



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ NA CNC STROJI ZE ZAHRNUTÍM AUTOMATICKÉHO MĚŘENÍ

MACHINING ON A CNC MACHINE INCLUDING AUTOMATIC MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Kubín

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **David Kubín**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2021/22

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 bakalářské práce:

Obrábění na CNC stroji ze zahrnutím automatického měření

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Moderní CNC stroje disponují měřicími cykly, využitelnými přímo v průběhu obráběcího procesu. Dle typu řídicího systému stroje je úroveň měření různá.

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika řídicích systémů CNC strojů.
- Měřicí cykly v řídicích systémech.
- Vytipování ukázkové technologie.
- Sestavení provozních dat do TPV dokumentace.
- Ověření procesu.
- Zhodnocení.

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.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

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 80-720-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tématem bakalářské práce je rozbor a začlenění měřicího cyklu do procesu obrábění na CNC stroji, což je obsaženo ze dvou částech, teoretické a praktické.

V teoretické části je v krátkosti rozebrána historie NC/CNC strojů, včetně základních režimů řízení NC/CNC strojů a struktury NC programu. Dále jsou představeny řídicí systémy od nejznámějších firem na českém trhu. V teorii jsou mimo jiné uvedeny měřicí cykly v řídicích systémech a jejich příklady.

Praktická část bakalářské práce je zaměřena na vytvoření vhodné ilustrativní součásti, následné sestavení provozních dat a dokumentů do technologické přípravy výroby. Na těchto datech je založena výroba součásti a následné měření. Proces výroby je zakončen zhodnocením zjištěných informací.

Klíčová slova

CNC stroj, NC program, řídicí systémy, měřicí sonda, měřicí cykly

ABSTRACT

The topic of the bachelor thesis is the analysis and integration of the measuring cycle into the machining process on a CNC machine. The topic is dealt with in two parts, theoretical and practical.

The theoretical part briefly discusses the history of NC/CNC machines, including the basic control modes of NC/CNC machines and the structure of the NC programme. Furthermore, the control systems produced by renowned companies available on the Czech market are presented. Besides other facts, measuring cycles in control systems and their examples are also mentioned in this part.

The practical part of the bachelor's thesis is focused on the creation of a suitable illustrative component, the subsequent compilation of operational data and documents into the technological preparation of the production. The production of the component and its subsequent measurements are based on these data. The production process ends with the evaluation of the information obtained.

Key words

CNC machine, NC program, control system, measuring probe, measuring cycles

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUBÍN, David. *Obrábění na CNC stroji ze zahrnutím automatického měření* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140313>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Obrábění na CNC stroji ze zahrnutím automatického měření vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Kubín David

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1 CHARAKTERISTIKA ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ CNC STROJŮ	10
1.1 Historie NC/CNC strojů	10
1.2 Definice	10
1.3 NC stroje.....	11
1.4 CNC stroje.....	11
1.5 Provozní režimy CNC obráběcích strojů.....	11
1.5.1 MANUAL.....	12
1.5.2 AUTO	12
1.5.3 B-B.....	12
1.5.4 NASTAVENÍ	12
1.5.5 TOOL MEMORY.....	12
1.5.6 TEACH IN.....	13
1.5.7 EDITACE	13
1.5.8 Testy NC programů a simulace	13
1.6 Programování řídicích systémů CNC strojů.....	13
1.6.1 Struktura programu	13
1.6.2 Způsoby programování	14
1.6.3 Ruční programování CNC stroje	15
1.6.4 Programování CNC strojů pomocí CAD/CAM systémů	15
1.7 Vybrané CNC řídicí systémy	15
1.7.1 Fanuc	15
1.7.2 Heidenhain.....	17
1.7.3 Sinumerik.....	18
2 MĚŘICÍ CYKLY V ŘÍDICÍCH SYSTÉMECH.....	20
2.1 Měřicí sonda	20
2.2 Měření měřicími sondami a měřicími cykly	20
2.2.1 Použití měřicích sond a měřicích cyklů na CNC stroji	21
2.3 Měřicí a kontrolní software	21
2.3.1 EasyProbe	21
2.3.2 Inspection Plus.....	22
2.3.3 Productivity+™	22
2.4 Výhody a nevýhody měření na CNC obráběcím stroji	23
2.4.1 Výhody měření na CNC obráběcím stroji	23
2.4.2 Nevýhody měření na CNC obráběcím stroji	23
3 VYTIPOVÁNÍ UKÁZKOVÉ TECHNOLOGIE	24
3.1 Vytipování ilustrační součásti	24
4 SESTAVENÍ PROVOZNÍCH DAT DO TPV DOKUMENTACE	25
4.1 Výkresová dokumentace součásti a její rozbor	25
4.2 Volba stroje	25
4.2.1 FV 25 CNC A.....	25
4.2.2 MCV 1210	25

