



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# MĚŘICÍ CYKLY V ŘÍDICÍCH SYSTÉMECH CNC STROJŮ

MEASURING CYCLES IN CONTROL SYSTEMS OF CNC MACHINES

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Hamřík

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Gregor

BRNO 2021

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Jiří Hamřík**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Gregor**  
Akademický rok: 2020/21

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

### Měřicí cykly v řídicích systémech CNC strojů

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Moderní obráběcí stroje umožňují přímo v samotném procesu kontinuálně měřit a vyhodnocovat vznikající rozměry na obrobcích, aniž je nutno obrobek ze stroje vyjmout.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- Přehled řídicích systémů CNC strojů
- Charakteristika jejich měřicích cyklů
- Volba konkrétní součásti
- Zařazení měřicího cyklu do procesu obrábění
- Vyhodnocení

#### **Seznam doporučené literatury:**

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.

ŠTULPA, Milošlav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

**ABSTRAKT**

V prvních dvou bodech je bakalářská práce zaměřená na porovnání CNC a NC strojů a způsoby řízení a programování CNC strojů, popis řídicích systémů CNC strojů od vybraných výrobců a na charakteristiku měřicích cyklů. Byly vybrány dva výrobci pro popis technologií měření nástrojů a obrobků pomocí sond. Ve třetím bodě bakalářské práce je provedena praktická ukázka pro měření nástrojovými a obrobkovými sondami firmy RENISHAW. Byla provedena nástrojová korekce s následným měřením obrobku sondou. Pro statistické vyhodnocení se přidalo i měření digitálním mikrometrem včetně provedení porovnání a vyhodnocení získaných výsledků.

**Klíčová slova**

CNC stroj, řídicí systém, nástrojová sonda, obrobková sonda, MicroHole

**ABSTRACT**

In the first two points, the bachelor's thesis focuses on the comparison of CNC and NC machines and methods of control and programming of CNC machines, a description of the control system of CNC machines from selected producers and the characteristics of measuring cycles. Two producers were selected to describe the technology of measuring tools and workpieces using probes. In the third point of the bachelor's thesis, a practical demonstration of measurements with tool and workpiece probes from RENISHAW is performed. A tool correction was performed followed by measurement of the workpiece with a probe. For statistical evaluation, digital micrometer measurements were added, including comparison and evaluation of the obtained results.

**Key words**

CNC machine, control system, tool probe, workpiece probe, MicroHole

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HAMŘÍK, Jiří. *Měřicí cykly v řídicích systémech CNC strojů* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132597>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Lukáš Gregor.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Měřicí cykly v řídicích systémech CNC strojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

11.1.2021

.....  
Jiří Hamřík

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji panu Ing. Lukáši Gregorovi a Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Děkuji panu Jiřímu Čechovi z VUT v Brně za pomoc při vyrobení vzorku při praktické části.

Děkuji rodině za podporu při studiu.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	3
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 PŘEHLED ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ CNC STROJŮ A PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ.....	10
1.1 NC stroje .....	10
1.2 CNC stroje.....	10
1.3 Provozní režimy CNC obráběcích strojů .....	10
1.3.1 Režim MANUAL .....	10
1.3.2 Režim AUTO .....	11
1.3.3 Režim B-B .....	11
1.3.4 Režim TOOL MEMORY .....	11
1.3.5 Režim TECH IN .....	11
1.3.6 Režim EDITACE NC PROGRAMU a DIAGNOSTIKY .....	11
1.4 Programování řídicích systému CNC strojů .....	11
1.4.1 Programování CNC strojů ruční .....	12
1.4.2 Varianty programování CNC strojů .....	12
• Programování absolutní .....	12
• Programování přírůstkové.....	12
• Programování polárními souřadnicemi .....	12
• Programování parametrické .....	12
1.4.3 Programování CNC strojů pomocí CAD a CAM systémů.....	13
1.5 Vybrané řídicí systémy FANUC.....	13
1.5.1 Power Motion i-MODEL A.....	13
1.5.2 CNC Series 0i-MODEL F Plus .....	13
1.5.3 The FANUC Series 30i/31i/32i-MODEL B Plus.....	14
1.6 Řídicí systémy Sinumerik .....	14
1.6.1 Řada SINUMERIK 808D ADVANCED .....	14
1.6.2 Řada SINUMERIK 828D.....	15
1.6.3 Řada SINUMERIK 840D sl .....	15
2 CHRAKTERISTIKA MĚŘICÍCH CYKLŮ .....	16
2.1 Měření pomocí CAM softwaru .....	16



2.2	Měření sondami na CNC strojích.....	16
2.3	Výhody a nevýhody měření sondami na CNC strojích.....	17
2.4	Měřicí funkce .....	17
3	VOLBA A ZPRACOVÁNÍ KONKRÉTNÍ SOUČÁSTI .....	18
3.1	Použité nástroje a zařízení .....	18
3.1.1	Obráběcí centrum MCV 1210.....	18
3.1.2	OMI-2 komunikační modul optické sondy .....	18
3.1.3	Laserová sonda NC4F.....	19
3.1.4	Dotyková sonda OMP400.....	20
3.1.5	Digitální mikrometr Mitutoyo .....	20
3.2	Postup výroby a měření součásti sondou .....	20
3.3	Postup výroby a měření součásti digitálním mikrometrem .....	22
3.4	Vyhodnocení získaných dat .....	23
4	DISKUZE .....	31
4.1	Omezený počet měření .....	31
4.2	Možné chyby měření .....	31
4.3	Vliv kalibrace sondy na naměřené hodnoty .....	31
	ZÁVĚR .....	32
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	33
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	34
	SEZNAM PŘÍLOH.....	36

## ÚVOD

Bakalářská práce je zaměřená na měřicí cykly v řídicích systémech CNC strojů. Téma bylo vybráno protože obráběcí stroje se stále inovují a s postupným vývojem výpočetní techniky se CNC stroje stále více dostávají do popředí strojního průmyslu a v budoucnosti by mohli zcela nahradit konvenční stroje, které v některých případech jsou výhodnější nežli CNC stroje.

V současné době jsou kladeny stále vyšší nároky na proces obrábění z hlediska přesnosti a produktivity, které často konvenční stroje zcela nesplňují a nebo splňují jen částečně a musí se počítat s chybovostí dané série. Tyto požadavky umožnily rozvoj CNC systémů v podobě moderních obráběcích strojů, kde lze přímo během procesu obrábění kontinuálně měřit a následně vyhodnocovat vznikající rozměry bez nutnosti obrobek vyjmout ze stroje. Cílem je obrobit obrobek na jedno upnutí bez nutnosti přeměřovat vyráběné rozměry.

Řídicí systémy CNC strojů, které jsou v této době na trhu ať už se jedná o systémy společností jako jsou například: Fanuc, Siemens nebo Heidenhain, které patří k nejrozšířenějším v České republice. Využívají autonomních řídicích systémů vycházejících ze souřadných systémů které, definují rozměry součásti a vytvářejí konturu která umožňuje i simulaci obrábění.

V posledním bodě je bakalářská práce zaměřená na praktickou část, kde byl prováděn experiment na vybrané součásti, která byla obráběna na obráběcím centru a byla měřena pomocí sondy přímo na stroji. Pro porovnání bylo provedeno měření i mikrometrem. Získaná data byla zpracována a v dalším kroku dle statistického hlediska vyhodnocena. Vyhodnocení bylo provedeno dle normy ČSN EN 14253-1:2018.

# 1 PŘEHLED ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ CNC STROJŮ A PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

V prvním bodě je bakalářská práce zaměřena na představení daného tématu tedy na teoretickou část. CNC a NC stroje jsou stroje určené k třískovému obrábění, kdy výsledným produktem je výrobek s požadovanou tvarovou a rozměrovou přesností nutno dodat, že CNC stroje s postupným vývojem umožňují přesné obrábění s vysokou rychlostí posuvů a to jak při najíždění tak při odebírání materiálu. Dále představení moderních strojů CNC a jejich praktické využití ve strojírenské výrobě a porovnání s technologií NC systémů hlavně porovnání možností CNC a NC systémů. Zejména se jedná o přehled řídicích systémů CNC a NC strojů jako např. Heinhain, Sinumeric, FANUC a popsání parametrů, vlastností a jejich vhodnosti a využití ve výrobě pro volbu konkrétní součásti u které se bude vybírat vhodný měřicí cyklus obrábění. [1, 2, 3]

## 1.1 NC stroje

Jako první programovatelné stroje označujeme stroje vybavené NC systémy (numerical control) tyto stroje byly řízeny pomocí programovacího kódu vyraženého na dřevěném štítku nebo na dřevěné pásce, ale prosazovali se v té době zejména u součástí složitějších tvarů s odpovídající opakovatelností, tedy kusová výroba se nevyplatila. S postupným vývojem byla čtečka děrovaných pásek nahrazena počítačem čímž došlo ke zrodu CNC strojů (Computer numerical control). [1]

