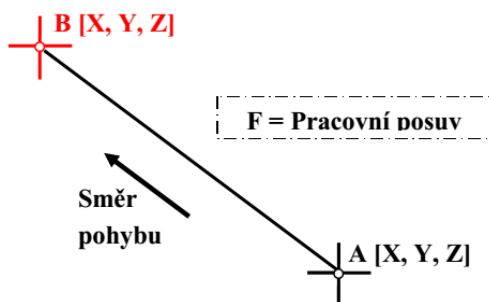
Obr. 11 Polohování [12]

3.4.2 G01 - Lineární interpolace (pracovní polohování) skupina 01

Podobné G00 ale trajektorie je vždy lineární a polohování je prováděno danou rychlostí F. Stroj se pohybuje pracovním posuvem F a vykonává technologickou operaci. [10] [9]

Př.

G01 X0 Y0 Z0 (polohování na pozici [0,0,0] danou rychlostí např.[mm/min])



Obr. 12 Funkce G01

3.4.3 G02/03 – Kruhová interpolace skupina 01

Systém je řešen pro nesynchronní pohyb, a proto bude funkce řešena v rámci CAM softwarem, který vygeneruje přímkami interpolaci se zadanou přesností. [10]

3.4.4 G04 – Časová prodleva skupina 00

Časová prodleva se využívá např. při rozběhu vřetene, dokončování dna Časová prodleva nezastavuje otáčení vřetena. Pouze se zastaví pohyb os. [9] [10]

Př.

G04 P1.5 (čekání 1,5ms, X1,5 – 1,5s)

3.5 Funkce ovlivňující chování stroje

Tyto funkce určují např. použité jednotky, roviny obrábění nebo také způsob programování a jiné. Jedná se tedy o funkce definující parametry řízení stroje.

3.5.1 G17,G18,G19 - Volba souřadné roviny skupina 02

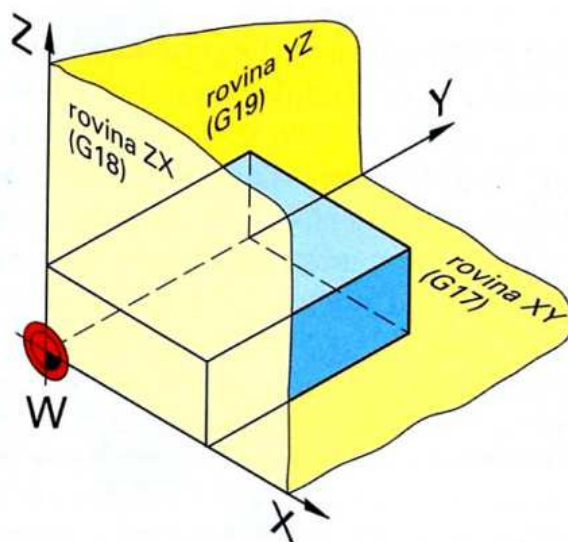
Zadané G funkce lze provádět ve více rovinách, nastavené rovině se imaginárně přiřadí souřadnice x,y. Součást je poté vyrobena v jiné rovině. Standardní rovina pro kartézský stroj je G17. [12]

Př.

G17 (rovina x-y)

G18 (rovina z-x)

G19 (rovina y-z)



Obr. 13 Volba souřadného systému [12]

3.5.2 G20,G21 - Vstup v milimetrech nebo palcích skupina 06

Př.

G20 (milimetry)

G21 (palce) [10]



Obr. 14 Měřítka [13]

3.5.3 G28 - Nájezd do referenční polohy skupina 00

Nájezd do referenční polohy provede najetí do referenční polohy stroje (není závislý na posunutí nulového bodu). Nájezd je proveden rychloposuvem. Používá se většinou pro vyjetí do ruční výměny, nebo jako koncové pozice při ukončení programu. Touto funkcí **není zaručen nájezd na referenční snímač**, většinou je najetí referenčních bodů nutnou součástí zapínacího cyklu stroje. [11] [9] [10]

Př.

G91 G28 X0 Y0 Z0

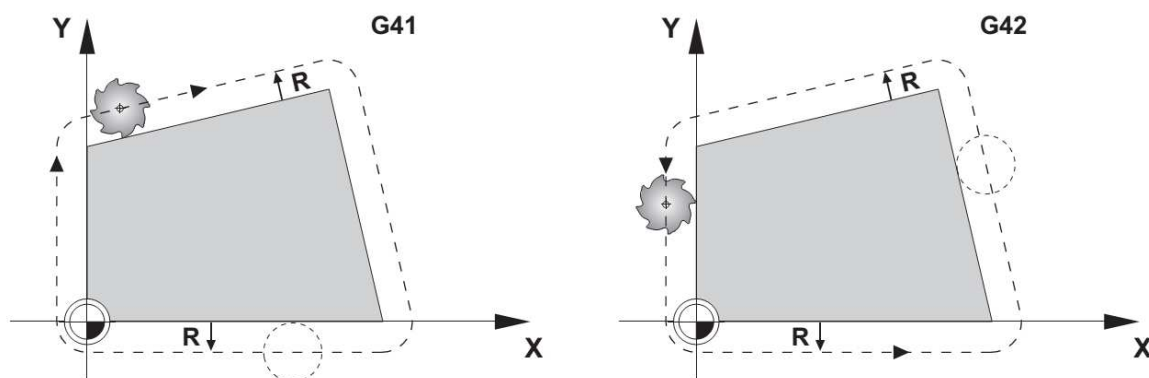
nebo

G28 U0 W0 H0 – záleží na volbě zadávání přírůstkových hodnot

Tuto funkci budeme realizovat funkčním tlačítkem implementovaným do ovládacího panelu. A její funkční význam dáme jako najetí do definovaného bodu nezávislého na posunutí nulového bodu. Využití bude tedy mít pro výměnu nástroje a ukončení programu. Zadání funkce je možné uvedenými způsoby. [11] [9] [10]

3.5.4 G40,G41,G42 – Korekce na poloměr nástroje skupina 07

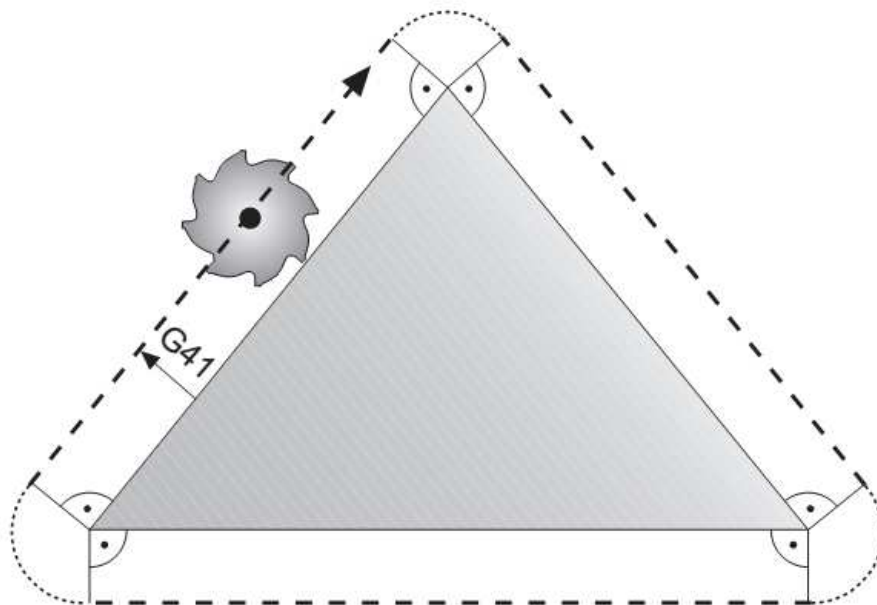
Korekce na poloměr nástroje není závislá na tvaru frézy. Využívá se při potřebě vytvoření stejného obrysu stejným programem, ale odlišným průměrem nástroje. Nástroj se pohybuje po ekvidistantě která je dána vzdáleností (poloměrem) od naprogramovaného obrysu. Různým průměrem je myšleno i změna poloměru nástroje v průběhu opotřebení. Použití této funkce taktéž ovlivňuje průběh řezání třísky. [11] [10] [7]



Obr. 15 Funkce G41 a G42 [11]

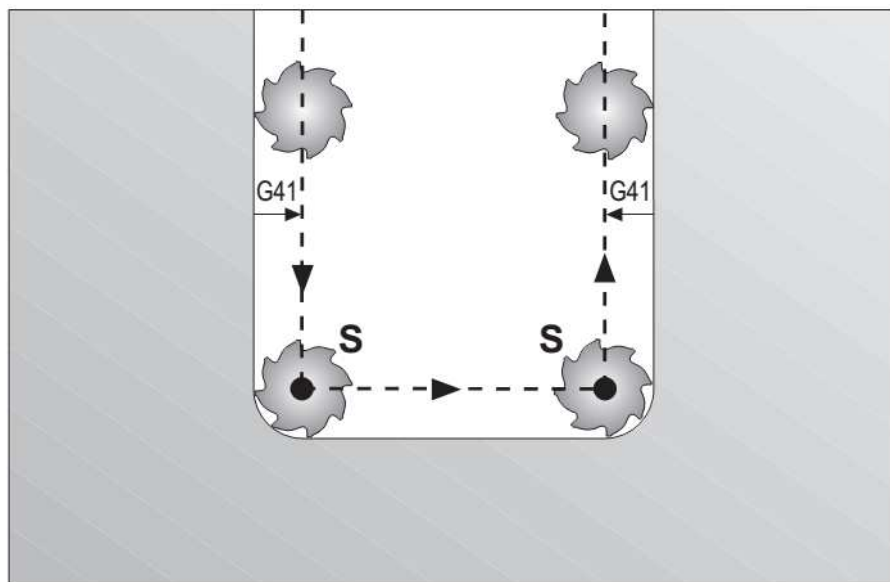
Funkce G40 provede pohyb po naprogramované kontuře, funkce G41 vlevo od kontury obrobku vzhledem k pohybu nástroje. Frézování v tomto případě je nárazové a průběh třísky při řezu od největšího po nejmenší. Využívá se při frézování tenkostěnných výrobků, ale je náročný na tuhost soustavy nástroj - obrobek. Funkce G42 provede pohyb vpravo od kontury a nazývá se nesousledné frézování, využívá se hlavně na strojích s vůlí v pohybové soustavě. [14] [10] [7]

U této funkce je nutné definovat chování při kopírování vnějšího a vnitřního obrysu. Pro vnější obrys se vytvoří ekvidistanta, u které začíná radius rohu kolmo na přilehlé rovině viz Obr. 16. V rohách probíhá redukce posuvu. [11]



Obr. 16 Polohování zvenku ostrého rohu [11]

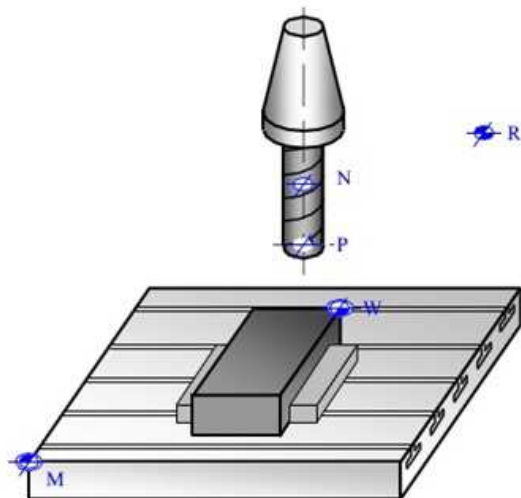
Vnitřní obrys má opačný problém oproti vnějšímu. Stroj musí identifikovat, zda dokáže nástroj požadovaný radius vytvořit. Pokud je součást programována po přímkách, není nutné problém řešit. Nástroj odsadí pouze nástroj o zadaný poloměr. I zde je provedena redukce posuvu. [11]



Obr. 17 Polohování uvnitř kontury [11]

3.5.5 G54 – G59 Volba posunutí souřadného systému skupina 12

CNC stroje pracují většinou s pěti vztažnými body. Jako hlavní je považováno:



Obr. 18 Vztažné body CNC frézka [12]

M-nulový bod stroje: Je stanoven přesnou vzdáleností od referenčního bodu stroje výrobcem. Považujeme ho za výchozí pro všechny ostatní systémy a body.