4.3	Volba nástrojů a měřidel	26
4.3.1	Vrták	26
4.3.2	Fréza	26
4.3.3	Sonda	26
4.3.4	Komunikační modul	27
4.4	NC program	27
5	OVĚŘENÍ PROCESU	28
5.1	Postup zhotovení součásti	28
5.2	Postup měření součásti	28
6	ZHODNOCENÍ	31
6.1	Kalibrace sondy	31
6.2	Možné chyby při měření	31
	ZÁVĚR	32
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	33
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	35
	SEZNAM PŘÍLOH	36

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá začleněním měřicího cyklu do procesu obrábění na CNC stroji. Téma bylo zvoleno, protože představuje důležitý krok v oblasti automatizace výroby, o kterou je v současné době velký zájem, z důvodu zvyšujících se požadavků na produktivitu výroby.

Svět je v neustálém pohybu a požadavky na přesnost rozměrů, tvarovou náročnost součástí a tempo výroby se neustále zvyšují. Tyto požadavky se bez měřicí sondy splňují velmi obtížně. Proto naprostá většina moderních CNC strojů využívá softwaru v řídicím systému pro cyklické měření. Tím pádem obsluha stroje nemusí využívat různé doplňkové pomůcky a může si měření programovat přímo na stroji samotném. Základní měřicí systémy je velmi jednoduché naprogramovat, což nevyžaduje vysokou úroveň proškolení obsluhy. Naopak softwary typu CAM na externím pracovišti vyžadují vyšší úroveň proškolení obsluhy.

Kapitoly v teoretické části obsahují odborné podklady nutné pro praktickou část práce. Objasňují řídicí systémy a měřicí cykly pro CNC stroje. V praktické části je zkonstruována ilustrační součást, ke které jsou sestavena provozní data. Na základě těchto dat byla součást vyrobena a následně změřena. Ze získaných informací byl vyhodnocen celý proces výroby a měření.

1 CHARAKTERISTIKA ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ CNC STROJŮ

Charakteristika řídicích systémů CNC strojů je velmi rozsáhlé téma. Kapitola se snaží přiblížit jen zlomku obsahu tématu. V krátkosti bude popsána historie NC/CNC strojů, na to bude navazovat současná definice číslicově řízené výroby. Dále budou nastíněny provozní režimy CNC obráběcích strojů a ukázka struktury NC programu. Kapitola bude zakončena ukázkami firem, které vyvíjejí CNC řídicí systémy.

1.1 Historie NC/CNC strojů

Ještě v době před průmyslovou revolucí je znám rozvoj řemesel a řemeslnických schopností v oboru obrábění. Ale až v době průmyslové revoluce v 18.–19. století se často datuje podstatná část vývoje metody třískového obrábění. Na této metodě stojí základní myšlenka moderní teorie CNC obrábění. Zásadní zrychlení nastalo v okamžiku prvního mechanického pohonu stroje. Na počátku 20. století se začínají objevovat prvky automatizace a řízení výroby v technologii třískového obrábění. [1; 2]

Už v 40. letech 20. století se objevuje myšlenka číslicového řízení. Pro pohon byly používány elektricky řízené hydromotory, později se začalo využívat elektricky řízeného motoru a pro odměřování při polohování byly využity optické principy. Počátkem 50. let byl zaznamenán vývoj prvních NC strojů, takzvaných NC konzolových frézek. Do té doby pracovaly řídicí systémy na principu vakuových lamp, následně se začaly využívat systémy s magnetickým záznamem dat. [1; 2]

V 60. letech 20. století bylo představeno první obráběcí centrum na nerotační součásti. Použité NC systémy byly tranzistorové od firmy Kearney & Trecker. Ke konci 60. let byly aplikovány integrované obvody s možností parabolických či splineových interpolací. Vznikají první výrobní linky s NC stroji. [1; 2]

V 70. letech 20. století byly do NC strojů aplikovány kuličkové šrouby a hydrostatická vedení. NC systémy byly doplňovány o paměť a umožňovaly editaci NC programů. Firma Kearney & Trecker přišla s prvním pružným výrobním systémem (Flexible Manufacturing Systém). [1; 2]