## 1.2 CNC stroje

Jedná se o číslicově řízené výrobní stroje. Ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno pomocí řídicího systému a vytvořeného NC programu. NC program se skládá z alfanumerických znaků a je dán posloupností skupin znaků, které se řadí do bloků. Primární činnost NC programu je řízení silových prvků stroje a zaručuje výrobu dané součásti. CNC stroje jsou velmi „pružné“ pro strojírenskou výrobu lze je totiž rychle přizpůsobit jiné výrobě a velkou výhodou je také, že pracují v automatizovaném cyklu, který zajišťuje číslicové řízení stroje. [1, 3]

## 1.3 Provozní režimy CNC obráběcích strojů

Při obsluze CNC stroje se lze setkat s různými druhy činností stroje nebo pouze řídicího systému. Tyto činnosti lze kontrolovat pomocí řídicího panelu a rozděleny jsou do jednotlivých režimů řízení. Režimy nabízejí různé variace užití ve strojírenské výrobě. [1]

### 1.3.1 Režim MANUAL

Jedná se o ruční provoz, který může plnit funkce jako jsou přestavení nástroje nebo měřicího zařízení do požadované polohy, výměna nástroje, najíždění tedy posuv na referenční bod pro obrábění nebo na rozběh otáček. [1]

### 1.3.2 Režim AUTO

Jedná se o automatický režim pro plynulé provádění jednotlivých činností NC programu, které je prováděno řídicím systémem a to tak, že stroj zpracovává a čte NC program rozdělený do bloků automaticky až do konce NC programu. Jedná se tedy o plynulý proces obrábění jehož výstupem je obrobena součást. [1]

### 1.3.3 Režim B-B

Při režimu B-B tj. blok po bloku stroj zpracovává blok po jehož dokončení se zastaví a po opětovném spuštění obsluhou čte a zpracovává další blok NC programu. Takto postupně blok po bloku stroj zpracuje NC program až na konec NC programu. Režim B-B je vhodný pro kontrolu NC programu zda byl správně napsán popřípadě upraven. [1]

### 1.3.4 Režim TOOL MEMORY

Jedná se o režim paměti nástrojových dat, který má funkci uložit a ukázat data o nástrojích a jejich korekcí. Názvy a množství nástrojů, které jsou uloženy v zásobníku nástrojů se mohou lišit a jsou zpracovány v tabulce korekcí. Korekce zajišťuje správné použití nástroje. Přiřazené údaje si stroj pomocí tohoto režimu pro každý nástroj načítá z tabulky korekcí. Tento režim se nepoužívá u strojů s jedním nástrojem tedy u stojů, kde se nástroj mění ručně pomocí funkce M06 a korekce nástroje. [1]

### 1.3.5 Režim TECH IN

Jedná se o režim, kdy se stroj učí pozici najetí s následným uložením dat. Stroj může do určité míry uložit jednotlivé souřadnice pohybu nástroje, kdy obsluha provádí pomocí ručního řízení požadovanou činnost pro obrobění obrobku zároveň dochází k automatickému načítání jednotlivých úkonů do editoru. Tyto úkony se zpracují do bloků a po naučení a uložení se při opětovném spuštění programu už provádí automaticky přechod do režimu AUTO. Tento režim se ve výrobě využívá velmi málo. [1]

### 1.3.6 Režim EDITACE NC PROGRAMU a DIAGNOSTIKY

Režim editace umožňuje NC program pro obrábění zapisovat přímo do editoru na stroji nebo se může nahrát do řídicího systému stroje externě například pomocí externího disku.

Režim diagnostiky má funkci kontrolní zejména oznamuje, lokalizuje a diagnostikuje závadu pro její odstranění. Mimo jiné lze požit i pro dálkový servis. [1]

## 1.4 Programování řídicích systému CNC strojů

Základem pro programování CNC strojů je souřadnicový systém. U CNC strojů se používá pro definování souřadnic kartézský souřadnicový systém a charakterizování souřadnice lze podle způsobu programování. Programování CNC strojů lze rozdělit na

programování ruční to znamená vytvoření NC programu popřípadě napsání kódu NC programu přímo na stroji popřípadě v softwaru na počítači. Nebo programování pomocí CAD a CAM systémů. [1]

#### **1.4.1 Programování CNC strojů ruční**

Programování ruční se dále dělí na programování konturové a dílenské. Konturové programování se uplatňuje u případů, kdy konstruktér na výkrese s jehož pomocí programátor vytváří program opomene zakótovat důležité rozměry pro vytváření kontury při programování jedná se zejména o tečné body přímek a rádiusů nebo průsečíky v takovém případě musí programátor příslušné body dopočítat nebo může využít softwarové řešení umožňující spojení základních elementů s různými variantami a dopočítat tak požadované body. Programování dílenské se dnes uplatňuje především pro zvýšení efektivity výroby, kdy pracovník při dozoru obrábění si připravuje výrobní program pro další obrobek s vývojem výpočetní techniky lze přímo na stroji provádět simulace a tím i přímo kontrolovat funkčnost NC programu tímto odpadá nutnost externího pracoviště pro programování. [1]

#### **1.4.2 Varianty programování CNC strojů**

- **Programování absolutní**

Stanoví se nulový bod obrobku a od tohoto bodu se dále vytvářejí příkazy pro zhotovení rozměrů a tvaru obrobku. Tento způsob programování se v mnoha případech používá nejčastěji z toho důvodu, že i konstruktér zhotovující výkres si často zvolí základnu ke které kótuje. Výhodou je zvolit si tuto základnu jako nulový bod od něhož se dále vytváří NC program z toho důvodu, že je zde menší prostor pro chybu. [1]

- **Programování přírůstkové**

Nazývá se také inkrementální. Jedná se o programování, kdy jsou osy kartézského systému vloženy na špičku nástroje například u soustružnického nože nebo do osy rotace vrtáku nebo frézy a nástroj se posouvá v každé z os x, y, z o určitou hodnotu zadávanou pomocí příkazů. Celkově přírůstkové programování není příliš využívané je zde větší prostor pro chybu během programování dále tento způsob programování se využíval u NC systému, které využívaly pro své řízení děrnou pásku. [1]

- **Programování polárními souřadnicemi**

Polární programování je založeno na tom, že se zvolí jeden bod do něhož se vloží kartézský souřadnicový systém a stanovuje se úhel a délka. Toto lze využít především u programování obráběcích center, kdy po obvodu se musí obrábět díry od sebe zakótované pomocí úhlu a například roztečné kružnice. [1]

- **Programování parametrické**

Programování parametrické je primárně určeno k tvarovému programování zejména pro kontury jako jsou rádius s plynulým přechodem například pro programování CNC frézky pro výrobu polokoule. Zde se s výhodou používá parametrické programování. [1]

### 1.4.3 Programování CNC strojů pomocí CAD a CAM systémů

V současné době je stále více používán ve strojírenské výrobě. Velkou výhodou je odstranění ručního psaní a zpracovávání kódu. U tohoto způsobu programování se v první řadě vytvoří v CAD/CAM systému výkres 2D popřípadě i model součásti 3D tímto odpadne nutnost znát funkce pro popis dráhy možnosti cyklu a další funkce. Tyto funkce se vygenerují automatizovaně z kontury ve 2D popřípadě z modelu ve 3D. Odpadají sice nutné znalosti pro funkce G a M z ISO kódu (DIN 66025), ale jsou kladeny vyšší nároky na znalost CAD a CAM systémů. [1, 3]

Výhody: Možnost zhotovit relativně snadno náročné programy například formy, zápustky. Možnost automatizace. Nižší nároky na znalost programových funkcí. Možnost vyhotovení výkresu v CAD a následné vytvoření programu v modulu CAM. [1, 3]

Nevýhody: Vyšší pořizovací cena. Nutnost vlastnit CAD/CAM systém. Vyšší nároky na znalosti CAD/CAM systémů. [1, 3]

## 1.5 Vybrané řídicí systémy Fanuc

Řídicí systémy firmy Fanuc patří mezi nejrozšířenější ve světě na trhu mezi CNC stroji a řídicími systémy strojů patří k nejprodávanějším ve světě. Výrobci CNC strojů často dodávají své CNC stroje s řídicími systémy od společnosti Fanuc s.r.o. Byly vybrány CNC řídicí systémy Power Motion i-MODEL A, CNC Series 0i-MODEL F Plus a The FANUC Series 30i/31i/32i-MODEL B Plus. [3, 4, 5]

### 1.5.1 Power Motion i-MODEL A

Řídicí systém Power Motion i-MODEL A je jedním ze systémů určený k obecnému řízení polohy. Obecné řízení umožňuje univerzálnější použití se zachováním všech výhod vysokorychlostního obrábění. Tento řídicí systém umožňuje jednoduché polohování ale i užití pro náročnější aplikace jako například mnohaosové interpolační pohyby. Další velkou výhodou je možnost fungování paralelně až 5 PLC programů s celkovou velikostí 24 000 až 300 000 kroků. [3, 5]

### 1.5.2 CNC Series 0i-MODEL F Plus

Řídicí systém určený k základnímu řešení více řídicích aplikací. Často je využíván k maximalizování produktivity u specifických aplikací, které lze snadno přizpůsobit pomocí několika přídavných funkcí obsažených v systému. Obsahuje také funkce spojené s vysoce výkonnými systémy. Vhodné využití dle výrobce je pro operace frézování, broušení, děrování, řezání ozubených kol nebo lze systém využít pro otáčení a polohování například měřicích sond. [3, 5]