W-nulový bod obrobku: Nastavuje ho obsluha stroje v potřebném místě obrobku, ke kterému je vztažen program. Může se polohovat pomocí nástroje a dosáhnout tak délkové korekce nástroje.

R-referenční bod stroje: Mechanicky pevně stanovený bod. Po zapnutí vždy stroj najede do této pozice, aby zjistil svoji polohu. (neplatí u strojů s absolutním odměřováním polohy).

F-vztažný bod vřetene: K bodu F se vztahuje délková korekce nástroje (bod špičky nástroje).

Tento bod má stanovenou pouze výškovou vzdálenost od M. Tato vzdálenost je stejná od kteréhokoliv bodu na stole.

P-bod špičky nástroje: Leží na čelní ploše nástroje.

Pro posunutí nulového bodu obrobku se používají funkce G54-G59, nebo je v systému implementována tabulka nulových bodů s interním voláním. Volání funkce G54 je ukázáno v obecné struktuře programu. V systému pro naše řešení bude použita tabulka s referenčním bodem, která se vyvolá funkcí G54. Délková korekce nástroje (bod špičky nástroje) bude určen taktéž v oddělené tabulce společně s rádiusovou korekcí nástroje. Zadávané informace budou upřesněny později. [12] [10]

3.5.6 G90,G91 - Absolutní a inkrementální zadávání hodnot skupina 03

Zadávání hodnot může probíhat ve dvou režimech, absolutní spočívá v zadání hodnoty, která je pevně vztažena k počátku nebo referenčnímu bodu souřadného systému. Inkrementální zadávání probíhá pomocí přičtení hodnoty k aktuální pozici. Viz Obr. 9. [11] [10]

Př.

G90 (Absolutní programování)

G91 (Inkrementální programování)

3.5.7 G94,G95 - Způsob zadávání posuvu skupina 05

Př.

G94 (posuv v jednotkách mm/min)

G95 (posuv v jednotkách mm/ot)

V některých novějších systémech použit mm/břít. Toto zjednodušení vychází z důvodu specifikace obráběcích destiček v katalogu, kde je tato hodnota uvedena. V tabulce nástrojů musí být poté implementována hodnota počtu břítů nástroje. [11] [10]

3.6 M-funkce

Strojní funkce jsou zapnuty, dokud je nezruší jiná funkce nebo funkce konce programu. Jedná se o funkce, které neovlivňují chování systémů polohování. M-funkce jsou taktéž rozděleny na skupiny a funkce stejné skupiny nesmějí být použity na jednom řádku.

M00/M01 – Programové zastavení (skupina 04)

Provede zastavení otáčení vřetene, chlazení a běhu programu po stlačení tlačítka start program opět pokračuje v běhu. Po rozběhnutí programu je nutné znovu roztočit vřeteno a zapnout chladicí kapalinu.

M02/M30 – Konec programu (skupina 04)

Provede zastavení vykonávání programu a skok na první řádek. Program je možno spustit znovu od začátku. U některých strojů otevře dveře.

M03 – Otáčení vřetene po směru hod ručiček (skupina 07)

Nazýváno taktéž otáčení vpravo. Nutno zadat rychlost otáčení parametrem S. Pokud není rychlost zadána, otáčí se naposledy použitou.

M04 – Otáčení vřetene proti směru hod ručiček (skupina 07)

Nazýváno taktéž otáčení vlevo.

M05 – Vypnutí otáček vřetene

Vřeteno je odpojeno od napětí, většina CNC strojů vřeteno měničem zpomaluje.

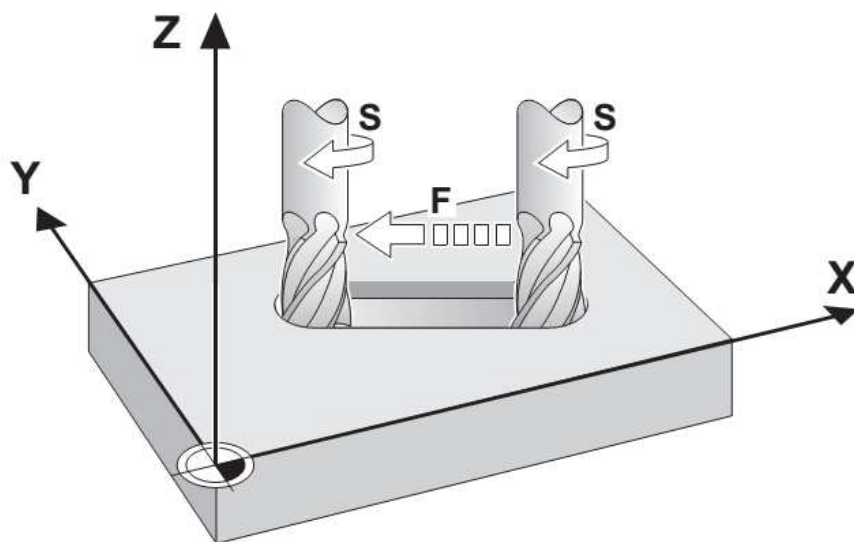
3.7 Technologické informace

Mezi technologické informace patří:

S – rychlost otáčení nástroje (otáčky/min)

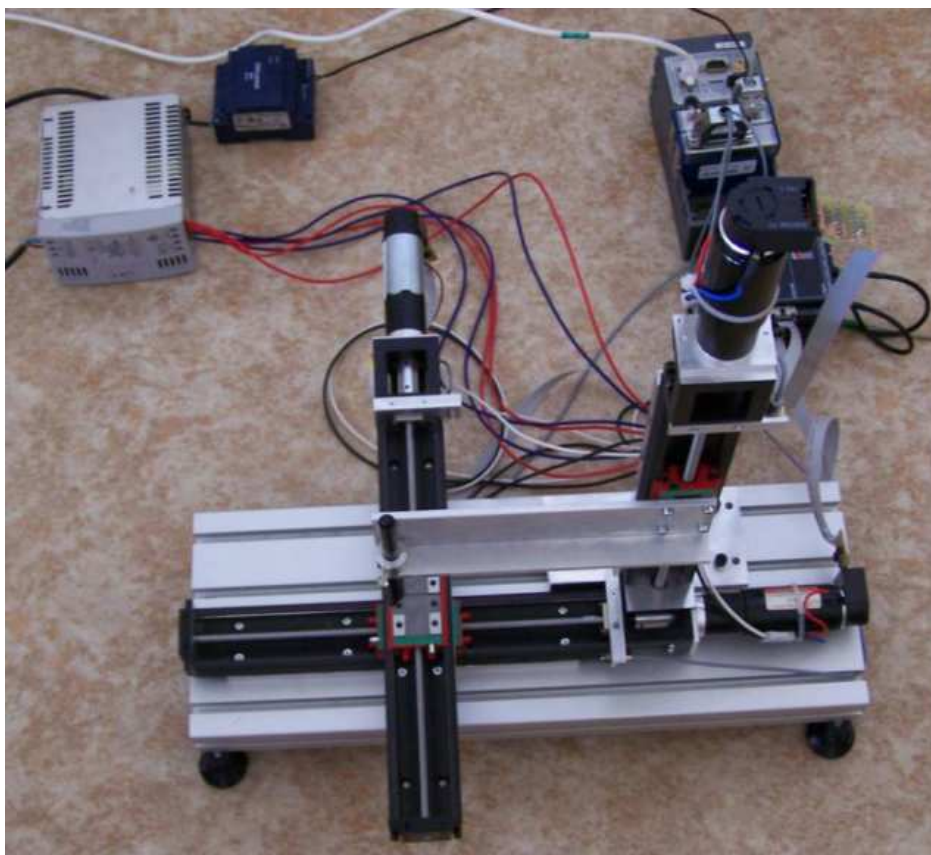
F – (feed) rychlost posuvu mm/min nebo mm/ot

T - volba nástroje z tabulky nástrojů



Obr. 19 Technologické informace [11]

Pro stavbu bylo použito laboratorní zařízení, které je konstruováno jako tříosý kartézský stroj osazený pohony Maxon. Zařízení bylo původně určeno pro manipulaci s předměty a popisování fixem. Řízení bylo realizováno pomocí pohonných jednotek Epos2 s Real-time jednotkou od National Instruments.



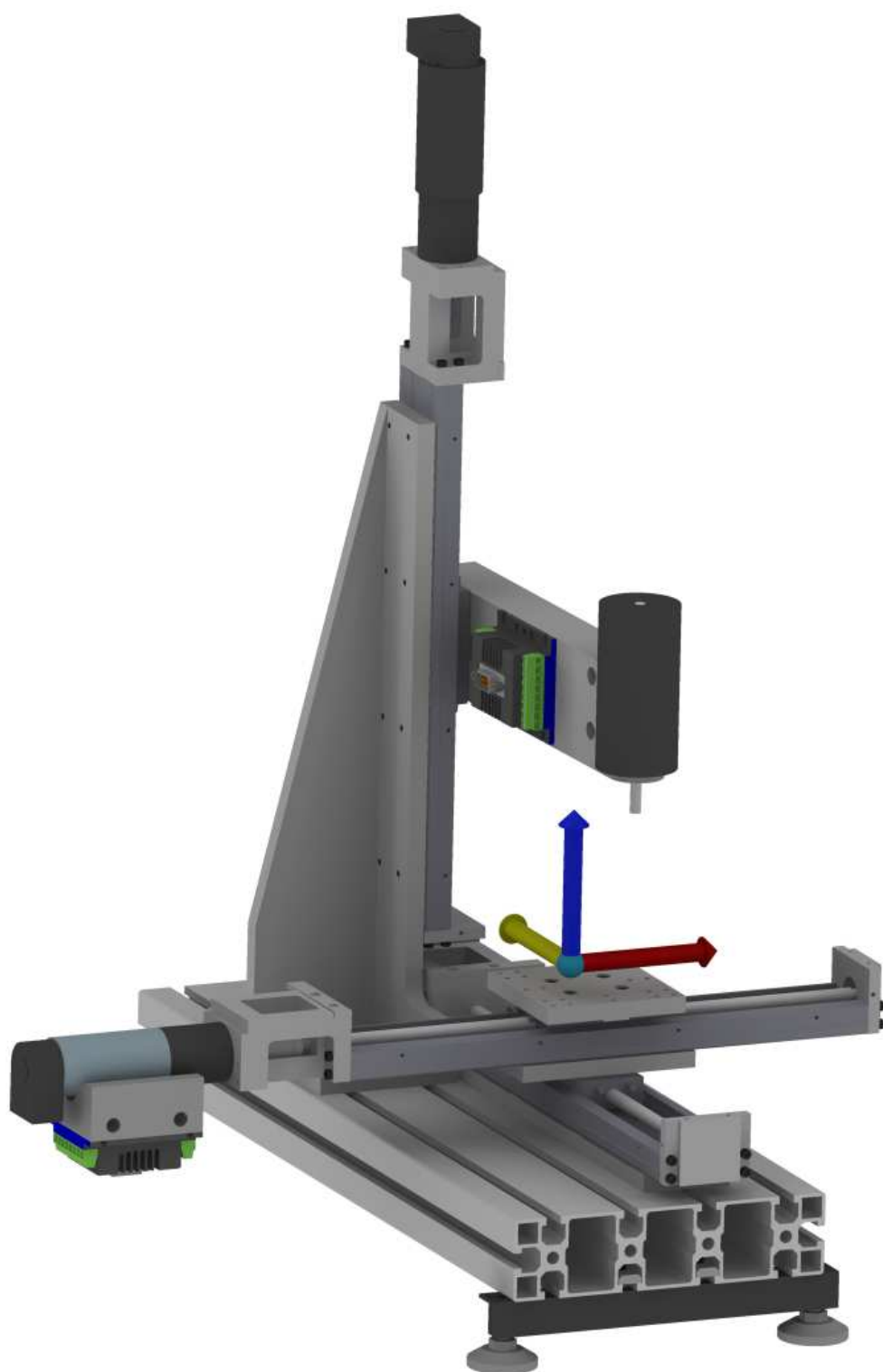
Obr. 20 Výchozí zařízení [14]