V 80. letech 20. století dochází k významnému prosazování technologie třískového obrábění. Řídicí systémy byly opatřeny multiprocessorovými mikropočítačovými strukturami na bázi CNC/PLC a do strojů se začaly přidávat senzory pro sledování pohonů a mechanismů. Stroje byly vybaveny zásobníky na nástroje i na obrobky. [1; 2]

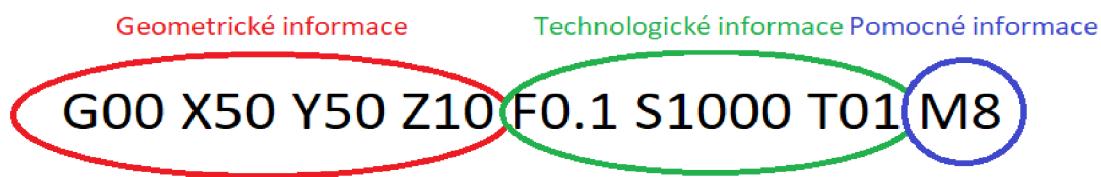
V 90. letech 20. století byla pozornost zaměřena především na zpřesňování výroby jednotlivých typů součástí a na zvyšování produktivity výroby. Zásobníky ve strojích se začaly zvětšovat na velkokapacitní. Se zvětšující se odlišností a složitostí vyráběných dílů rostlo i uplatnění pružných výrobních systémů. Potřeba řídicích systémů byla nezbytná. Proto se vývoj ve 21. století soustředí na synchronizaci Hardwaru a Softwaru. Běžně jsou do CNC strojů integrovány CAD/CAM systémy a zefektivňuje se řízení pomocí externí počítačové stanice či rozvoj v oblasti umělé inteligence. [1; 2]

1.2 Definice

„Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součástí.[3]“

Každý NC program musí obsahovat geometrickou část NC programu, technologickou část NC programu a pomocnou část NC programu. Příklad bloku/věty NC programu je zobrazen na obr. 1.: [3]

- Geometrická část NC programu popisuje trajektorii dráhy nástroje v kartézských souřadnicích. Tyto dráhy popisují tvar a rozměry obrobku, způsob obrábění obrobku a příjezdy a odjezdy nástroje k a od obrobku. [3]
- Technologická část NC programu určuje technologii obrábění z hlediska řezných podmínek. Do těchto podmínek například spadá řezná rychlost, otáčky, posuv, hloubka třísky, kód aktivního nástroje. [3]
- Pomocná část NC programu určuje povely pro stroj pro určité pomocné funkce. Do těchto pomocných funkcí například spadá zapnutí čerpadla s procesní kapalinou, směr otáček vřetena, výměna nástroje. [3]



Obr. 1 Ukázka bloku/věty

1.3 NC stroje

Jako NC (numerical control) stroje jsou označovány první programované stroje. NC stroje byly řízeny prvními programy, které byly vyznačené na děrném štítku nebo na děrné pásce. Prosadily se ve výrobě zejména u součástí, které byly složitějšího tvaru a odpovídající opakovatelnosti. Postupem doby a vývojem informační technologie byly NC stroje vybavovány počítačem. Tím vznikl zrod CNC strojů (Computer numerical control). [3]

1.4 CNC stroje

CNC (computer numerical control) jsou počítačem řízené NC stroje. Počítač, zvláště určen pro řízení NC stroje, je vybaven pamětí na NC programy a speciálním řídicím systémem. Tento software usnadňuje a zrychluje programování stroje, také v něm může být vytvářen NC program. Konstrukce CNC stroje je tvořena modulárně, protože stavebnicový způsob stavby stroje zajišťuje nejrychlejší a nejlevnější uspokojení požadavků zákazníka. Z toho vyplývá, že vznikají stroje podle potřeby zákazníka. Například jako CNC obráběcí centra, která obsahují rozličné technologie výroby, CNC automaty pro hromadnou a sériovou výrobu, stroje s víceosým řízením nebo CNC měřicí stroje. [3; 4]

1.5 Provozní režimy CNC obráběcích strojů

Při obsluze CNC stroje je možné se setkat s několika variantami provozních činností stroje nebo pouze jeho řídicího systému. Každou tuto provozní činnost lze spustit na řídicím panelu příslušným tlačítkem. Většinou tyto provozní činnosti mají specifický symbol pro danou činnost na tlačítku, viz obr. 2. Řídicí systémy nejčastěji používají režimy MANUAL, AUTO, B-B atd... [3]