### 1.5.3 The FANUC Series 30i/31i/32i-MODEL B Plus

Řídicí systém s primárním užitím pro stroje s více osami určené ke složitější výrobě s vícecestným a vysokorychlostním obráběním s vysokými nároky na přesnost. Systém umožňuje pohyb v 48 osách a pro až 16 vřeten s 10 drahami, dále umožňuje pětiosé obrábění. [3, 5]

Vybrané klíčové vlastnosti: Univerzálnost stroje umožňuje kombinované frézování a soustružení nebo naopak zároveň což sníží výrobní časy pro součásti s více operacemi obrábění. Dále systém umožňuje rozšířené funkce, které jsou integrované v systému pro preventivní údržbu stroje a poslední klíčovou vlastností je vysokorychlostní řezání, které nahrazuje potřebu operace dělení materiálu například na pásové pile tudíž může celá výroba součásti od dělení materiálu až k případnému měření součásti proběhnout přímo na stroji. [3, 5]

## 1.6 Řídicí systémy Sinumerik

Dalším výrobcem CNC strojů a jejich systémů je společnost Siemens. Jejich řídicí systémy jsou založeny na bázi PLC. V této době je společnost zaměřena na výrobu tří hlavních řad řídicích systémů pro CNC stroje jedná se o řady: Sinumerik 808, Sinumerik 828 a Sinumerik 840. Každá řada má své vlastní specifické zaměření pro strojírenskou výrobu určité systémy mají primární určení a jejich užití při konkrétních operacích je dáno příslušnou řadou. [6, 7]

### 1.6.1 Řada SINUMERIK 808D ADVANCED

Jedná se o řadu řídicích systémů pro řízení jednoduchých standartních strojů. Tato řada obsahuje dva modely a to konkrétně SINUMERIK 808D ADVANCED a SINUMERIK 808D na PC (obr. 1). Jedná se o velmi obdobné systémy s rozdílem že, model určený pro PC je systém určený k praktickému výcviku nebo ho lze použít k prezentaci nebo pro simulaci obrobku. Druhý systém ADVANCED je určený pro strojírenskou výrobu zejména pro jednoduché soustružnické a frézovací aplikace. Výhodou tohoto stroje je jednoduchost tudíž je ideální pro školení a začínající CNC výrobu. [6, 7]



Obr. 1 Panel pro řídicí systém SINUMERIK 808D ADVANCED [6]

### 1.6.2 Řada SINUMERIK 828D

Řada řídicích systémů s primárním zaměřením na sériové strojní koncepty. Systém umožňuje řízení standardizovaných strojů pro operace soustružení a frézování a pro funkce jednoduchých CNC brusek. Systém je dále primárně zaměřen na produktivitu a přesnost. Umožňuje výrobu složitějších součástí jako například forem. Najde uplatnění i v aplikacích jakou jsou povrchové a válcové brusky nebo dvoukanalová soustružnická centra vybavená i protivřetenem. Celkově se jedná o pokročilejší a náročnější systém v porovnání s SINUMERIK 808D (obr. 2). [6, 7]



Obr. 2 Panel řídicího systému SINUMERIK 828D [6]

### 1.6.3 Řada SINUMERIK 840D sl

Jedná se o nejkvalitnější a také nejkomplexnější řídicí systém od společnosti Siemens Sinumerik čemuž také odpovídá jeho cena. Hlavní výhody tohoto systému jsou vysoká flexibilita a výkon CNC stroje. Vysokou produktivitu zajišťují inteligentní řídicí algoritmy i technologie pohonů a motorů, které zajišťují celkově dohromady vyšší dynamiku a přesnost stroje a to jak při procesu obrábění tak i při zpracovávání a čtení programu. Dále je systém opatřen komplexní řadou řešení pro integraci IT. [6, 7]

Vybrané vlastnosti: Ovládání až v 93 osách v celkově až 30 obráběcích kanálech což lze díky vysoce výkonným NCU (numerical control units). [6]



## 2 CHRAKTERISTIKA MĚŘICÍCH CYKLŮ

Měření na CNC strojích má za primární úlohu odhalit případně chyby obrábění bez nutnosti přerušení procesu obrábění nebo zbytečné zmetkovitosti výroby s tím souvisí i úspora času pro případné opravné operace opravitelných zmetků. Pomocí různých měřicích cyklů lze propojit obrábění s dosažením vysoké kvality. Dále měřicí cykly mohou mít využití i pro měření ustavování obrobků přímo na stroji při využití například dotykových sond. Výrobci často nabízejí předvolené měřicí cykly pro CNC stroje pro speciální aplikace mohou výrobci daný měřicí cyklus vytvořit. Pro charakteristiku měřicích cyklů byly vybrány dva výrobci a to hyperMILL®, který se zabývá CAD a CAM systémy pro měření obrobků a druhý RENISHAW, který se také zabývá měřením obrobků CAM systémy. [9, 10, 11]

### 2.1 Měření pomocí CAM softwaru

Software definuje obrobkovou sondu jako běžné nástroje a proces měření obrobkovou sondou probíhá zároveň s programováním. Obrobková sonda má seznam předvolených cyklů pro měření, které jsou integrované přímo v programovacím kódu. Často u obrobkových sond se vyskytují tři základní strategie pro měření tj. ustavení nulového bodu, přeměření s následnou změnou korekce nástroje a vlastní měření obrobku. V praxi se tedy jako první pomocí sondy ustanoví nulový bod obrobku a případné natočení souřadného systému. Dále během procesu obrábění lze přeměřit obráběný rozměr a následně zkorigovat rozměrové korekce nástroje pro dokončovací operaci. [9, 11]

Například software od společnosti hyperMILL® nabízí tyto měřicí cykly integrované v ISO kódu:

1. měření obdélníkových prvků, měření kruhových prvků
2. Měření ve směru osy 3D měření libovolného bodu
3. Měření pera a drážky
4. Vyrovnání souřadného systému podél hrany
5. Vyrovnání souřadného systému s pomocí děr. [9]

Software má řadu klíčových vlastností jako je například rychlé a spolehlivé definování nulového bodu, kdy pohyb sondy je kontrolován na kolize aby nedošlo k poškození dále je aktivně kontrolován i proces obrábění pro stroje s třemi nebo pěti osami. [9]

### 2.2 Měření sondami na CNC strojích

V současné době je měření obrobků a nástrojů sondami na CNC strojích vyhledávanější kvůli nárokům na přesnost pro ustavování obrobků popřípadě určování souřadných systémů. S tímto je i požadavek na proškolení obsluhy na zacházení se sondami aby nevznikalo riziko například poškození sondy. Dále je potřeba vzít i v potaz, že takto ustavované obrobky mohou prodlužovat vedlejší strojní časy, ale s ohledem na přesnost to lze brát jako kompromis. V praxi se uplatňuje software, kde lze naprogramovat a pomocí simulace měřicího cyklu nebo procesu vyhnout kolizím nebo případnému poškození měřicí sondy a poté provést měření přímo na stroji a to je možné díky softwaru GibbsCAM od firmy RENISHAW. [9]

Obdobně i tyto měřicí sondy mají tři strategie měření. První před procesem obrábění, kdy dochází k ustavení obrobku a nastavení souřadného systému další je během procesu obrábění lze také říci mezioperační například pro zabránění situace, kdy se zlomí vrták ve vrtané díře a následně by byl použit závitník. Poslední strategie je po procesu obrábění často je prováděna v měřicí laboratoři na CNC strojích nebo souřadnicových měřicích strojích. [9]

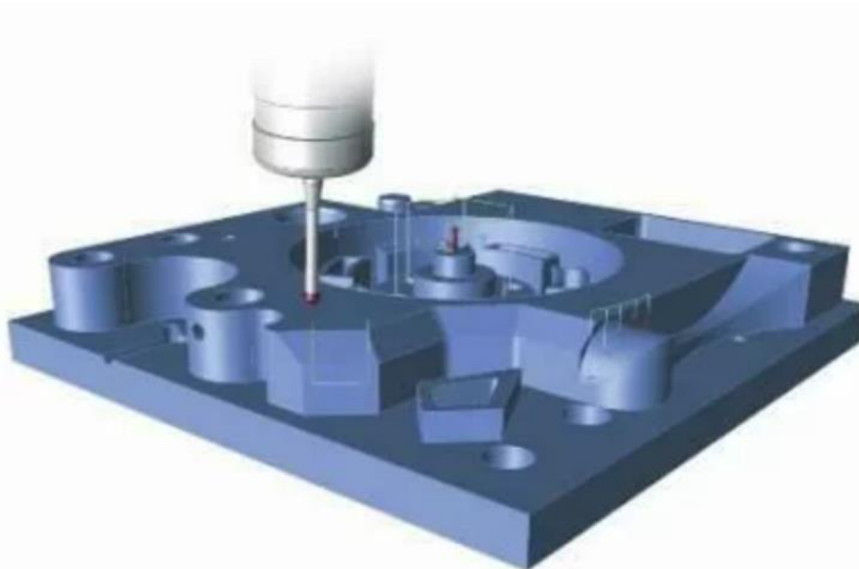
### 2.3 Výhody a nevýhody měření sondami na CNC strojích