4.1 Konstrukce stroje

Řešené zařízení bude koncipováno do podoby malé CNC frézky, která může najít uplatnění v obrábění kovů a plastů, frézování DPS a popisování. Na stávajícím zařízení bude nutno doplnit vřeteno, upínací stůl a nastavovací dorazy ke koncovým spínačům.

Obr. 21 zobrazuje upravený model frézky. Osový kříž, který je umístěn nad stolem, demonstruje kladné pohyby os stroje. Tyto směry jsou definovány stejně jako u CNC obráběcích strojů. Osy stroje se značí X – červená barva, Y – žlutá barva a Z - Modrá barva

Konstrukce stroje je založena na křížovém stole a vertikální ose. Pro konstrukci bylo použito lineární vedení Hiwin KK5002P-300903-3002 . Pohon těchto modulů obstarávají DC motory. Motory jsou řízeny jednotkami Faulhaber, abychom minimalizovali rušení signálu od enkoderu byla jednotka pro X osu připevněna k motoru. Ostatní jednotky bylo možné přišroubovat poblíž motoru k rámu stroje. Při konstrukci se dbalo na tuhost a jednoduchost výroby stroje. Důležité parametry pohonů a jednotlivých dílčích součástí budou uvedeny v následující tabulce.



Obr. 21 Výsledný model frézky

4.2 Parametry stroje

Na stroji jsou použity DC-motory Maxon A-max 32 a RE 36 se zpětnou vazbou. Jelikož jednotky Epos2 neměly ideální vlastnosti pro programování, jsou nahrazeny řídicími jednotkami Faulhaber. Dodaný typ řídicí jednotky pro osy je MCDC 3006 S RS. Pro vřeten bylo dodána jednotka MCBL 3006 S s bezkartáčovým motorem 4490H024B. [14] [15] [16]

Osa	X	Y,Z
Motor	Maxon A-max 32	Maxon RE 36
Nominální napětí [V]	24	24
Nominální proud [A]	1,3	2,25
Rozběhový proud [A]	5,81	21,5
Nominální otáčky [min^{-1}]	5020	5880
Odpor vynutí [Ω]	4,13	1,11
Nominální moment [mNm]	44,4	78,2
Rozběhový moment [mNm]	205	783
Rychlostní konstanta [rpm/V]	271	263
Setrvačnost rotoru [gcm^2]	45	69,9
Indukčnost vynutí [μH]	201	201
Tepelná časová konstanta [s]	17,7	44,2
Rozměry (dxl) [mm]	$\varnothing 32 \times 61,5$	$\varnothing 32 \times 71,2$
Enkoder	Avago HEDM-5500 B11	Avago HEDS-5540 A11
Počet kanálů	2	2
Počet impulsů [ot^{-1}]	1000	500
Napájecí napětí [V]	5	
Fázový posun [$^\circ\text{e}$]	90 ± 45	
Převodovka	GP 32C	
Převodový poměr	18:1(624/35)	14:1(676/49)
Maximální moment [Nm]	3	
Moment setrvačnosti [gcm^2]	0,8	
Vůle bez zatížení [$^\circ$]	0,8	
Rozměry (dxl) [mm]	$\varnothing 32 \times 36,4$	

Tabulka 2 Parametry stroje [14] [15] [16]

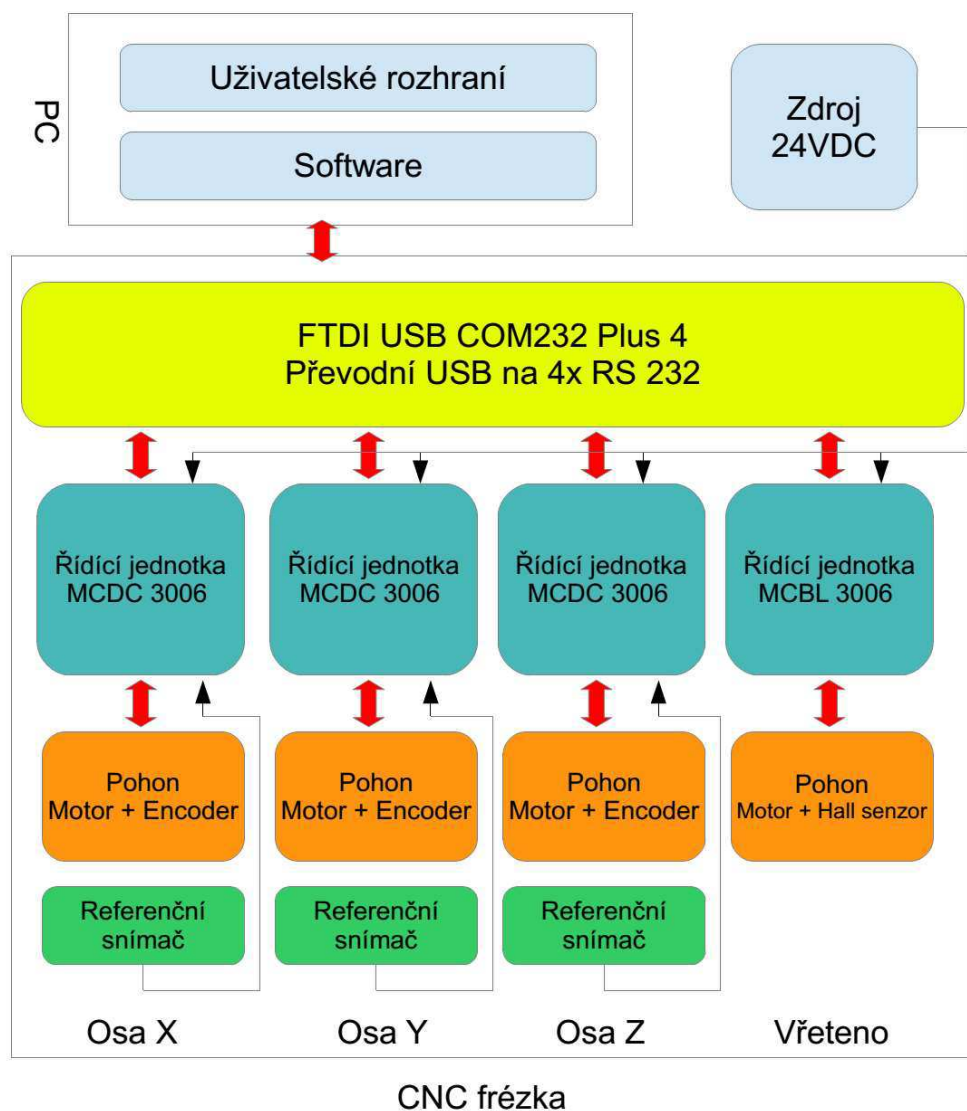
Vřeteno motor	4490H024B
Nominální napětí [V]	24
Otáčky při nezatíženém stavu [rpm]	9550
Maximální teoretický proud [A]	8,62
Radiální zatížení při 10000 rpm 13,5mm od upínací plochy [N]	66
Axiální zatížení při 10000 rpm [N]	30
Radiální vůle [mm]	0,015
Řídicí jednotky osy	MCDC 3006 S RS
Napájecí napětí [V]	12-30
Max. proud [A]	10
Nominální proud [A]	6
Rozsah otáček [rpm]	5-30 000
Rozhraní	RS 232
Maximální přenosová rychlost [baud]	115 200
Max. frekvence pro vstup enkoderu [kHz]	400
Odpor na digitálním vstupu[kΩ]	22
Řídicí jednotka vřeteno	MCBL 3006 S
Napájecí napětí [V]	12-30
Max. proud [A]	10
Nominální proud [A]	6
Rozsah otáček [rpm]	5-30 000
Rozhraní	RS 232
Maximální přenosová rychlost [baud]	115 200
Odpor na digitálním vstupu[kΩ]	22
Typ snímače otáček	Hall senzor
Referenční snímač	MY-COM B32/80
Opakovatelná přesnost [mm]	<0,001
Přejezd [mm]	1,5
Napájecí napětí DC [V]	15
Spínaný proud [mA]	2
Lineární modul	Hiwin KK5002P-300903-3002
Stoupání šroubu [mm]	2
Maximální zdvih [mm]	220

Tabulka 3 Parametry stroje [14] [15] [16]