Obrázek 2 Ukázka symbolu na řídicím panelu

1.5.1 MANUAL

Režim MANUAL neboli ruční provoz slouží k ručnímu ovládní stroje. Tento režim může být využit pro přesun nástroje, nebo měřicího zařízení, do vhodné pozice. Může být použit také k výměně nástroje nebo rozběh otáček vřetena. Dále v režimu MANUAL lze aktivovat ruční ovládní kolečkem, pomocí kterého obsluha může ovládat najíždění k obrobku nebo ručně obrábět. [3]

1.5.2 AUTO

Režim AUTO neboli automatický provoz slouží k plynulému provádění NC programu. Řídicí systém stroje po zpracování bloku čte a zpracovává další blok automaticky. Tento plynulý proces obrábění se používá až po kontrole programu. [3]

1.5.3 B-B

Režim B-B neboli blok po bloku slouží ke kontrole NC programu. Tento režim stroje se po zpracování jednoho bloku zastaví. Pro pokračování NC programu je zapotřebí opětovné stisknutí startu, které spustí další čtení a zpracování dalšího bloku. V režimu může být provedeno celé obrábění dle NC programu. Hlavní využití režimu B-B je kontrola, zda CNC program byl správně vytvořen. [3]

1.5.4 NASTAVENÍ

Režim NASTAVENÍ slouží k ovlivnění velikosti otáček, pracovního posuvu a rychloposuvu. Rozsah pohybu lze měnit ručně pomocí potenciometru. Potenciometrem lze nastavit rozsah, obvykle v rozmezí 5 až 150 %, hodnoty nastavené v ručním nebo automatickém režimu. Režim NASTAVENÍ je použit při obrábění prvního obrobku z důvodu vyloučení možné havárie při chybném určení nulového bodu. Tento režim může být také použit při ručním určování nulového bodu nebo jako úprava řezných podmínek v automatizovaném provozu. [3]

1.5.5 TOOL MEMORY

Režim TOOL MEMORY neboli paměť nástrojových dat slouží k uložení a vyvolání dat o nástrojích. V tomto režimu stroje se ukládají informace o názvu nástroje, o rozměrech nástroje a poloze nástroje. Nástroje jsou uloženy v zásobníku nebo v revolverové hlavě a při použití vybraného nástroje si řídicí systém z uložených dat načítá přiřazené údaje o velikosti korekcí. Stroj, který má jen jeden nástroj tento režim nepoužívá, protože se provádí výměna nástrojů ručně za použití funkce M06, ve které jsou uvedeny korekce daného nástroje. [3]

1.5.6 TEACH IN

Režim TEACH IN neboli „učení se“ anebo také „njetí a uložení“ znamená, že stroj má do určité míry schopnost učit se. Schopnost učení stroje funguje tak, že obsluha provádí ručním řízením stroje požadovanou činnost pro výrobu obrobku. Zároveň dochází k automatickému načítání úkonů do editoru. Při následném spuštění NC programu se tyto naučené úkony vykonávají automaticky. Režim TEACH IN se v provozu používá jen výjimečně. [3]

1.5.7 EDITACE

Režim EDITACE NC programu slouží k nahrávání NC programu pro obrábění. V tomto režimu je možné nahrát vlastní program pro obrábění přímo do editoru na stroji. Také je možné nahrát NC program do stroje externě z počítače, po síti nebo z externího media. Po nahrání do stroje se v režimu editace mohou programy dle potřeby opravit či upravit. [3]

1.5.8 Testy NC programů a simulace

Test NC programu slouží jako kontrola NC programu. Testuje se napsaný NC program, ale nesimulují se pohyby. Tyto testy upozorňují zejména na geometrické nesrovnalosti nebo neproveditelné programové kroky a eventuálně na narušení pracovního prostoru. Simulace může upozornit na chybný blok v NC programu, ale simulací nelze odstranit všechny možné chyby v NC programu. Přesnost simulace se může lišit v závislosti na použitém řídicím systému, případně na simulačním programu. Většina simulací umožňuje kontrolu dráhy pohybu nástroje, rozměrů obrobku nebo kontrolu strategie obrábění. Simulace nezahrnuje upnutí obrobku a řezné podmínky, je nutné tyto podmínky ověřit v praxi. [3]