Mezi hlavní výhody patří možnost simulace a odladění měřicího cyklu i mimo stroj například na počítači v laboratoři nebo kanceláři programátora. Díky tomuto lze eliminovat čas potřebný pro dopravu obrobku do měřicí laboratoře. Dále možnost změření a kontrolu zhotoveného rozměru, kdy obrobek je stále upnut v upínacím zařízení stroje a tím docílit kontrolovaného procesu obrábění a do určité míry předcházet zmetkovitosti. Lze provádět kompletní kontrolu prvního kusu. [9, 10]

Mezi hlavní nevýhody se řadí vyšší nároky na obsluhu to znamená nutnost znalostí ISO kódu a měřicích cyklů. Určitá investice do měřicích sond. Dále je zde nutnost očištění měřené plochy například od třísek. Měření může ovlivnit i obrobek, který byl tepelně ovlivněn přechozím obráběním. [9, 10]

### 2.4 Měřicí funkce

Byl vybrán výčet měřicích funkcí od společnosti REINSHAW (obr. 3). Mezi tyto funkce patří 2D hrana, 2D linie, 3D hrana, 3D bod, kružnice tvořená 3 nebo 4 body, žebro nebo drážka, korekce nástroje průměrová a délková, aktualizace proměnných posunutím počátku, lze i vytvářet přehledy a ustavování nástrojů, ustavování obrobku zvláště u tvarově složitých, nebo lze použít funkce pro měření vzdálenosti vrtaných děr, měření kruhové interpolace a odchylek od jednotlivých os. [9, 10]



Obr. 3 Měřicí dráhy na modelu z CAD programu [9]

### 3 VOLBA A ZPRACOVÁNÍ KONKRÉTNÍ SOUČÁSTI

Ve třetím bodě je bakalářská práce zaměřená na praktickou část. To znamená výběr konkrétní součásti a její výroba. Jako polotovár byla zvolena kruhová tyč o průměru  $\varnothing 50$  a délce 120 mm. Vyráběná součást byla rotačního charakteru poměrně jednoduchá (příloha 3). Poté výběr měřicího cyklu změření pomocí sondy a následné vyhodnocení získaných dat k tomu bylo pro porovnání přidáno měření pomocí digitálního mikrometru. Součást byla obrobena na obráběcím centru MCV 1210 a měřena dotykovou sondou OMP 400 s dotykem s rubínovou kuličkou dále korekce nástroje byla prováděna pomocí laserové sondy NC4F pro obě sondy se používá optický přenos. Jako nástroj byla zvolena fréza o  $\varnothing 18$  mm z rychlořezné oceli jednalo se o nový nástroj proto se prováděla i korekce nástroje pomocí sond. Měřicí cyklus byl zvolen pro měření kruhové interpolace. Celkem se obrobily čtyři součásti a následně byli měřeny pomocí sondy a digitálního mikrometru. Získaná data a výsledky byly vyhodnoceny.

#### 3.1 Použité nástroje a zařízení

Při praktické části byl proces obrábění uskutečněn na stroji MCV1210 který, je vybaven laserovou sondou s označením NC4F pro korekci délkovou a průměrovou pro měření kruhové interpolace byla použita sonda OMP 400 a pro poslední měření byl použit digitální mikrometr společnosti Mitutoyo.

##### 3.1.1 Obráběcí centrum MCV 1210

Pro realizaci praktické části byl vybrán stroj MCV 1210 jedná se o pětiosé obráběcí centrum s řídicím systémem SINUMERIK 840D (příloha 4). K tomuto centru ve formě volitelného vybavení přidány nástrojová a obrobková sonda které, komunikují s řídicím systémem pomocí OMI-2 komunikačního modulu optické sondy.

##### 3.1.2 OMI-2 komunikační modul optické sondy

Jedná se o optický komunikační modul (obr. 4) od firmy RENISHAW přes který komunikuje sonda se strojem. Vizualní indikace stavu sondy je zajišťována pomocí LED diod například žlutá dioda znamená stavový signál pro start. Zelená dioda znamená že, sonda se nachází v klidovém stavu a naopak červená dioda znamená sepnutí sondy nebo došlo k chybě. [12]

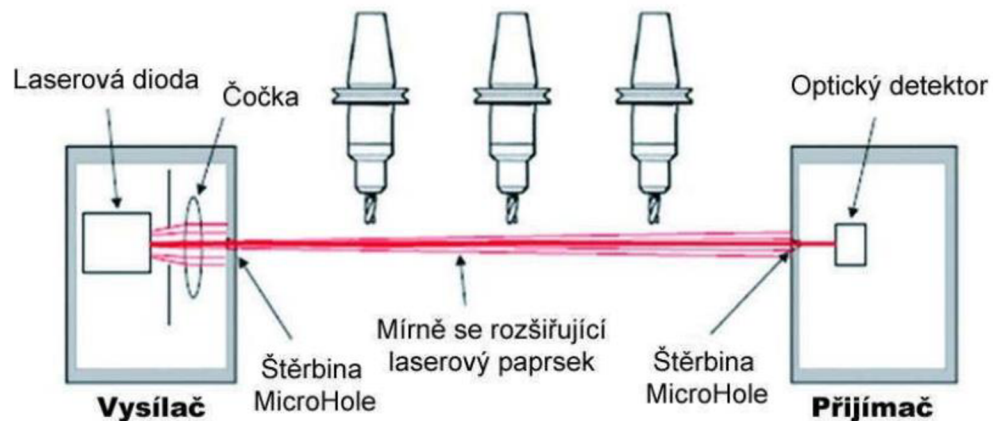


*Obr. 4 Komunikační modul pro optické sondy [12]*

### **3.1.3 Laserová sonda NC4F**

Jedná se o laserovou sondu firmy REINSHAW používanou k seřizování tedy korekci nástroje a nebo k detekci poškozených nebo nějakým způsobem nezpůsobitelných nástrojů k procesu obrábění. Obecně tyto sondy mají za úkol poskytnout přesné seřízení nástroje a popřípadě poskytnout informaci o stavu nástroje a to i u malých rozměrů nástrojů kde, konvenčními měřidly je měření buď velmi obtížné nebo až nemožné. Sonda je založená na principu laserového paprsku který prochází mezi vysílačem a přijímačem tohoto paprsku sonda se musí nacházet v dosahu nástroje a měření probíhá tak že, nástroj naruší paprsek například v případě frézy se musí otáčet hodnota otáček je dána měřicím cyklem a při tomto přerušení jsou hodnoty zaznamenány na odměřovacích pravítkách a z údajů je vypočten aktuální rozměr nástroje. Při detekci poškozeného nástroje se využívá předpokladu že, by mělo dojít při polohování nástroje do polohy pro přerušení paprsku například břit nástroje pokud k tomu nedojde pak systém vyhodnotí chybu a předpokladem je chybějící břit nástroje. [13]

V tomto případě se využívá technologie MicroHole (obr. 5), kdy paprsek prochází štěrbinami ve vysílači a přijímači. V místě vysílače dojde k definování tvaru a velikosti paprsku. Postupně se paprsek směrem od vysílače k přijímači rozšiřuje (obr. 5). V přijímači je druhá MicroHole štěrbinina paprsek se zde omezuje a dopadá na detektor přijímače. Díky tomuto zúžení se jedná o způsob jak přesně změřit rozměr. Nutno dodat že, z laserového paprsku se eliminuje pouze jádro paprsku označováno jako efektivní měřicí paprsek. [13]



Obr. 5 Princip Technologie MicroHole [13]

### 3.1.4 Dotyková sonda OMP400

Jedná se o optickou sondu firmy REINSHAW vhodná pro menší a střední obráběcí stroje (příloha 2). Sonda využívá princip tenzometrické technologie, která zajišťuje vysokou přesnost v kombinaci s algoritmem v elektronice sondy a také nízkou změnu polohy. Dále umožňuje poměrně jednoduchou kalibraci a měření ve 3D a to v libovolném směru. Velkou výhodou tenzometrické technologie je i vysoká životnost a odolnost a to i v pracovní části stroje. [14]

### 3.1.5 Digitální mikrometr Mitutoyo

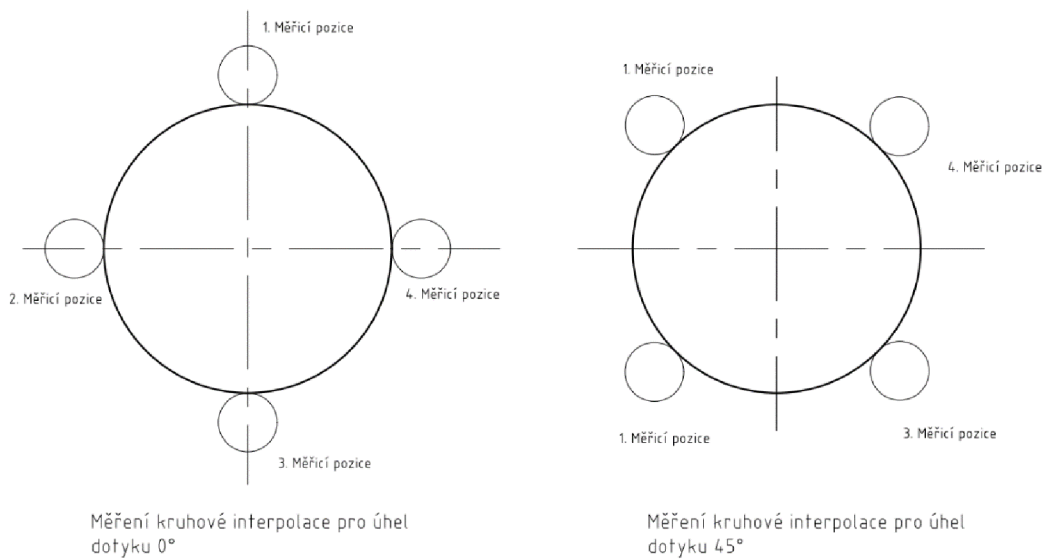
Digitální mikrometr použitý pro naměření porovnávacích výsledků a ke kontrole rozměrů s rozsahem 25 – 50 mm a rozlišitelností 0,001 mm. Byl použit pro měření každé součásti (příloha 3).