5 NÁVRH STRUKTURY ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

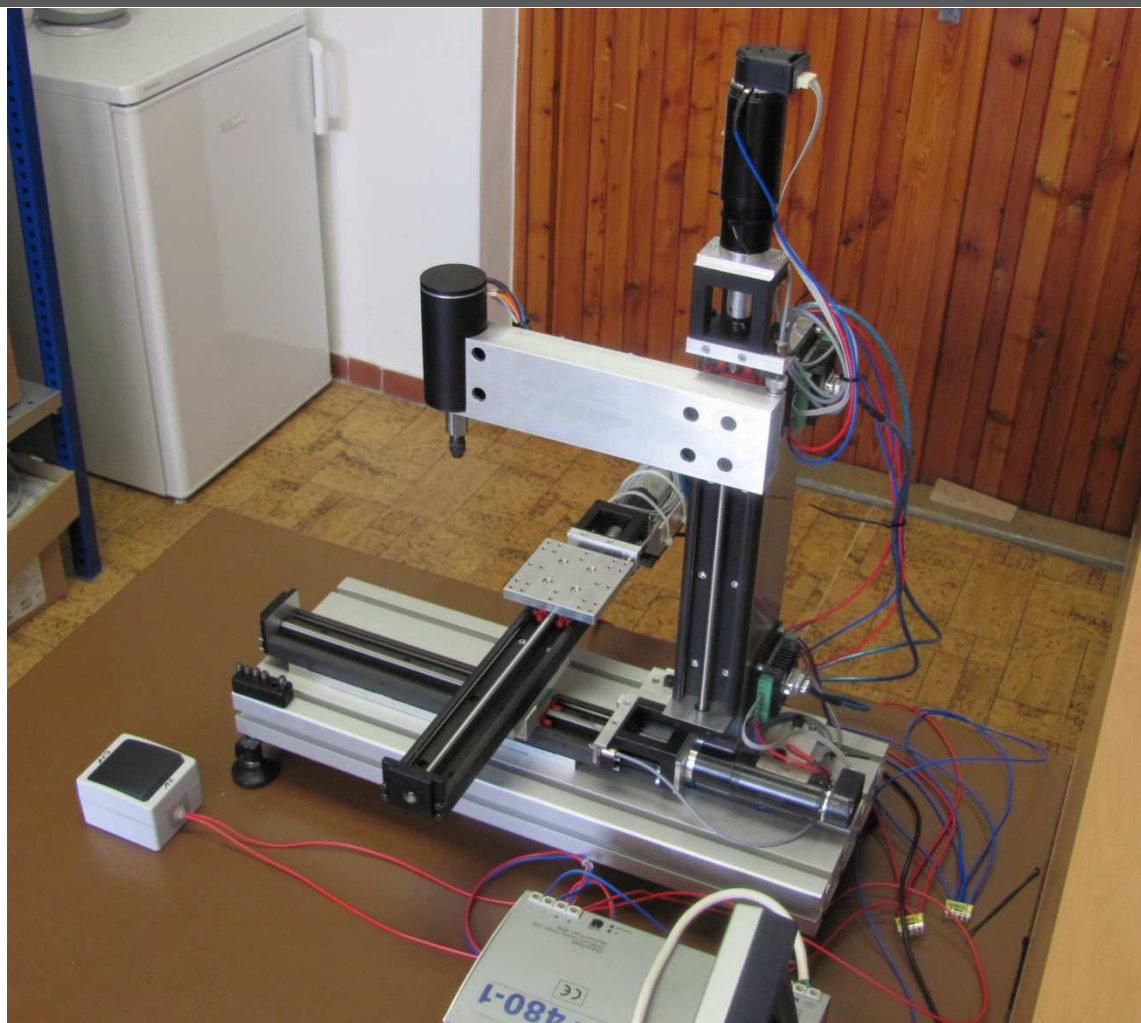
V této kapitole je uvedena fotografie výsledné konstrukce stroje, aby bylo možné demonstrovat rozložení hardwarových komponent na stroji a schéma struktury řídicího systému.

5.1 Hardwarová struktura stroje



Obr. 22 Struktura hardware

Schéma struktury řízení se skládá ze stolního počítače a CNC frézky. Stolní počítač vytváří interface mezi uživatelem a řízením stroje. Mezi jeho základní funkce patří ruční polohování, načtení a přeložení kódu do příkazů pro řídicí jednotky. Jednotka FTDI zajišťuje rozbočení COM portů. Tyto porty mají přiřazeny patřičné číslo COM portu, výhodou tažení jednoho USB kabelu oproti 4x RS232 je možnost užití běžného PC nebo Notebooku s USB portem. Nevýhodou však je nedeterministická odezva USB portu. Připojení jednotek se skládá z 24VDC zdroje a RS232 datového kabelu. Z řídicí jednotky vystupuje regulované napětí a proud do motoru. Vstupy řídicí jednotky jsou enkodery motoru a referenční snímač. Referenční snímač je použit pouze při načítání referencí. [14] [15] [16]

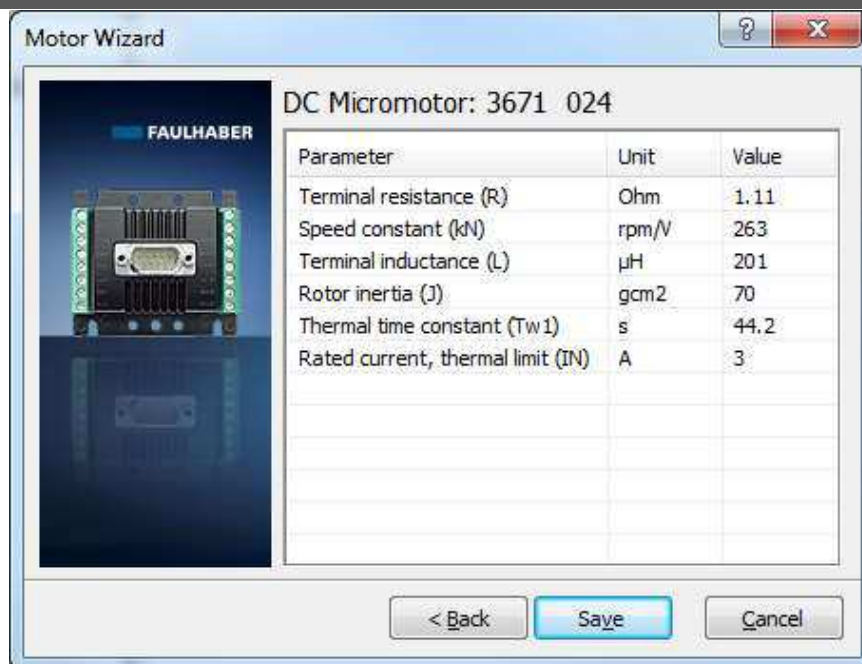


Obr. 23 Upravená frézka

Obr. 21 znázorňuje upravený stroj do podoby frézky. Rozložení komponent je stejné jako v návrhu. Napájení stroje obstarává zdroj DRP-480-1. Pro nouzové zastavení frézky jsme použili klasický vypínač, který rozpíná 24V napětí.

5.2 Nastavení jednotek

Nastavení jednotek bylo provedeno v programu Motion Manager od fa. Faulhaber. Před prvním spuštěním je třeba jednotku nastavit a při prvním polohování zjistit správný směr otáčení enkoderu vůči regulaci motoru. Pokud je regulace vytvořena v opačném směru motor se roztočí maximálními nastavenými otáčkami.



Obr. 24 Nastavení konstant motoru Osy Z

Nastavení konstant motoru včetně bylo vytvořeno vybráním typu motoru z databáze fa.Faulhaber. Konstanty pro nastavení os byly vyčteny z dokumentace výrobce motoru a uvedeny do tabulky 2. Obr. 24 zobrazuje nastavení motoru dle parametrů.

Dále byl tento program použit pro nastavení rychlostních a polohových regulátorů. Všechna provedená nastavení byla uložena do paměti EEPROM jednotky, tak aby řídicí CNC systém nemusel tyto parametry řešit.

6 NÁVRH SYSTÉMU

Řídicí systém tvoří moduly pohonů, řídicí CNC systém, HMI a modul překladu G-kódu do instrukcí CNC systému. Systém jako celek je vyvíjen v rámci laboratoře. Úkolem této práce je rozšíření tohoto systému pro gravírku/frézka.

Základní parametry stroje a G-kódu jsou uloženy v XML souborech, které umožňují snadnou rekonfigurovatelnost systému pro různé stroje.

6.1 Definice parametrů stroje

Řešený řídicí systém získává parametry řízeného stroje z popisu uloženého v XML souboru. Dosahuje se tak vyšší univerzálnosti a modularity software a v případě, kdy je geometrie strojů podobná, stačí pouze pro další stroj změnit příslušné parametry.

```

1  <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?>
2  <Config>
3    <Drives>
4      <Drive Name="Axe X" Type="Axe" Mapping="X" Driver="Drive MCxxS" >
5        <Settings>
6          <Cluster Name="Interface">
7            <Item Name="Resource" Value="COM8"/>
8            <Item Name="Baud Rate" Value="115200"/>
9            <Item Name="Timeout" Value="25"/>
10         </Cluster>
11        <Cluster Name="Ratios">
12          <Item Name="EncRes" Value="4000"/>
13          <Item Name="Pinion" Value="35"/>
14          <Item Name="Wheel" Value="624"/>
15          <Item Name="Pitch" Value="2"/>
16          <Item Name="Units" Value="mm"/>
17        </Cluster>
18        <Cluster Name="Maximal Values">
19          <Item Name="Position" Value="200"/>
20          <Item Name="Speed" Value="11"/>
21          <Item Name="Acceleration" Value="0.25"/>
22        </Cluster>
23      </Settings>
24    </Drive>
25
26    <Drive Name="Axe Y" Type="Axe" Mapping="Y" Driver="Drive MCxxS">...</Drive>
27
28    <Drive Name="Axe Z" Type="Axe" Mapping="Z" Driver="Drive MCxxS">...</Drive>
29
30    <Drive Name="Spindle" Type="Spindle" Mapping="S" Driver="Drive MCxxS">...</Drive>
31  </Drives>
32 </Config>

```

Obr. 25 XML konfigurace hardware stroje

Aktuálně konfigurace hardware stroje (obr. 25) obsahuje pouze konfiguraci pohonů. Pohon je definován názvem, driver definuje ovladač, prostřednictvím kterého je pohon řízen a mapping, který definuje adresu dle G-kódu, na kterou je pohon namapován. Typ představuje zda, je pohon osa nebo vřeteno. Dále konfigurace obsahuje parametry rozhraní, převodů a maximální provozní hodnoty. Parametry rozhraní se jsou závislé na použitém ovladači. Jednotlivé hodnoty reprezentují:

- Interface - Rozhraní
 - Resource – Komunikační port dané osy
 - Baud Rate – Rychlost přenosu dat [Bd]
 - Timeout – časová konstanta přenosu

- Ratios - koeficienty
 - EncRes – rozlišení enkoderu (s čtyřnásobným dekódováním)
 - Pinion – jmenovatel převodového čísla
 - Wheel – číselník převodového čísla
 - Pitch – stoupání pohybového šroubu [mm]
 - Units – jednotky [mm]
- MaximalValues – maximální hodnoty
 - Position – maximální vzdálenost od referenčního snímače ke konci osy [mm]
 - Speed – maximální rychlost polohování u os [mm/sec] nebo maximální otáčky u vřetene [ot/min]
 - Acceleration – zrychlení stolu [mm/s²]

6.2 Konfigurace G-kódu

Konfigurace podporovaného funkcionalitu stroje obsahuje definice podporovaných adres, os, vřeten, G-funkcí a M-funkcí.