1.6 Programování řídicích systémů CNC strojů

NC program je soubor geometrických, technických a pomocných informací, které řídicí systém CNC stroje vyžaduje pro zhotovení výsledného obrobku. NC program je tvořený jednotlivými bloky. Obsluha může vytvořit svůj vlastní NC program přímo na stroji, jak již bylo zmíněno v podkapitole Editace. To se nazývá ruční programování CNC stroje. A dále je možné, jak již bylo řečeno, nahrát NC program do stroje externě z počítače, po síti nebo z externího media. NC program také může být vložen do řídicího systému stroje vygenerováním a následným importováním do řídicího počítače stroje z CAD/CAM pracoviště. [3; 5; 6]

1.6.1 Struktura programu

NC program je tvořen z jednotlivých bloků neboli vět. Každý blok má své číselné označení. Bloky jsou tvořeny z jednotlivých příkazů neboli slov. Příkazy jsou tvořeny z jednotlivých částí, z adresy a významové nebo rozměrové části. Adresa určuje druh příkazu. Významová část určuje číselnou hodnotu příkazu. Rozměrová část určuje rozměr příkazu. Ukázka NC programu je znázorněna v tab.1. [3; 5; 6]

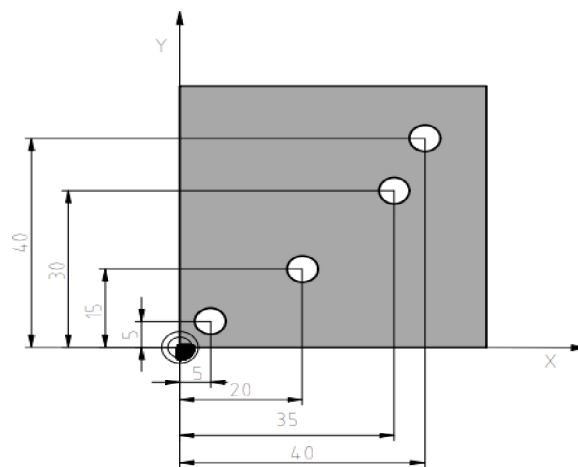
Tab. 1 Složení NC programu (bloku) [3]

N 40 G 00 X 100 Z -50				blok / věta
N 40	G 00	X 100	Z -50	příkaz / slovo
N	G	X	Z	Adresa
40		00		významová část
100		50		rozměrová část

1.6.2 Způsoby programování

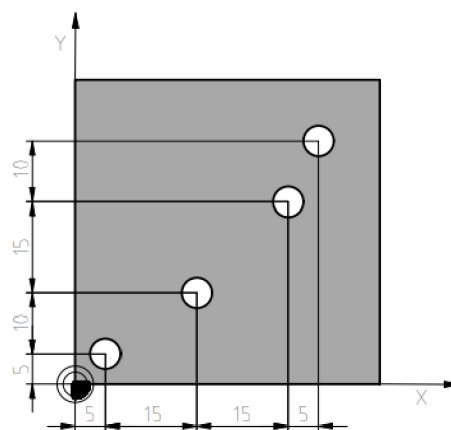
Existuje mnoho způsobů programování. Proto si před samotným začátkem programování musí obsluha určit jakým způsobem bude programovat. Je rozlišováno například absolutní programování, inkrementální programování, parametrické programování a programování polárními souřadnicemi. K hlavním způsobům programování patří absolutní a inkrementální. [3; 6]

- **Absolutní programování** – Většina řídicích systémů dává přednost absolutnímu programování, proto je nejpoužívanější. Toto programování funguje na principu absolutní nuly. To znamená, že všechny rozměry se vztahují k nulovému bodu obrobku. Nulový bod obrobku si programátor volí sám, ale většinou už je předdefinován od konstruktéra. To vede ke zmenšení rizika na chybu. Další výhodou je, že přímo ze souřadnic je zřejmá poloha bodu obrobku. Ukázka absolutního programování je znázorněna na obr. 3. [3;7]



Obr. 3 Absolutní programování

- **Inkrementální programování** – Inkrementální neboli přírůstkové programování je odlišné od absolutního programování. Toto programování funguje na principu přírůstku. To znamená, že souřadnice každého cílového bodu se uvažují jako přírůstek k předchozímu bodu, jehož souřadnice jsou považovány za nulový bod. Tento způsob programování se používal dříve, kdy NC programy byly na děrných páskách. V současnosti se inkrementální programování objevuje jen v podprogramech, kdy se opakují složité tvary v různých místech. Jinak se toto programování téměř nepoužívá z důvodu složité kontroly, což vede ke zvýšenému riziku chyb. Ukázka inkrementálního programování je znázorněna na obr. 4. [3; 6; 7]