## 3.2 Postup výroby a měření součásti sondou

Při výrobě první součásti byla provedena korekce pro nástroj, ale pouze délková pomocí laserové sondy NC4F průměrová korekce byla napsána ručně do seznamu nástrojů a to s předpokladem že, se jedná o nástroj s  $\varnothing 18$  mm. Provedlo se obrobení s úběrem jednoho milimetru do hloubky 15 mm poté se zadal příkaz pro výměnu nástroje na sondu OMP 400 referenční bod sondy byl zvolen X0 Y0 Z10. Po výměně nástroje se musela pomocí příkazu zapnout sonda provedlo měření kruhové interpolace sondou pomocí měřicího cyklu. Před měřením se ještě provedlo očištění součásti. Měření se provedlo dvakrát místa dotyků sondy (obr. 6), kvůli časovému omezení a šetření baterií sondy. Po provedení měření se výsledky zapsaly pro pozdější porovnání (tab. 1).

Měření sondou pro součást I.:

1. Úhel dotyku  $0^\circ$ : 48,962 mm
2. Úhel dotyku  $45^\circ$ : 48,965 mm



Obr. 6 Pozice měření kruhové interpolace

Při výrobě druhé součásti byla provedena délková i průměrová korekce pro nástroj a obě pomocí sondy NC4 pro průměrovou korekci se hodnoty změřené pomocí sondy lišily z toho důvodu se provedly čtyři měření pro průměrovou korekci a po provedení korekce se vzala hodnota  $R=9,032\text{mm}$  a automaticky se zapsala do seznamu nástrojů z parametrů zjištěných měření a poté se opět provedlo obrobení průměru hodnoty byly opět zapsány (tab. 1).

Měření sondou pro nástroj:

1.  $R = 9,134\text{ mm}$
2.  $R = 9,049\text{ mm}$
3.  $R = 9,034\text{ mm}$
4.  $R = 9,032\text{ mm}$

Měření sondou pro součást II.:

1. Úhel dotyku 0°: 49,032 mm
2. Úhel dotyku 45°: 49,027 mm

Při výrobě třetí součásti byl postup obdobný jako u výroby druhé součásti. Dále bylo po měření sondou provedeno měření digitálním mikrometrem. Provedla se čtyři měření a z naměřených hodnot průměrů se vypočítal aritmetický průměr dle rovnice (1):

$$\bar{x}_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

kde:  $\bar{x}_0$  – střední hodnota pro výpočet  $R_0$  [mm]  
 $n$  – počet měřených součástí [-]  
 $i$  – obecný index pořadí měřených součástí [-]  
 $x$  – naměřená hodnota [mm]

Po výpočtu aritmetického průměru byl rozdíl od jmenovitého rozměru zapsán jako hodnota korekce nástroje.

Měření sondou pro součást III.:

1. Úhel dotyku 0°: 49,032 mm
2. Úhel dotyku 45°: 49,028 mm

Měření mikrometrem: 1. 49,031 mm  
2. 49,036 mm  
3. 49,027 mm  
4. 49,034 mm

Hodnota vypočteného aritmetického průměru:

$$\bar{x}_0 = 49,032 \text{ mm}$$

Výpočet teoretické hodnoty  $R_0$  potřebné pro korekci nástroje, aby bylo dosaženo průměru obrobku  $D = 49,000 \text{ mm}$  :

$$R_0 = \frac{(49,032 - 49,000)}{2} = 0,032 \text{ mm}$$

Jako korekce nástroje byla zadána polovina hodnoty  $R_0$  :  $R = 0,032/2 = 0,016 \text{ mm}$ .

Pro čtvrtou obráběnou součást byla ponechána délková korekce nástroje. Průměrová korekce byla zapsána ručně dle výsledku aritmetického průměru z hodnot naměřených digitálním mikrometrem. A po obrobení a měření byli získány výsledky pro tuto součást bylo provedeno celkem pět měření sondou pro ověření naměřených hodnot (příloha 1).

Měření sondou pro součást IV.:

1. Úhel dotyku 0°: 49,000 mm
2. Úhel dotyku 0°: 48,999 mm
3. Úhel dotyku 0°: 48,997 mm
4. Úhel dotyku 45°: 49,001 mm
5. Úhel dotyku 45°: 48,996 mm

Po skončení procesů obrábění a měření se provedlo očištění sondy od procesní kapaliny aby nevznikaly nežádoucí usazeniny které, by mohly pro budoucí měření zkreslovat měřené hodnoty při výměně nástroje se před každým měřením sonda očišťovala od procesní kapaliny i když by sonda počítala i s filmem vytvořeným procesní kapalinou.

### 3.3 Postup výroby a měření součásti digitálním mikrometrem

Po výrobě III. Součásti se provedly čtyři měření digitálním mikrometrem z naměřených hodnot se vypočítal aritmetický průměr a výsledná hodnota tj. 49,032 mm se zapsala do korekce nástrojů aby se naměřené hodnoty přiblížily požadovanému rozměru

49,000 mm. Po zadání korekce nástroje tj.  $R = 9,016$  mm do seznamu nástrojů se provedlo obrobení IV. součásti a následné měření sondou.

Po zapsání výsledků měření sondou a očištění stroje se provedlo měření pomocí digitálního mikrometru. Jednotlivé součásti se upnuly do sklíčidla a poté se provedlo deset měření pro každou součást pro následné vyhodnocení naměřených hodnot (tab. 2).

### 3.4 Vyhodnocení získaných dat

V této kapitole jsou vyhodnocena a porovnána získaná data z naměřených hodnot sondami a mikrometrem. Vyhodnocení hodnot naměřených digitálním mikrometrem bude dle normy ČSN EN 14253-1:2018 [14]. Jmenovitý rozměr je  $\varnothing 49$  mm s tolerancí 0,03 mm ( $\pm 0,03$  mm).

Tabulka naměřených hodnot digitálním mikrometrem (tab. 1).

Tab.1 Naměřené hodnoty digitálním mikrometrem

Pořadí měření	Měřené součásti [mm]			
	I. součást	II. součást	III. součást	IV. součást
1.	49,958	49,029	49,023	49,005
2.	48,971	49,028	49,029	49,001
3.	48,972	49,018	49,030	49,002
4.	48,990	49,020	49,027	49,006
5.	48,996	49,024	49,035	49,007
6.	48,989	49,023	49,029	49,008
7.	48,974	49,029	49,025	49,003
8.	48,956	49,026	49,037	48,995
9.	48,951	49,021	49,034	49,002
10.	48,963	49,030	49,031	49,008

Pro vyhodnocení byly použity následující rovnice:

- Aritmetický průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

kde:  $\bar{x}$  – střední hodnota [mm]

n – počet měřených součástí [-]

i – obecný index pořadí měřených součástí [-]

x – naměřená hodnota [mm]



- Směrodatná odchylka

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

kde:  $s_x$  – směrodatná odchylka [-]  
 $\bar{x}$  – střední hodnota [mm]  
 $n$  – počet měřených součástí [-]  
 $i$  – obecný index pořadí měřených součástí [-]  
 $x$  – naměřená hodnota [mm]

- Nejistota typu A

$$u_A = \sqrt{s_x} \quad (4)$$

kde:  $u_A$  – nejistota typu A [-]  
 $s_x$  – směrodatná odchylka [-]

- Nejistota typu B

$$u_B = 0,003$$

- Kombinovaná nejistota

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} \quad (5)$$

kde:  $u_C$  – kombinovaná nejistota [-]  
 $u_A$  – nejistota typu A [-]  
 $u_B$  – nejistota typu B [-]

- Koeficient pro určení hodnoty  $g_A$  z tabulky normy ČSN EN 14253-1:2018

$$k_1 = \frac{(USL - LSL)}{u_C} \quad (6)$$

kde:  $k_1$  – koeficient pro určení hodnoty  $g_A$  [-]  
USL – horní mez specifikace [mm]  
LSL – dolní mez specifikace [mm] [-]  
 $u_C$  – kombinovaná nejistota [-]