Adresy jsou definované názvem, minimální a maximální hodnotu, typem a dále je připojen popis.

```
<AddressList>
  <Address Name="D" Type="Correction" ValueMin="0" ValueMax="999" Description="Tool diam
  <Address Name="F" Type="Speed-Time" ValueMin="0" ValueMax="999" Description="feed rate
  <Address Name="G" Type="Function" ValueMin="0" ValueMax="99" Description="preparato
  <Address Name="I" Type="Centre" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="X-axis Di
  <Address Name="J" Type="Centre" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="Y-axis Di
  <Address Name="K" Type="Centre" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="Z-axis Di
  <Address Name="M" Type="Function" ValueMin="0" ValueMax="30" Description="miscellan
  <Address Name="N" Type="Number" ValueMin="0" ValueMax="9999999" Description="number of
  <Address Name="O" Type="Number" ValueMin="0" ValueMax="9999" Description="program n
  <Address Name="P" Type="Speed-Time" ValueMin="0" ValueMax="99.999" Description="delay of
  <Address Name="R" Type="Radius" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="Radius of
  <Address Name="S" Type="Speed-Time" ValueMin="0" ValueMax="9999" Description="spindle s
  <Address Name="T" Type="Tool" ValueMin="0" ValueMax="10" Description="Tool sele
  <Address Name="U" Type="Axe Relative" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="Relative
  <Address Name="V" Type="Axe Relative" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="Relative
  <Address Name="W" Type="Axe Relative" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="Relative
  <Address Name="X" Type="Axe Absolute" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="Absolute
  <Address Name="Y" Type="Axe Absolute" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="Absolute
  <Address Name="Z" Type="Axe Absolute" ValueMin="-1000" ValueMax="1000" Description="Absolute
</AddressList>
```

Definice os obsahuje seznam adres pro absolutní souřadnice, relativní souřadnice a souřadnice středu pro kruhové interpolace. Dále obsahuje definici jednotek os.

```
<Axes Absolute="XYZ" Relative="UVW" Centre="IJK" Units="mm" />
```

Vřetena obsahují definici adres a jednotek.

```
<Spindles Addresses="S" Units="revs" />
```

G-funkce a M-funkce definují číslo, skupinu, seznam adres parametrů a popis. Pro každou skupiny je definována výchozí funkce.

```
<GFunctions>
  <Function Number="0" Group="1" Params="XYZUVW" Default="TRUE" Description="Rapid Motion" />
  <Function Number="1" Group="1" Params="FXYZUVW" Description="Linear Interpolation Motion" />
  <Function Number="2" Group="1" Params="FIJKRXYZUVW" Description="CW Interpolation Motion" />
  <Function Number="3" Group="1" Params="FIJKRUVWXYZ" Description="CCW Interpolation Motion" />

  <Function Number="4" Group="0" Params="P" Description="Dwell (P=seconds.milliseconds)" />

  <Function Number="17" Group="2" Params="" Default="TRUE" Description="Circular Motion XY Plane Sel
  <Function Number="18" Group="2" Params="" Description="Circular Motion ZX Plane Selection" />
  <Function Number="19" Group="2" Params="" Description="Circular Motion YZ Plane Selection" />

  <Function Number="20" Group="6" Params="" Description="Verify Inch Coordinate Positioning" />
  <Function Number="21" Group="6" Params="" Default="TRUE" Description="Verify Metric Coordinate Pos

  <Function Number="28" Group="0" Params="XYZ" Description="Return To Reference Point, set optional

  <Function Number="40" Group="7" Params="D" Default="TRUE" Description="Tool Nose Compensation Canc
  <Function Number="41" Group="7" Params="D" Description="Tool Nose Compensation Left" />
  <Function Number="42" Group="7" Params="D" Description="Tool Nose Compensation Right" />

  <Function Number="49" Group="8" Params="" Default="TRUE" Description="Tool Length Compensation Can

  <Function Number="54" Group="12" Params="" Default="TRUE" Description="Work Offset Positioning Coo
  <Function Number="55" Group="12" Params="" Description="Work Offset Positioning Coordinate #2" />
  <Function Number="56" Group="12" Params="" Description="Work Offset Positioning Coordinate #3" />
  <Function Number="57" Group="12" Params="" Description="Work Offset Positioning Coordinate #4" />
  <Function Number="58" Group="12" Params="" Description="Work Offset Positioning Coordinate #5" />
  <Function Number="59" Group="12" Params="" Description="Work Offset Positioning Coordinate #6" />

  <Function Number="90" Group="3" Params="" Default="TRUE" Description="Absolute Positioning Command
  <Function Number="91" Group="3" Params="" Description="Incremental Positioning Command" />

  <Function Number="94" Group="5" Params="" Default="TRUE" Description="Feed Per Minute" />
  <Function Number="95" Group="5" Params="" Description="Feed Per Revolution" />
</GFunctions>

<MFunctions>
  <Function Number="0" Group="4" Params="" Description="Program Stop" />
  <Function Number="1" Group="4" Params="" Description="Optional Program Stop Pause" /

  <Function Number="2" Group="4" Params="" Description="Program End" />

  <Function Number="3" Group="7" Params="S" Description="Spindle On, Clockwise" />
  <Function Number="4" Group="7" Params="S" Description="Spindle On, Counterclockwise"
  <Function Number="5" Group="7" Params="S" Default="TRUE" Description="Spindle Stop"

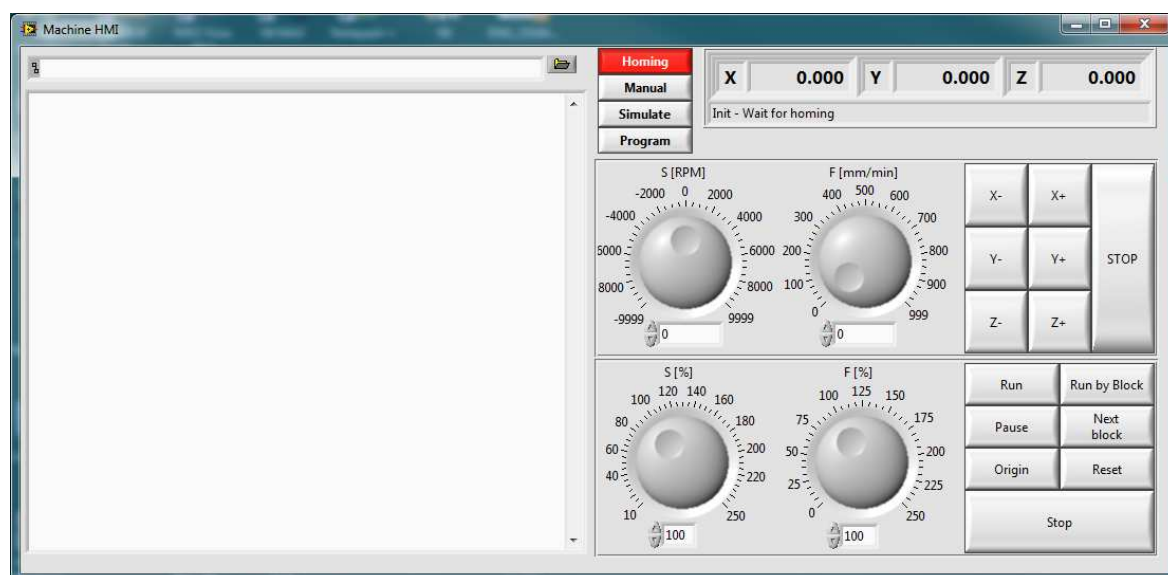
  <Function Number="6" Group="6" Params="T" Description="Tool Change" />

  <Function Number="30" Group="4" Params="" Description="Program End and Reset" />
</MFunctions>
```

6.3 HMI provozní režimy řídicího systému

HMI je rozděleno do 4 provozních režimů. K ovládání řídicího systému je užito standardní klávesnice a myši. Zobrazení je realizováno na monitoru.

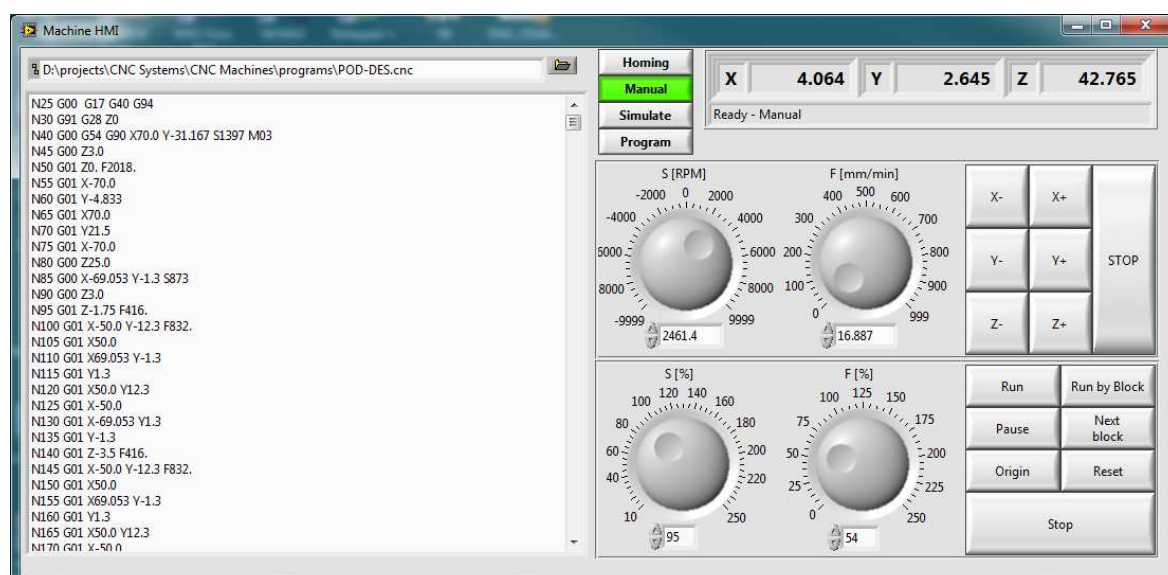
6.3.1 HMI režim Homing



Obr. 26 HMI Homing

Po zapnutí stroje je vyžadováno provedení najetí referencí tzv. „homing“. Do provedení homingu má příslušné tlačítko červenou barvu a je povolen pouze homing nebo „manual“. Režim Homing slouží pouze pro najetí na referenční snímače stroje. Sekvence najetí se spouští tlačítkem odpovídající osy nebo tlačítkem „run“. Aktuální navolený režim je vidět v horní části uprostřed.

6.3.2 HMI Manuální provoz

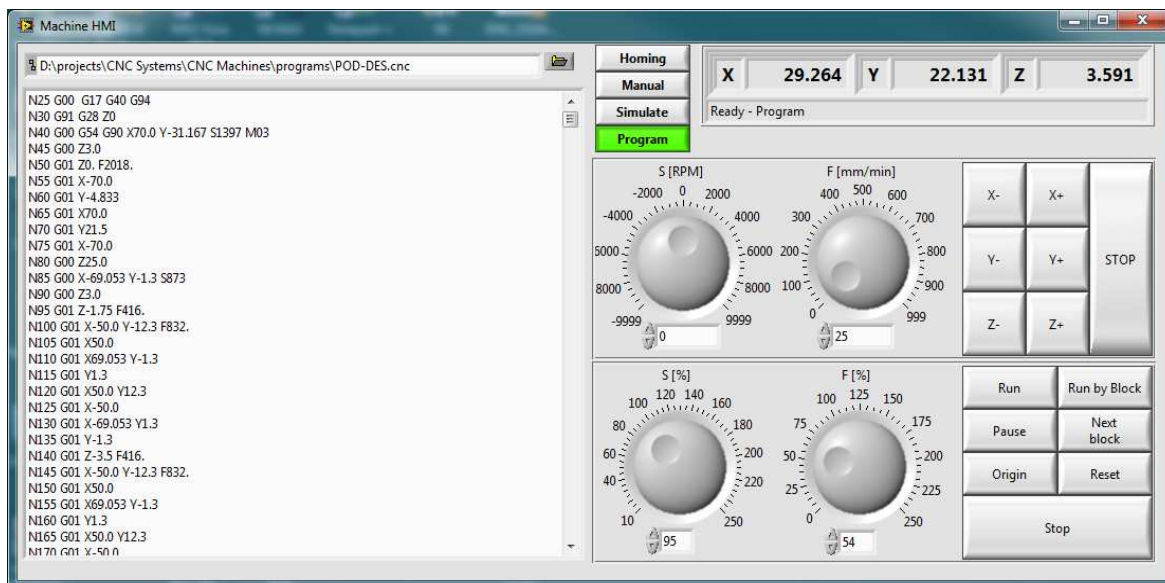


Obr. 27 HMI Manuální provoz

Tento provozní režim slouží k ručnímu najetí, posunutí nulového bodu nebo pro jednoduché obrábění (ofrézování plochy). V režimu lze roztočit vřeteno, zadat rychlost

polohování a provádět pohyb jednotlivých os. Souřadnice aktuální polohy jsou zobrazeny v pravém horním rohu.