Obr. 4 Přírůstkové programování

1.6.3 Ruční programování CNC stroje

Ručním programováním CNC stroje je myšleno přímé psaní NC programu do stroje ve výrobě. Ruční programování může být rozděleno na konturové programování a dílenské programování. Konturové programování se používá, když konstruktér nevyužije rozměrovou vazbu u důležitých bodů, které jsou nutné pro programování. Jedná se zejména o kontury, průsečíky, tečné body přímek a kruhových oblouků. Potřebné body, které leží na přímkách, které jsou rovnoběžné s osami souřadnic lze vypočítat z výkresu. Pokud přímký nejsou rovnoběžné s osami a oblouky v celých kvadrantech, jsou za potřebí náročné výpočty. Nebo je možné využití speciálního softwaru, který umožňuje spojení různých variant základních prvků, ke kterým dopočítá požadované body. Prvky mohou být zadané ve formě tečných spojení, úhlem, bodem, sražení či zaoblením. Dílenské programování je možné díky výkonnějším hardwarům přímo na stroji. Obsluha během pasivního dozoru u CNC stroje může vytvořit NC program na další práci. Na stroji v simulaci je možné přímo vidět obrábění po jednotlivých blocích a tím provést kontrolu NC programu. Dílenské programování má tu výhodu, že zefektivňuje výrobu a není zapotřebí externí programátorské pracoviště. [3]

1.6.4 Programování CNC strojů pomocí CAD/CAM systémů

Programování v CAD/CAM systémech v poslední době nabírá ve strojírenství na síle. Je to vyšší stupeň počítačové podpory. Systémy CAD/CAM jsou mnohem efektivnější při výrobě a automatizovanější než klasické ruční programování na CNC stroji. Aby mohly být tyto systémy využívány efektivně, musí obsluha mít vyšší znalosti ve strojírenství a v programování. Systém CAM pracuje v dialogu s programátorem. Programátor musí odpovídat na kladené otázky typu strategie obrábění, volba nástroje, řezné podmínky a výběr postprocesoru. [3]

1.7 Vybrané CNC řídicí systémy

V současné době ve strojírenství existuje mnoho řídicích systémů pro CNC obráběcí stroje od různých firem jako jsou například Fanuc, Heidenhain, Sinumerik, Mitsubishi, Mazak Mazatrol a mnoho dalších. Z důvodu velkého množství řídicích systémů jsou kapitoly 1.7.1, 1.7.2 a 1.7.3 zaměřeny na tři nejznámější jako jsou Fanuc, Heidenhain, Sinumerik. [8; 9; 12]

1.7.1 Fanuc

Společnost Fanuc se zabývá vývojem číslicově řízených strojů více než 60 let a pro svoji spolehlivost je u zákazníků velice oblíben. Tento japonský výrobce v současné době má po celém světě nainstalovaných více než 4,6 miliónů CNC systémů. Jedná se tedy o jednoho z nejrozšířenějších dodavatelů CNC systémů v průmyslové oblasti. Do nabídky od společnosti Fanuc patří mnoho řídicích systémů. Pro tuto bakalářskou práci byly vybrány CNC Series 0i-F Plus, CNC Series 30i/ 31i/ 32i-MODEL B, CNC Series 35i-MODEL B, Power Motion i- MODEL A. [8]

- **CNC Series 0i-F Plus** – Tento řídicí systém reprezentuje základní řešení pro různorodé řídicí aplikace jako jsou například frézování, soustružení, broušení, vysekávání či obrábění ozubených kol. Vysoký výkon systému je zajištěn nejnovější generací hardwaru. Spolu s vlastnostmi a funkcemi z vyšších řad systému se jedná o velmi dobrý poměr cena/výkon. Panel pro tento řídicí systém je vyobrazen na obr. 5. [8]



Obr. 5 Ukázka panelu pro řídicí systém CNC 0i-F Plus [8]

- **CNC Series 30i/ 31i/ 32i-MODEL B** – Tento řídicí systém reprezentuje vysoce výkonné CNC systémy a je určený pro vysoce variabilní stroje a stroje vyžadující vysokou přesnost a rychlost obrábění. Díky vysokému výkonu systém dovoluje řídit až 48 os a 16 vřeten. Dále systém umožňuje samoučící řízení, multifunkční obrábění frézka/soustruh nebo naopak. Pro bezpečnost systém obsahuje 3D detekce kolize. Panely pro tyto řídicí systémy jsou vyobrazeny na obr. 6. [8]