- Hodnota koeficientu  $g_A$  z tabulky ČSN EN 14253-1:2018

$$g_A = 1,65$$

- Hodnota koeficientu  $g_A$  násobená kombinovanou nejistotou

$$C = g_A \cdot u_c \quad (7)$$

kde:  $C$  – rozšiřující hodnota pole shody [-]

$g_A$  – koeficient dle normy ČSN EN 14253-1:2018 [-]

$u_c$  – kombinovaná nejistota [-]

- Hodnota USL (upper specification limit), tj. horní mez specifikace

$$USL = D + H_{MZ} \quad (8)$$

kde:  $USL$  – horní mez specifikace [mm]

$D$  – požadovaný průměr [mm]

$H_{MZ}$  – horní mezní rozměr [mm]

- Hodnota LSL (lower specification limit), tj. dolní mez specifikace

$$LSL = D - H_{MZ} \quad (9)$$

kde:  $LSL$  – dolní mez specifikace [mm]

$D$  – požadovaný průměr [mm]

$H_{MZ}$  – dolní mezní rozměr [mm]

- Hodnota pro horní mez pole shody HMPS

$$HMPS = USL + C \quad (10)$$

kde:  $HMPS$  – horní mez pole shody [mm]

$USL$  – horní mez specifikace [mm]

$C$  – rozšiřující hodnota pole shody [-]

- Hodnota pro spodní mez pole shody DMPS

$$DMPS = LSL - C \quad (11)$$

kde:  $DMPS$  – dolní mez pole shody [mm]

$LSL$  – dolní mez specifikace [mm]

$C$  – rozšiřující hodnota pole shody [-]

Vypočtené hodnoty:

Poznámka: Vzhledem k tomu, že při dosazení všech hodnot z tab. 1 do rovnic ( $\bar{x}$  a  $s_x$ ) došlo k přesahu rámce řádku stránky A4, byly v rovnicích nahrazeny obecným zápisem.

- Součást I. (obr. 7)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{10} = 48,9720 \text{ mm}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{10}} = 0,15520596$$

$$u_A = \sqrt{0,015520596} = 0,004908043$$

$$u_C = \sqrt{(0,004908043^2 + 0,003^2)} = 0,005752294$$

$$k_1 = \frac{(0,03 - (-0,03))}{0,005752294} = 10,43062083$$

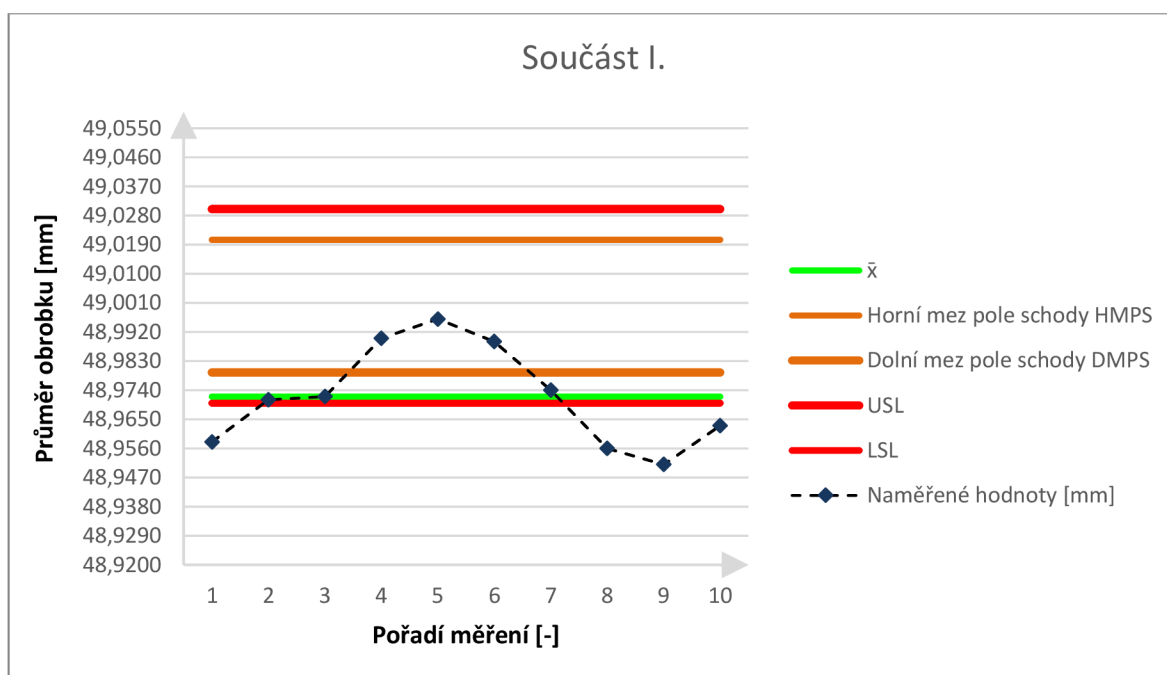
$$C = 1,65 \cdot 0,005752294 = 0,009491285$$

$$USL = 49 + 0,03 = 49,03 \text{ mm}$$

$$LSL = 49 - 0,03 = 48,97 \text{ mm}$$

$$HMPS = 49,03 + 0,009491285 = 49,020509 \text{ mm}$$

$$DMPS = 48,97 - 0,009491285 = 48,9794913 \text{ mm}$$



Obr. 7 Graf naměřených hodnot součásti I.

- Součást II. (obr. 8)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{10} = 49,0248 \text{ mm}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{10}} = 0,0042374$$

$$u_A = \sqrt{0,0042374} = 0,001339983$$

$$u_c = \sqrt{(0,001339983^2 + 0,003^2)} = 0,003285659$$

$$k_1 = \frac{(0,03 - (-0,03))}{0,003285659} = 18,26117641$$

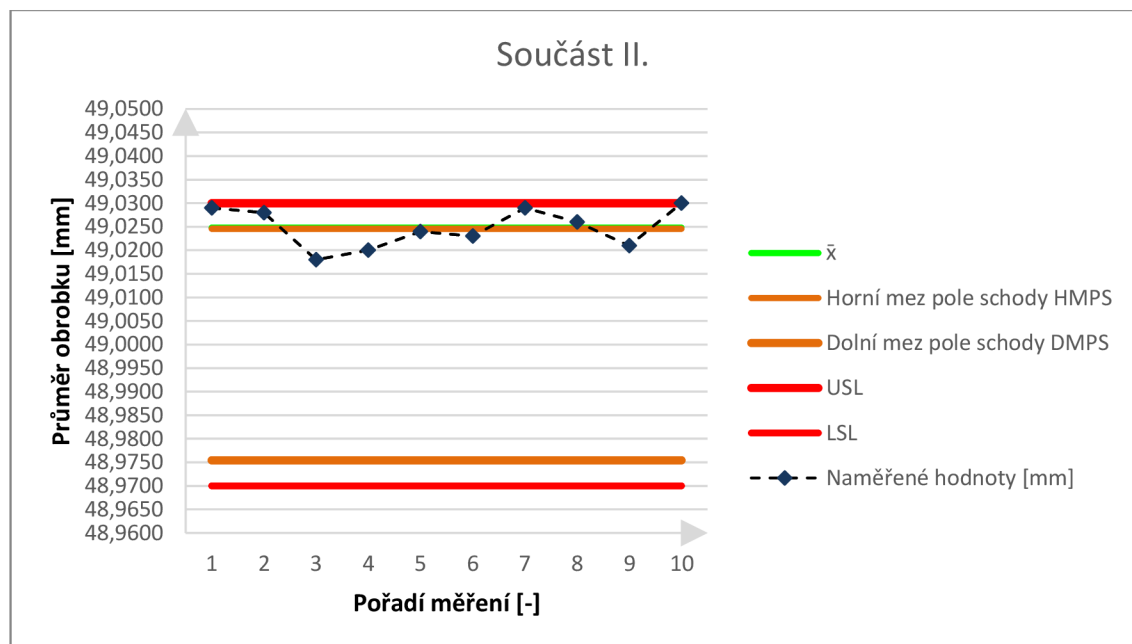
$$C = 1,65 \cdot 0,003285659 = 0,005421337$$

$$USL = 49 + 0,03 = 49,03 \text{ mm}$$

$$LSL = 49 - 0,03 = 48,97 \text{ mm}$$

$$HMPS = 49,03 + 0,005421337 = 49,024579 \text{ mm}$$

$$DMPS = 48,97 - 0,005421337 = 48,9754213 \text{ mm}$$



Obr. 8 Graf naměřených hodnot součásti II.