6.3.3 HMI program



Obr. 28 HMI program

Režim program slouží k editaci a běhu programu. Běh programu je možný buď po bloku, nebo plynule. Načítaný program je vidět v horním levém rohu s umístěním souboru v PC. Aktuální pozice vykonávání programu je znázorněna probarvením prováděného řádku. Pro snadné odladění programu jsou do pravého spodního rohu obrazovky implementovány knoby, které mají za úkol zpomalit nebo zrychlit program ve fázi odladění.

6.4 Struktura CNC systému

CNC systém je reprezentován třídou „Machine“, které provádí řízení stroje. Machine komunikuje s HMI buď prostřednictvím front, nebo síťových proměnných (v tomto případě prostřednictvím front). A prostřednictvím front komunikuje s objektem „DrivesManager“, který řeší komunikaci s pohony.

7 PROBLEMATIKA PŘESNOSTI POLOHOVÁNÍ

Přesnost polohování je dána odchylkou požadované pozice od skutečné. Tyto odchylky se měří nejen na novém stroji, ale i na starém pro zjištění opotřebení. Pro měření se využívají systémy nezávislé na konstrukci stroje. Přesnost polohování pro servopohon s kuličkovým šroubem je dána mechanickými vlivy přesnosti polohování: [17] [18]

- Přesnost výroby kuličkového šroubu
- Tuhost v axiálním směru šroubu
- Tepelná roztažnost soustavy
- Přesnost montáže soustavy (rovinnosti, přímosti, kolmosti a rovnoběžnosti) a parametry řídicího systému.

Mechanické chyby se řídí Gaussovým rozdělením s parametrem σ který udává výrobce zařízení. Přesnost polohování jedné osy je dána rozlišením odměřování. Absolutní přesnost osy stroje je dána $\frac{1}{2}$ rozlišení $+ 3\sigma$. Tyto měření se provádí dle normy ISO 230, které se zabývá zásadami zkoušek obráběcích strojů. Norma je rozdělena do několika podčárí: [17] [18]

1. ISO230-1 Geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za dokončovacích podmínek obrábění
2. ISO230-2 Stanovení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslíkově řízených osách
3. ISO230-3 Určení tepelných vlivů
4. ISO230-4 Zkoušky kruhové interpolace u číslíkově řízených obráběcích strojů
5. ISO230-5 Určení emise hluku
6. ISO230-6 Určení přesnosti nastavení polohy na diagonálách tělesa a stěn (Zkouška diagonálního přestavení)
7. ISO230-7 Geometrická přesnost os rotace
8. ISO230-8 Vibrace [Technická zpráva]
9. ISO230-9 Odhad nejistoty měření pro zkoušky obráběcích strojů podle série ISO 230, základní rovnice [Technická zpráva]
10. ISO230-10 Určení měřicích vlastností snímacích systémů číslíkově řízených obráběcích strojů
11. ISO230-11 Měřicí zařízení a jejich aplikace při geometrických zkouškách obráběcích strojů [Technická zpráva]

7.1 Možnosti metod měření přesnosti polohování

Přesností měření polohování strojů se řeší hlavně z důvodů zvyšující se přesností vyráběných dílů. Proto je nutné měřit závislosti relativních pohybů mezi nástrojem a obrobkem.



Obr. 30 Měření přesnosti pomocí Renishaw QC-10 [6]

Systém ballbar QC-10 je složen z přesného teleskopického lineárního snímače a dvojice přesných koulí vedených v magnetických miskách na obou koncích. Měřidlo je připevněno ke stolu magnetickým držákem a upnuto do vřetena stroje, které koná naprogramovanou kruhovou interpolaci. Měření probíhá dle normy ČSN ISO 230-4. [6] [18]

Jelikož vyráběný stroj není primárně určen pro kruhovou interpolaci, určuje kruhovitost programovací software, který kruh rozloží na přímky. Norma ČSN ISO 230-6 pro určení přesnosti nastavení polohy na diagonálách pracovního prostoru (volumetrická přesnost) je vhodnější. Měření probíhá v bodech, které leží na diagonálách stroje. Toto měření se provádí pro sekvenci pohybů Δx , Δy a Δz . Měření poskytuje úplný obraz přesnosti polohování v celém pracovním prostoru. [17] [18]

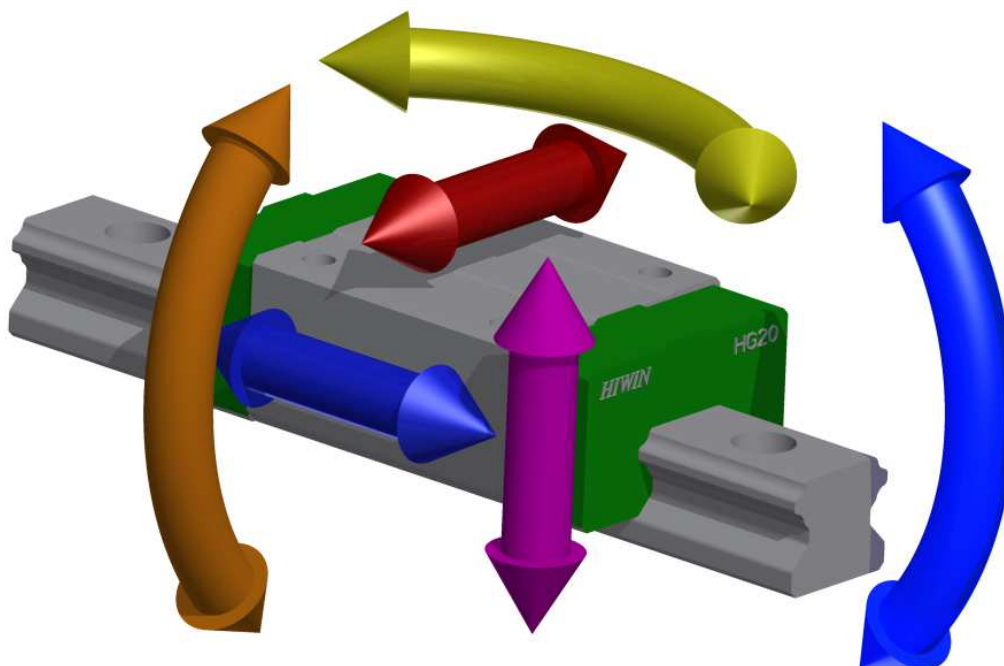


Obr. 31 Měření přesnosti na diagonálách stroje [19]

7.2 Stanovení teoretické přesnosti polohování

Určení mechanické přesnosti jednotlivých modulů os není možné teoreticky určit. Lze ji pouze předpovědět z technických parametrů komponent. Tento výpočet bude sloužit pouze k teoretickým účelům. Pro stavbu stroje byla použita lineární vedení Hiwin KK5002P-300903-3002. Tyto vedení disponují kuličkovým šroubem a lineárním vozíkem. Pohon obstarává motor s převodovkou.

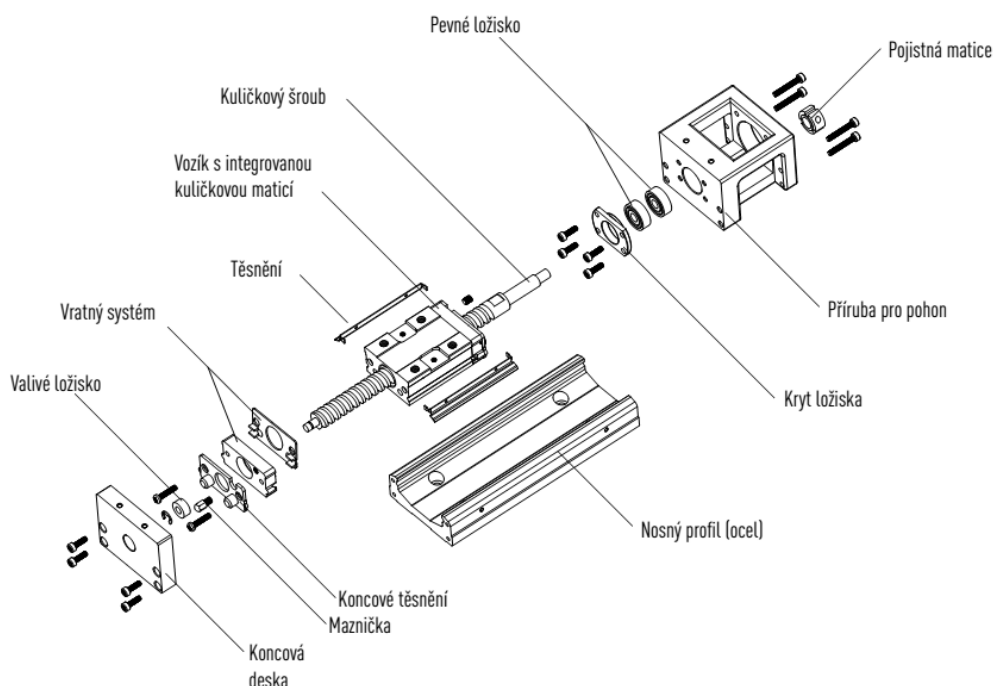
Lineární vozík může mít tyto odchylky:



Obr. 32 Možné odchylky polohování

Typ odchylky	barva	Možné příčiny
Sklon	světle modrá	výrobní nepřesnost, zatížení statické a zatížení zrychlením
Vybočení	žlutá	
Rotace	oranžová	
Přímost	červená a fialová	Nedokonalé ustavení modulu
Lineární odchylka	tmavě modrá	nepřesnost polohování soustavy kuličkový šroub, matice, spoj šroubu s převodovkou, převodovka a motor (teplotní roztažnost)

Pro tuto aplikaci rozebereme detailněji pouze lineární odchylku modulu, ostatní nepřesnosti jsou velmi závislé na konstrukci modulu. Proto je potřeba tyto faktory posoudit experimentálně pro každou aplikaci zvlášť.



Obr. 33 Složení modulu KK [20]

Použitý modul je vyroben v přesné třídě přesnosti platí pro něj následující výřez z tabulky č.1.