Obr. 6 Ukázka panelů s řídicím systémem CNC Series 30i/ 31i/ 32i-MODEL B [8]

- **CNC Series 35i-MODEL B** – Tento řídicí systém je určen pro řízení postupových linek, portálových linek nebo vícenásobných frézovacích a vrtacích stanic. Dokáže ovládat až 20 os a 4 vřetena. Pro bezpečnost je vybaven systém FANUC Dual Check Safety, což je integrovaná bezpečnostní funkce. [8]
- **Power Motion i-MODEL A** – Tento řídicí systém je určen pro obecné aplikace řízení polohy. Je to univerzální systém s širokým spektrem aplikací od polohování po interpolaci os mezi kanály. Využívá se třeba v lisování, řezání, ohýbání, otáčení a balení. Dokáže ovládat pohyb až 32 os a 4 drah. [8]

1.7.2 Heidenhain

Celým názvem Dr. Johannes Heidenhain GmbH je německá firma, která má zastoupení ve více než 50 zemích světa. Tato firma vyvíjí a vyrábí lineární a úhlové snímače polohy, rotační snímače a CNC řídicí systémy. Řídicí systémy od společnosti Heidenhain představují výjimečný výkon a snadné použití. Proto Heidenhain nabízí celou škálu CNC řídicích systémů, která začíná jednoduchými tříosými CNC stroji a končí vysoce komplexními obráběcími centry s 23 osami. Z mnoha řídicích systémů byly pro tuto bakalářskou práci vybrány systémy TNC 620, CNC Pilot 640 a TNC 640. [9; 10; 11]

- **TNC 620** – Tento řídicí systém představuje kompaktní a mnohostranné konturovací řízení. Může se jednat až o 5osé obrábění. Pro efektivní optimalizaci řízení pohybu je systém vybaven funkcí Advanced Dynamic Prediction, která přepočítá obrys a přizpůsobuje pohyb na základě limitů stroje. Řídicí systém také nepřetržitě monitoruje zatížení komponentů a tím spolehlivě detekuje opotřebení a zabraňuje přetížení. Panel pro tento řídicí systém je vyobrazen na obr. 7. [10; 11]



Obr. 7 Ukázka panelu pro řídicí systém TNC 620 [10]

- **CNC Pilot 640** – Tento řídicí systém je primárně určen pro kusovou až sériovou výrobu. Díky jednoduchosti v programování, praktickým obráběcím cyklům, funkce TURN PLUS a SMART TURN vyžaduje jen minimální proškolení obsluhy. Pro snížení chyb při obrábění, řídicí systém porovnává hodnoty zatížení při obrábění s referenční operací a tím okamžitě detekuje zlomení nebo opotřebení nástroje a následně na to reaguje. Panel pro tento řídicí systém je vyobrazen na obr. 8. [10; 11]



Obr. 8 Ukázka panelu pro řídicí systém CNC PILOT 640 [10]

- **TNC 640** – Tento řídicí systém představuje špičkovou kvalitu řídicí techniky od firmy Heidenhain. Vyniká rozsáhlou funkcí, kvalitou povrchu, velkou přesností a procesní spolehlivostí. Systém dokáže kombinované frézovací, soustružnické a brousící operace. Je tedy vhodný pro HSC a 5osé simultánní operace. Panel pro tento řídicí systém je vyobrazen na obr. 9. [10; 11]



Obr. 9 Ukázka panelu pro řídicí systém TNC 640 [10]

1.7.3 Sinumerik

Společnost Siemens je na českém trhu více než 130 let. Za tu dobu si na českém trhu vybudoval dobrou pověst hlavně v průmyslu, energetice, dopravní a veřejné infrastruktuře, technologii budov a ve zdravotnictví. V současné době se zaměřuje především na průmysl 4.0. Pro dokonalou souhru automatizace a digitalizace společnost Siemens vyvíjí CNC řídicí systémy. V současnosti se společnost věnuje hlavně vývoji tří řad řídicích systémů pro obrábění, které mají označení Sinumerik 808, Sinumerik 828, Sinumerik 840. [12; 13]