- Součást III. (obr. 9)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{10} = 49,0300 \text{ mm}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{10}} = 0,004422166$$

$$u_A = \sqrt{0,004422166} = 0,001398412$$

$$u_C = \sqrt{(0,001398412^2 + 0,003^2)} = 0,003309918$$

$$k_1 = \frac{(0,03 - (-0,03))}{0,003309918} = 18,12733863$$

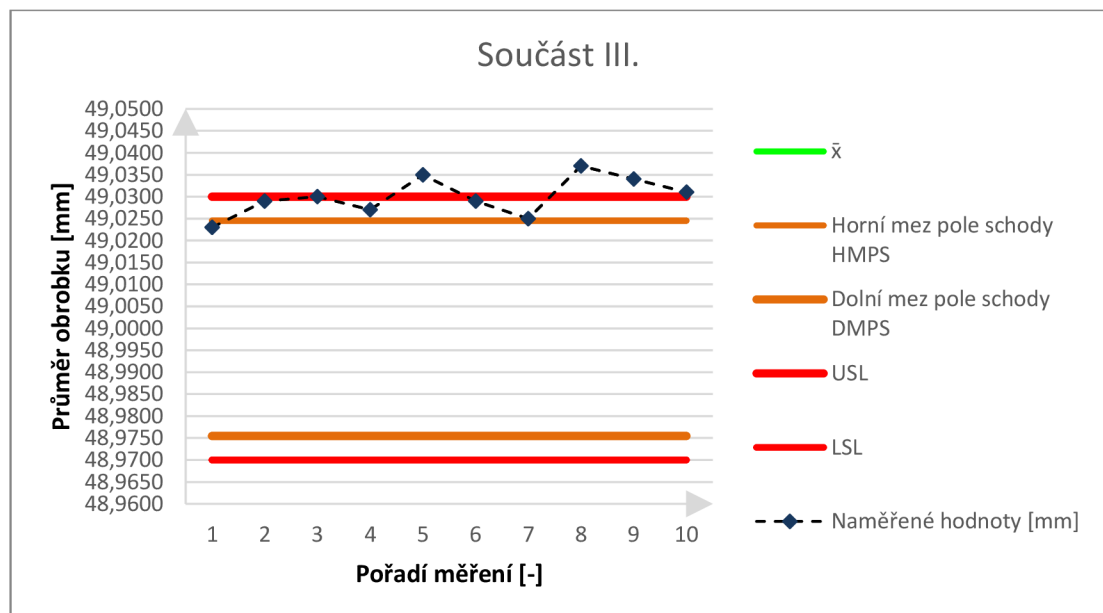
$$C = 1,65 \cdot 0,003309918 = 0,005461364$$

$$USL = 49 + 0,03 = 49,03 \text{ mm}$$

$$LSL = 49 - 0,03 = 48,97 \text{ mm}$$

$$HMPS = 49,03 + 0,005461364 = 49,024539 \text{ mm}$$

$$DMPS = 48,97 - 0,005461364 = 48,9754614 \text{ mm}$$



Obr. 9 Graf naměřených hodnot součásti III.

- Součást IV. (obr. 10)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{10} = 49,0037 \text{ mm}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{10}} = 0,004001389$$

$$u_A = \sqrt{0,004001389} = 0,00126535$$

$$u_C = \sqrt{(0,00126535^2 + 0,003^2)} = 0,003255935$$

$$k_1 = \frac{(0,03 - (-0,03))}{0,003255935} = 18,42788771$$

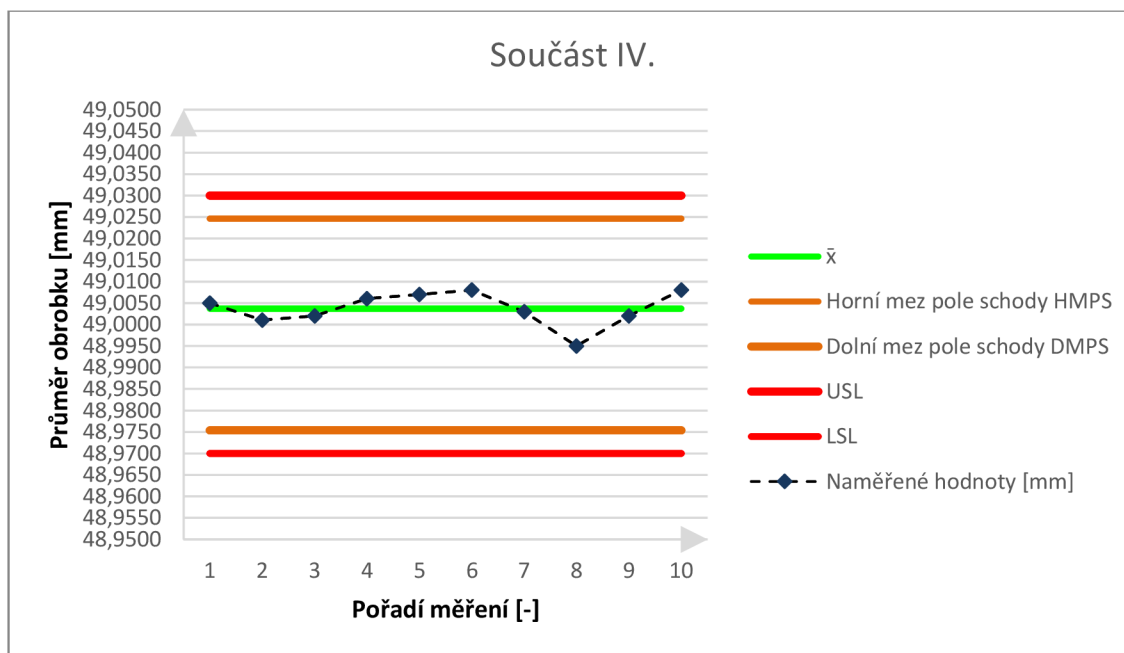
$$C = 1,65 \cdot 0,003255935 = 0,005372292$$

$$USL = 49 + 0,03 = 49,03 \text{ mm}$$

$$LSL = 49 - 0,03 = 48,97 \text{ mm}$$

$$HMPS = 49,03 + 0,005372292 = 49,024628 \text{ mm}$$

$$DMPS = 48,97 - 0,005372292 = 48,9753723 \text{ mm}$$



Obr. 10 Graf naměřených hodnot součásti IV.

Tab. 2 Vypočtené hodnoty

Veličina	Číslo měřené součásti			
	I. Součást	II.Součást	III.Součást	IV.Součást
$\bar{x}$	48,9720	49,0248	49,0300	49,0037
$s_x$	0,015520596	0,0042374	0,004422166	0,004001389
$u_A$	0,004908043	0,001339983	0,001398412	0,00126535
$u_C$	0,005752294	0,003285659	0,003309918	0,003255935
$k_1$	10,43062083	18,26117641	18,12733863	18,42788771
$C$	0,009491285	0,005421337	0,005461364	0,005372292
$USL$	49,03	49,03	49,03	49,03
$LSL$	48,97	48,97	48,97	48,97
$HMPS$	49,020509	49,024579	49,024539	49,024628
$DMPS$	48,9794913	48,9754213	48,9754614	48,9753723

## 4 DISKUZE

### 4.1 Omezený počet měření

Norma ČSN EN 14253-1:2018 předepisuje minimální počet měření pět. Z časových důvodů a šetření baterie sondy se pro měření sondou měřilo pouze dvakrát, výjimkou byla součást IV., kde se měření sondou minimálně pětkrát dodrželo z důvodu ověření měřeného rozměru.

### 4.2 Možné chyby měření

První chyba měření nastala při prvním měření nástroje laserovou sondou, tj.  $R = 9,134$  mm. Tato chyba byla s velkou pravděpodobností způsobena nečistotami usazenými na nástroji a delší odstávkou stroje. Další možná chyba byla způsobena lidským faktorem během měření digitálním mikrometrem a v neposlední řadě vlivem omezených měření obrobku sondou.

### 4.3 Vliv kalibrace sondy na naměřené hodnoty

Velký vliv má také kalibrace dané sondy. Výrobce použité sondy uvádí v praktické části manuálu, že je nutno každého půl roku provést kalibraci sondy. Což může být v nepřetržitém provozu komplikace.



## ZÁVĚR

Při řešení tématu bakalářské práce se došlo k těmto výsledkům:

- V teoretické části je obsažen přehled a informace o moderních řídicích systémech CNC strojů od výrobců SINUMERIK a Fanuc, kteří patří k nejrozšířenějším výrobcům CNC systémů. V druhém bodě se bakalářská práce zabývá charakteristikou měřicích cyklů CNC strojů. Pro tento bod byli vybráni společnosti RENISHAW a hyperMILL® a jejich řešení technologií pro měření na CNC strojích. Pro praktickou část byli použity sondy od výrobce RENISHAW, který používá například pro nástrojové sondy technologii MicroHole,
- cílem praktické části bylo provést měření a vyhodnocení s jak velkou přesností lze obrábět na CNC strojích pomocí nástrojových a obrobkových sond, které využívají měřicích cyklů. K tomuto bylo použito obráběcí centrum MCV 1210 s dodatečným vybavením ve formě laserové nástrojové sondy NC4F a obrobkové sondy OMP400 obě sondy komunikují s obráběcím centrem pomocí OMI-2 komunikačního modulu optických sond. K dosažení výsledků byli obrobeny celkem čtyři součásti při tom bylo na danou problematiku vždy nahlíženo jiným způsobem. Například při obrobení první součásti se neprovedla průměrová korekce nástroje a naměřené hodnoty tímto byli velmi ovlivněny. U druhé součásti byla už provedena korekce délková i průměrová. Z výsledků měření druhé součásti vyplývá, že korekce nástroje je s určitou chybovostí odchylka od požadovaného rozměru tj.  $\varnothing 49$  mm byla v řádech setin. Pro ověření se provedlo obrobení třetí součásti a opět byla zjištěna odchylka z toho důvodu bylo provedeno dodatečné měření digitálním mikrometrem a provedena korekce rozdílu hodnot jmenovitého rozměru a aritmetického průměru vypočteného z měření mikrometrem. Při měření čtvrté součásti sondou byla zjištěna téměř shoda s požadovaným rozměrem tj.  $\varnothing 49$  mm naměřené hodnoty měly odchylku v řádech tisícínách,
- z naměřených dat digitálním mikrometrem (tab. 1) a sondou lze pozorovat, že data naměřená sondou korespondují s daty naměřenými digitálním mikrometrem lze tedy říct, že při určité míře požadované přesnosti výroby lze konvenční měřidla zcela vynechat a provádět měření pouze sondami pokud je to výhodné,
- pro vyhodnocení byla zvolena statistická metoda dle normy ČSN EN 14253-1:2018. Výsledky a vyhodnocení bylo provedeno v podobě grafů dle kterých je patrné, že tento CNC stroj je schopen za pomoci sond obrábět přesné rozměry a díky použití obrobkových sond se obrobek nemusí přepínat kvůli měření, což je obecně vyžadováno ve strojírenství,
- požadavky na přesnost byly splněny za předpokladu, že se rozměr zkorigoval pomocí mikrometru lze i použít ke zkorigování měření pomocí sondy v tomto případě se provedlo opakované měření digitálním mikrometrem a dle vypočtených hodnot se provedla korekce nástroje k snížení odchylek od požadovaného rozměru,
- z dat tedy vyplývá, že samotné měření laserovou sondou provedlo korekci nástroje ale s nedostatečnou výrobní přesností, požadované výrobní přesnosti bylo dosaženo až při průměrové korekci.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
3. CNC systémy. FANUC Czech s.r.o. [Online]. FANUC CNC systémy a řešení [cit. 2021-3-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/cnc-system/motion-control>
4. CNC řídicí systémy. Profika s.r.o [Online] 2014 [cit. 2021-3-17]. CNC řídicí systém [cit. 2021-3-21]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/cnc-ridici-system>
5. FANUC Europe Corporation [Online] 2020 [cit. 2021-3-18] CNC Katalog FANUC. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/cnc-system/motion-control>
6. DREAMland, spol. s.r.o. [Online] [cit. 2021-3-18] Digitální řídicí systém Dostupné z: <https://dreamland-plc.cz/plc-siemens/siemens-sinumerik/>
7. Siemens s.r.o [Online] [cit. 2021-5-17] CNC systémy SINUMERIK Dostupné :<https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/cnc-sinumerik.html>
8. WESTCAM s.r.o [Online] 2021 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.westcam.cz/produkty/cam/mereni-obrobku-na-cnc-obrabcich-strojich/>
9. PAGÁČ, Marek Měření na CNC frézovacích strojích. MM Průmyslové spektrum [Online] 07.09.2011 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-na-cnc-frezovacich-strojich>
10. RENISHAW [Online] 2012 [cit. 2021-5-19]. Kapesní příručka o řešeních pomocí sond pro CNC obráběcí stroje. Dostupné z: [MTP Pocket Guide CS.pdf](#)
11. WESTCAM s.r.o [Online] 2021 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.westcam.cz/produkty/cam/hypermill/>
12. RENISHAW [Online] 2009 [cit. 2021-5-19] Instalační a uživatelská příručka komunikačního modulu OMI-2. Dostupné z: [file:///C:/Users/42072/Downloads/H-2000-5233\\_OMI-2\\_IG\\_CS.pdf](file:///C:/Users/42072/Downloads/H-2000-5233_OMI-2_IG_CS.pdf)
13. SLÁMA, Josef. Technologie seřizování nástrojů laserem. MM Průmyslové spektrum [Online] 09.07.2008 [cit. 2021-5-19] . Dostupné z: [Technologie seřizování nástrojů laserem | MM Průmyslové spektrum \(mmspektrum.com\)](#)
14. ČSN EN ISO 14253-1. Zkouška obrobků a měřidel měřením. Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi. Brno: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 36 s. Třídící znak 014100

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>Zkratka</b>	<b>Popis</b>
<b>NC</b>	Číslicové ovládání strojů (numerical control)
<b>CNC</b>	Číslicové řízení pomocí počítače (Computer Numerical Control)
<b>2D</b>	dvojměrný
<b>3D</b>	trojměrný
<b>CAD</b>	počítačem podporované navrhování (Computer aided drawing)
<b>CAM</b>	počítačem řízená výroba (Computer Aided Manufacturing)
<b>PLC</b>	programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
<b>NCU</b>	víceprocesorová jednotka (Numerical Control Unit)
<b>LED</b>	elektroluminiscenční dioda (Light-Emitting Diode)

<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
$\bar{x}_0$	[mm]	střední hodnota pro výpočet $R_0$
$x$	[mm]	naměřená hodnota
$i$	[-]	obecný index pořadí měřených součástí
$n$	[-]	počet měřených součástí
$R_0$	[mm]	výpočet teoretické hodnoty korekce nástroje
$R$	[mm]	hodnota korekce nástroje
$s_x$	[-]	směrodatná odchylka
$u_A$	[-]	nejistota typu A
$u_B$	[-]	nejistota typu B
$u_c$	[-]	kombinovaná nejistota
$k_1$	[-]	Koeficient pro určení hodnoty $g_A$
$USL$	[mm]	horní mez specifikace
$LSL$	[mm]	dolní mez specifikace
$g_A$	[-]	Koeficient pro vyhodnocení dle normy ČSN EN 14253-1
$C$	[-]	rozšiřující hodnota pole shody

<b><i>D</i></b>	[mm]	Požadovaný průměr (jmenovitý)
<b><i>H<sub>MZ</sub></i></b>	[mm]	horní mezní rozměr
<b><i>D<sub>MZ</sub></i></b>	[mm]	dolní mezní rozměr
<b><i>HMPS</i></b>	[mm]	horní mez pole shody
<b><i>DMPS</i></b>	[mm]	Dolní mez pole shody

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Sejmuté obrazovky CNC systému z procesu měření
- Příloha 2 Sonda RENISHAW
- Příloha 3 Upnutá součást ve sklíčidle pro měření mikrometrem
- Příloha 4 Technické parametry stroje MCV 1210



## PŘÍLOHA 2

Sonda RENISHAW



## PŘÍLOHA 3

Upnutá součást ve sklíčidle pro měření mikrometrem





## Technické parametry stroje MCV 1210

<b>1</b>	Návod k používání	- 1.8 -	POPIS STROJE A JEHO SPECIFIKACE	<b>1</b>
----------	-------------------	---------	---------------------------------	----------

## 1.3 TECHNICKÁ DATA

	Metrická	Palcová
<b>PRACOVNÍ POJEZD</b>		
osa X - křížový suport	1 000 mm	39.37"
osa Y - příčnick	800 mm	31.5"
osa Z - smykadlo	600 mm	23.6"

<b>POSUVY V OSÁCH X, Y, Z</b>		
Pracovní posuvy	20 m/min	787.4 ipm
Rychloposuv	40 m/min	1574.8 ipm
Maximální zrychlení os	5 m.s <sup>-2</sup>	

<b>VZDÁLENOSTI</b>		
Čelo vřetena od stolu	150 – 750 mm	5.91 - 29.5"
Pracovní stůl od podlahy	750 mm	29.53"

<b>POHONY</b>				
Posuvové motory	jmenovitý moment	v ose X a Y	38 Nm	28 ft.lbs
		v ose Z	18,5 Nm	13.65 ft.lbs
	jmenovité otáčky	v ose X a Y	2 000 min <sup>-1</sup>	
		v ose Z	3 000 min <sup>-1</sup>	
	axiální síla	v ose X a Z	13 kN	2922.52 lbs
		v ose Y	16 kN	3596.94 lbs

<b>PŘESNOST</b>			
Odměřovací systém v ose X, Y, Z		Přímý	
Měření a vyhodnocení podle normy VDI/DGQ 3441			
Přesnost polohování	v ose X, Y a Z	0,008 mm	0.00031"
Opakovaná přesnost	v ose X, Y a Z	0,006 mm	0.00023"

<b>PRACOVNÍ STŮL</b>		
Pracovní plocha	1200 x 1000 mm	47.24 x 39.37"
Maximální zatížení	3 000 kg	6 614 lbs

<b>VŘETENO</b>			
Typ		Weiss 176 024 800	
Rozsah otáček		0 – 18 000 min <sup>-1</sup>	
Upínací kužel		HSK-A 63	
Motor	jmenovité otáčky	4 390 min <sup>-1</sup>	4 390 rpm
	výkon trvale (S1)	30 kW	40.21 hp
	výkon při přetížení (S4 – 60%)	32 kW	42.89 hp
	max. kroutící moment (S1-100%)	80 Nm	59 ft.lbs
	max. kroutící moment při přetížení (S4 - 60%)	90 Nm	66.4 ft.lbs