Provedení	Délka pojezdové dráhy [mm]	Opakovaná přesnost [mm]		Přesnost [mm]		Rovnoběžnost vedení [mm]		Rozběhový moment [Nmm]	
		P*	C**	P*	C**	P*	C**	P*	C**
KK50	150	±0,003	±0,01	0,020	-	0,010	-	40	20
	200	±0,003	±0,01	0,020	-	0,010	-	40	20
	250	±0,003	±0,01	0,020	-	0,010	-	40	20
	300	±0,003	±0,01	0,020	-	0,010	-	40	20

* P = Přesný KK-modul

** C = Normální KK-modul

Tabulka 4 Parametry modulu KK50 [20]

Výrobce uvádí přesnost vedení jako celku. U modulu mohou vznikat nepřesnosti v uložení šroubu, pevných ložiskách a spojení šroubu s osou převodovky. Zde není výrobcem definováno předepnutí ložisek, a proto lze spočítat teoreticky pouze tepelné vlivy na modul a přesnost udávanou výrobcem experimentálně změřit. U spojení hřídelí použijeme bezvúlové pružné spojky, které předimenzujeme a zkrut zanedbáme. Dalšími místy nepřesnosti jsou vůle v převodovce a chyba polohování motoru.

7.2.1 Teoretický výpočet přesnosti polohování

Pro teoretický odhad přesnosti polohování použijeme přesnosti udávané výrobcí komponent a sečteme je. Některé vřle bylo nutné přepočítat.

Vřle na ozubení převodovky.

Dle typu planetové převodovky GP 32C s převodovým poměrem 18:1 nebo 14:1 uvádí výrobce vřle při nezatíženém stavu $v=0,8^\circ$. Tuto hodnotu přepočteme na stoupání šroubu $s=2\text{mm}$.

$$\Delta l_2 = (s / 360) \cdot v = (2 / 360) \cdot 0,8 = 0,0044\text{mm} \quad (1)$$

kde Δl_2 – dílčí chyba polohování [mm]
 s – stoupání šroubovice šroubu [mm]
 v – vřle na ozubení převodovky [$^\circ$]

Přesnost polohování motoru je velmi závislá na rychlostním profilu, který lze vypočítat z momentu setrvačnosti a výkonu motoru. Pro tento výpočet si optimalizujeme polohování a použijeme pouze přesnost nejhoršího použitého enkoderu testované soustavy s 500 [imp/ot]. Tento enkoder s čtyřnásobným dekódováním udává $n= 2000[\text{imp/ot}]$. Nesmíme zapomenout na převodovku, která má převodový poměr $P=1:14$.

$$\Delta l_3 = \frac{s / 360}{360ni} = \frac{s}{ni} = \frac{2}{2000 \cdot 14} = 0,00007\text{mm} \quad (2)$$

kde Δl_3 – dílčí chyba polohování [mm]
 s – stoupání šroubovice šroubu [mm]
 n – rozlišení enkoderu [imp/ot]

Maximální odchylka polohování tedy je součet všech Δl

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 = 0,01 + 0,0044 + 0,00007 = 0,02447\text{mm} \quad (3)$$

kde Δl_1 – odchylka dána výrobcem modulu dle Tab.1
 Δl_2 – odchylka dána vřlí převodovky
 Δl_3 – odchylka dána nepřesností polohování

Z výpočtu je patrný předpoklad polohování frézky $\pm 0,015\text{mm}$. V tomto výpočtu nejsou zahrnuty teplotní vlivy. Přesnost polohování bude stanovena dle měření.

7.2.2 Teplotní ovlivnění přesnosti stroje

Ovlivňující tepelné zdroje stroje se dělí na:

- Vnitřní tepelné zdroje (vřetena, motory os, hydraulické pohony atd.)
- Environment (proudění okolního vzduchu, frekvence a amplituda změn teploty)

Referenční střední teplota pro měření stroje dle ISO 230-3 je 20°C (pokud není domluveno jinak mezi zákazníkem/výrobce). Ovlivnění stroje vnitřními zdroji je možné eliminovat vnějším environmentem stroje např. Zvýšením průtoku a rychlosti okolního vzduchu. Toto však není příjemné pro obsluhující personál. Okolní environment by měl mít jasně stanovené parametry výrobcem stroje. Příklad takovéto tabulky je znázorněn v následující tabulce. [18]

Rozsah teploty, ve kterém může být specifikovaná přesnost dosažena	15°C až 25°C
Rozsah teploty pro bezpečnou činnost	0°C až 40°C
Změna teploty za hodinu	1°C
Změna teploty za 24h	5°C
Změna teploty v prostoru stroje	0,5°C/m

Tabulka 5 Environmentální teplotní požadavky [18]

Teplotní roztažnost modulu. Pro výpočet maximální chyby jsem zvolil pracovní prostředí se změnou teploty $\Delta t \pm 5^\circ\text{C}$. Ze skladby lineárního modulu jsem určil koeficient teplotní roztažnosti pro ocel $\beta = 11,6 \cdot 10^{-6}$. [21] [18]

$$\Delta l_t = \alpha \Delta t L = 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 0,300 = \pm 0,0000174 \text{ mm} \quad (4)$$

kde	Δl – změna délky	[mm]
	β – koeficient délkové tepelné roztažnosti	[1/°C]
	Δt – teplotní změna	[°C]
	L – délka šroubu	[mm]

Z jednoduchého výpočtu je vidět zanedbatelnost tepelných vlivů na stroj malého rozměru.

7.3 Přesnost najíždění na referenční snímač

Měření probíhalo ve dvou režimech a to s vrácením a bez vrácení. Režim s vrácením probíhal najetím s vyšší rychlostí, vrácením a poté znovu najetím s pomalejší rychlostí snímáno bylo čelní najetí na referenční snímač. Režim bez vrácení probíhal s vyšší rychlostí najetím na snímač a sjetím přičemž bylo snímáno sjetí z referenčního snímače. Pro měření byl použit digitální úchylkoměr.

Parametry testu:

Teplota : 23.9°C

Najížděcí rychlost vysoká: 150mm/min

Najížděcí rychlost pomalá : 10mm/min

Měřidlo a typ: Mitutoyo ID-C125XB

Rozlišení : 0,001mm

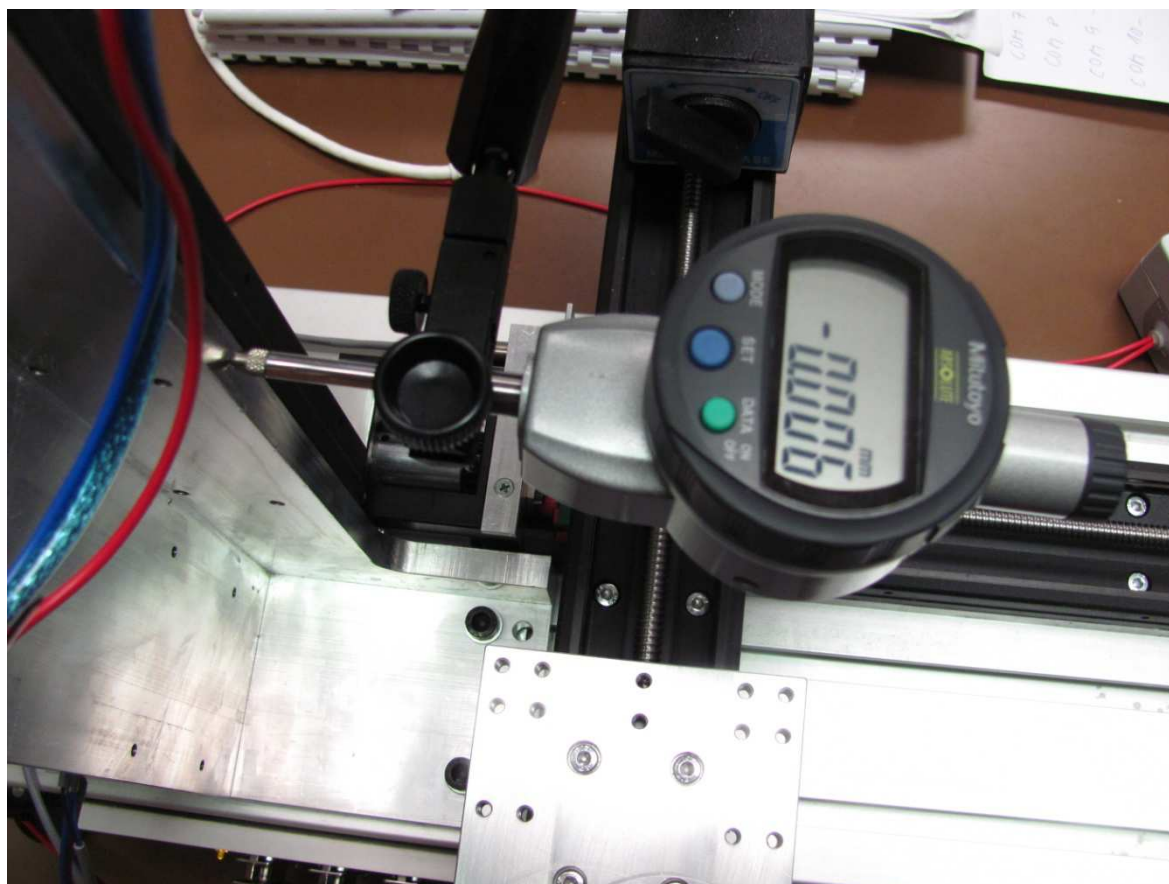
Přesnost : 0,003mm

Naměřené hodnoty:

Polohování na koncový snímač		
1	-0.006	0
2	-0.004	0
3	-0.004	0.002
4	-0.002	0
5	-0.002	0.004
6	-0.002	0.002
7	-0.003	0.002
8	-0.003	0.005
9	-0.005	0.006
10	-0.001	0.004
	s vrácením	bez vrácení

Tabulka 6 Hodnoty najíždění na referenční snímač

Obě měření probíhala na stejnou referenční hodnotu úchylkoměru. Odlišnost směru najíždění je vidět z tabulka 6, ale rozptyl hodnot pro oba směry je velmi dobrý. Z měření jsme odvodili postačitelnost najíždění bez vrácení, jelikož přesnost najetí bez vrácení je obdobná jako s vrácením.



Obr. 34 Měření přesnosti najíždění na referenční snímač

7.4 Stanovení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslicově řízených osách dle ČSN ISO 230-2:2010

Tato metoda specifikuje zkušební postupy k určení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslicově řízených osách. Pro provedení zkoušky je nutné zajistit specifikovaný environment zkoušek, který je dohodnut mezi dodavatelem/zákazníkem. [18]

Toto měření probíhá na jednotlivých osách stroje, jelikož byl stroj měřen v laboratoři, bez automatizovatelného měřicího zařízení bude proměřena pouze jedna osa. Stroj bude později proměřen komplexněji na laserovém zařízení. Pro měření byla vybrána osa Y. Tato osa není zatížena vřetenem jako osa Z a má použit horší enkoder ve srovnání s osou X.

7.4.1 Definice parametrů pro měření

Rozsah dráhy v ose je 220mm, aby byla zaručena možnost dvousměrného najetí, bude měřený rozsah dráhy 180mm. Měření neproběhne za běžného zkušebního cyklu, ale dle schématu ISO 230-2:2010 příloha B cyklus se zpětným krokem. Měřený rozsah dráhy bude rozdělen na 5 dílů, z nichž každý bude naměřen v obou směrech pětkrát dle schématu. Pro tento cyklus jsme se rozhodli z důvodu užití dvou digitálních úchylkoměrů. [18] [21]

i		1		2		3		4		5	
Zadaná poloha $P_i(\text{mm})$		15		60		105		150		195	
Smysl najetí		↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑
Smysl najetí (μm)	j=1	24	-3	24	-6	21	-6	15	-14	15	-8
	2	21	-11	26	-5	26	-13	16	-15	16	-7
	3	28	-13	26	-5	27	-10	16	-11	18	-5
	4	27	1	24	-5	23	-23	18	-9	17	-7
	5	32	-16	27	-3	24	-11	22	-11	17	-10
Průměrná jednosměrná polohová úchylka($\bar{x}_i - (\mu\text{m})$)		26,4	-8,4	25,4	-4,8	24,2	-12,6	17,4	-12	16,6	-7,4
Odhad běžné nejistoty $s_i (\mu\text{m})$		4,159	7,127	1,342	1,095	2,387	6,348	2,793	2,449	1,14	1,817
$2s_i (\mu\text{m})$		8,319	14,25	2,683	2,191	4,775	12,7	5,586	4,899	2,28	3,633
$(\bar{x}_i - 2s_i (\mu\text{m}))$		18,08	-22,7	22,72	-6,99	19,43	-25,3	11,81	-16,9	14,32	-11
$(\bar{x}_i + 2s_i (\mu\text{m}))$		34,72	5,855	28,08	-2,61	28,97	0,096	22,99	-7,1	18,88	-3,77
Jednosměrná opakovatelnost $R_i=4s_i (\mu\text{m})$		16,64	28,51	5,367	4,382	9,55	25,39	11,17	9,798	4,561	7,266
Necitlivost $B_i (\mu\text{m})$		34,8		30,2		36,8		29,4		24	
Dvousměrná opakovatelnost $R_i (\mu\text{m})$		28,5096475		5,36656315		25,3929124		11,171392		7,26636085	
Průměrná dvousměrná polohová úchylka ($\bar{x}_i - (\mu\text{m})$)		17,4		15,1		18,4		14,7		12	
Úchylka v ose (mm)		Jednosměrná ↓									
Necitlivost B		36,8									
Průměrná necitlivost $\bar{B}$		31,04									
Rozsah průměrné dvousměrné polohové úchylky M		6,4									
Systematická polohová úchylka E		39									
Opakovatelnost nastavení polohy R		28,50964749									
Přesnost nastavení polohy A		60,01510994									
Výpočet odhadů nejistot						hodnota nejistoty		Jednotky			
Nejistota měření vlivem měřícího zařízení						0,09		μm			
Nejistota vlivem přesazení měřícího zařízení						neměřena					
Nejistota měření při měření teploty stroje						0,43848		μm			
Nejistota měření při měření teploty měřícího zařízení						0,1218		μm			
Nejistota měření vlivem koeficientu roztažnosti stroje						0,648		μm			
Nejistota měření vlivem kolísání enviromentu						0,0000014		μm			
Nejistota měření jednosměrné opakovatelnosti						0,0000028		μm			
Nejistota měření necitlivosti						0,00000126		μm			
Nejistota měření dvousměrné opakovatelnosti						0,00000308		μm			
Nejistota měření systematických úchylek						0,796934094		μm			
Nejistota měření průměrné polohové úchylky						0,796934094		μm			
Nejistota měření přesnosti polohování						0,648		μm			

Tabulka 7 Výpočet přesnosti stroje dle ISO230-2:2010 [18] [21]

Strana 58	
Zkoušená osa	Y
Typ osy	Kuličkový šroub, převodovka 14:1 a rotační snímač
Teplota	23,6°C
Doba prodlevy v zadaných polohách:	5s
kompence	nepoužita
Měřená délka	180 mm
Měřidlo 1	Mitutoyo ID-F150H
Rozlišení	0,001mm
Přesnost	0,003
Měřidlo 2	Mitutoyo ID-C125XB
Rozlišení	0,001mm
Přesnost	0,003

Tabulka 8 Parametry měření

Nejistota měření vlivem přesazení měřícího zařízení k ose zkoušeného stroje zanedbáme z důvodu měření osy kratší 300mm.

Z tabulky 7 je vidět porovnání naměřených hodnot s vypočtenými. Při měření jsem vypisoval i přesnou pozici enkoderu a zapisoval si její maximální odchylku. Tato odchylka byla maximálně 7 inkrementů. Po přepočtení vychází tato chyba na 0,005mm. Protože mi odchylka polohování přišla příliš vysoká, zkoušel jsem diagnostikovat místo nepřesnosti.

V prvním pokusu jsem zkusil mechanicky otočit šroubem a poté uvolnit. Při tomto měření jsem nedagnostikoval žádnou změnu. V druhém pokusu jsem zkusil zatížit osově domeček a uvolnit. Při tomto měření jsem diagnostikoval změnu polohy cca. $\pm 0,02\text{mm}$, Chyba je s největší pravděpodobností v konstrukci modulu KK50, ze které je vidět užití nepředepnutého ložiska pro uložení kuličkového šroubu.

8 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout CNC řídicí systém pro obecnou aplikaci. V průběhu byl systém směřován spíše k řízení CNC frézky, která byla vytvořena přestavbou z kartézského manipulátoru.

V první teoretické části práce bylo uvedeno několik již hotových řešení modulárních systémů. Možnosti modulárních sestav byly prezentovány od předních výrobců z důvodu jejich dlouhodobých zkušeností a rozmanitosti sortimentu. Dále byl vytvořen popis G-kódu, který používá většina výrobců CNC strojů jako základ pro programování v CAM. Vybrané funkce byly popsány podrobně, aby mohl vzniknout software pro CNC řídicí systém. V této části byla snaha objasnit všechny možné varianty a typy chování.

Přestavba stroje vytvořila plnohodnotnou CNC frézku, která je schopna frézovat a gravírovat malými frézami do měkkých materiálů. Pro řízení stroje bylo vytvořeno hardwarové schéma z dostupných komponent laboratoře a realizována montáž na stroj. Vytvoření struktury software pro frézku. Základ pro vytvářený software byl použit z dřívějších prací na stroji.

V poslední části proběhlo měření přesnosti osy Y dle normy ISO 230-2:2010. Toto měření bylo provedeno na ose Y z důvodu předpokládané nejvyšší nepřesnosti. Osa Z má stejné parametry jako osa Y, ale je zatížena gravitační silou, která by mohla vymezit vůle. Z měření plyne vyšší nepřesnost, než byla předpokládána. V měření byla ověřena i přesnost najíždění na referenční snímač, která se pohybovala bez vrácení v rozmezí $\pm 0,003\text{mm}$.

V práci bylo provedeno předělání stroje na CNC frézku a změna řídicích jednotek. Byl proveden návrh struktury hardware a software. Software byl upraven pro potřeby frézky, ale nepodařilo se otestovat lineární interpolaci z důvodu velké časové náročnosti. V práci se nepodařilo zajistit měření přesnosti stroje jako celku z důvodu snahy odladit lineární interpolaci.

Dokončením práce o lineární interpolaci vznikne stroj, který by mohl v laboratoři být použit jako vrtačka plošných spojů nebo malá frézka. Přesnost zařízení je možné zlepšit užitím motorů bez převodovky a tím i zvýšit rychlost polohování, která u obrábění zvláště neželezných kovů dosahuje vysokých rychlostí. Vyhodnocením přesnosti polohování stroje jako celku vznikne jednoduchá modulární sestava s definovanými parametry přesnosti.

9 BIBLIOGRAFIE

- [1]. T-suport. *CNC řídicí systém je srdce i mozek CNC obráběcího stroje*. [Online] [Citace: 22. 1. 2014.] <http://www.t-support.cz/t-support/?rubrika=1437>.
- [2]. CAD/CAM - slovník, výrazy, pojmy a zkratky. *CAD/CAM*. [Online] [Citace: 2. 2. 2014.] <http://www.cadcam.cz/>.
- [3]. Řídicí systémy, pohony a motory pro obráběcí stroje. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] [Citace: 16. 3. 2014.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-systemy-pohony-a-motory-pro-obrabeci-stroje.html>.
- [4]. *SimoControl*. [Online] [Citace: 12. 4. 2014.] http://www.simocontrol.com/pro_info.asp?id=71410311816.
- [5]. Naše služby. *Wiktori s.r.o.* [Online] [Citace: 20. 4. 2014.] <http://www.wiktori.cz/cs/content/1-slu%C5%BEby>.
- [6]. *Ranishaw*. [Online] [Citace: 28. 4. 2014.] <http://www.renishaw.cz/>.
- [7]. Příručka uživatele Popisný dialog. *Heidenhain*. [Online] 9 2010. [Citace: 3. 4. 2014.] <http://www.heidenhain.cz/>.
- [8]. CAD CAM EDM DRO Home Page. *TimGoldstein*. [Online] [Citace: 10. 2. 2014.] http://www.timgoldstein.com/cad_cam/rs274.htm.
- [9]. **GE Fanuc Automation Europe**. Návod pro obsluhu Series 0i-TC. Luxembourg : GE Fanuc Automation S.A., 2004. B-64114CZ/01.
- [10]. **Haas Automation Inc.** Programing Workbook VF/HHS Series. Sturgis : autor neznámý, 2006. CA 93030.
- [11]. User's Manual ISO programing. *Heidenhain*. [Online] 11 1995. [Citace: 20. 3. 2014.] <http://www.heidenhain.cz/>.
- [12]. Obecný úvod do problematiky CNC programování. *Střední odborná škola Jana Tíraye*. [Online] [Citace: 20. 3. 2014.] http://www.sosbites.cz/images/stories/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf.
- [13]. Dieter Schmid. *Fine-tools*. [Online] 2. 3. 2014. <https://www.fine-tools.com/mass.htm>.
- [14]. **Štěpán, Drha**. *Řízení tříosého kartézského manipulátoru*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2012.
- [15]. **Maxon motor ag**. Program 08/09. *High Precision Drives and Systems*. Sachseln : autor neznámý, 2008.
- [16]. Products. *Faulhaber*. [Online] [Citace: 22. 2. 2014.] <http://www.faulhaber.com/>.
- [17]. **Bach**. Nové metody měření přesnosti obráběcích strojů. *České vysoké učení technické Praha*. [Online] 2009. [Citace: 1. 4. 2014.] 12. http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/SD_-_2351086/P_Nove_metody_mereni_presnosti_obrabecich_stroju.pdf.
- [18]. *ISO230 Zásady zkoušek obráběcích strojů: Geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za dokončovacích podmínek obrábění*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

- [19]. Stanovení přesnosti nastavení polohy na diagonálách tělesa. [Online]
<http://www.rcmt.cvut.cz/zkuslab/cz/text/5>.
- [20]. Hiwin. *Polohovací systémy*. [Online] [Citace: 16. 2. 2014.]
http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy/linearni-moduly-kk/125_kk-50.
- [21]. **Bravenec, Bc.Libor**. Polohování CNC frézky dle normy ISO 230-2. *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně*. [Online] 2012. [Citace: 14. 5. 2014.]
http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/23058/bravenec_2012_dp.pdf?sequence=1.