- **Sinumerik 808D ADVANCED** – Tento řídicí systém představuje ideální základ pro soustružení a frézování na stroji. Společnost také nabízí řídicí systém Sinumerik 808D na PC. Oba systémy disponují jednoduchou úrovní obsluhy, snadným uvedením do provozu a jednoduchou údržbou. Sinumerik 808D na PC je především určen jako praktický trénovací software u kterého jde programovat a simulovat offline. Zatím co Sinumerik 808D ADVANCED je určen do výrobního provozu na základní frézařské a soustružnické aplikace. Panel pro tento řídicí systém je vyobrazen na obr. 10. [13]



Obr. 10 Ukázka panelu pro řídicí systém SINUMERIK 808D ADVANCED [13]

- **Sinumerik 828D** – Tento řídicí systém představuje standardní řešení systému pro soustružnické, frézovací a brousící operace, které jsou třeba aplikovány ve vertikálních a základních horizontálních obráběcích centrech. Řídicí systém také obsahuje rozšířené softwarové funkce, jako jsou třeba kompenzace tření a 3D monitorování kolizí. Panel pro tento řídicí systém je vyobrazen na obr. 11. [13]



Obr. 11 Ukázka panelu pro řídicí systém SINUMERIK 828D [13]

- **Sinumerik 840D sl** – Tento řídicí systém představuje standardní řešení v prémiové třídě CNC systémů. Velmi výkonný hardware, jenž tvoří vysoce výkonný NCU, který je poháněn technologií vícejádrových procesorů. V kombinaci s inteligentními řídicími algoritmy zajišťují vysoce dynamický výkon a přesnost obrábění. Panel pro tento řídicí systém je vyobrazen na obr. 12. [13]



Obr. 12 Ukázka panelu pro řídicí systém SINUMERIK 840D sl [13]

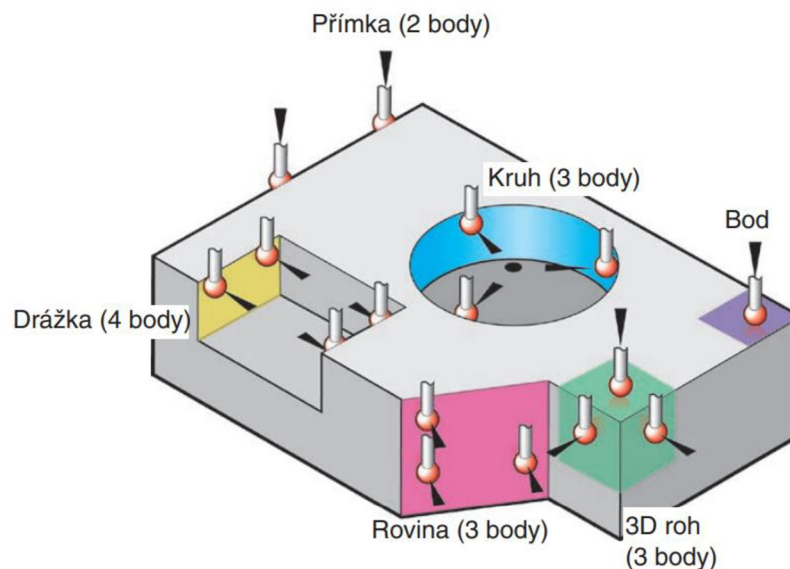
2 MĚŘICÍ CYKLY V ŘÍDICÍCH SYSTÉMECH

Kapitola je zaměřena na měřicí cykly v řídicích systémech. Je zde uvedeno, jak funguje měřicí sonda s měřicími cykly a základní informace o měření sondou a o měřicích cyklech. Jsou zde také uvedeny příklady softwaru pro tento druh měření. Na konci kapitoly jsou zmíněny výhody a nevýhody při měřicích cyklech. [14; 15; 16]

2.1 Měřicí sonda

Sondy instalované na strojích fungují na mechanismu spínání při kontaktu sondy s měřeným dílcem. Proto se mnohdy označují jako spínací dotykové sondy. Tyto sondy většinou fungují v cyklech řídicího systému. V cyklu řídicího systému je předem určeno kolik bodů se z daného povrchu má brát, aby se vytvořila požadovaná kontura měřeného prvku. Počet stupňů volnosti daného prvku určuje, kolik je minimální počet bodů potřebných k měření zvoleného typu prvku. Na obr. 13 jsou uvedeny minimální počty bodů pro zvolený prvek. [15]

Po zvolení a nasnímání prvku se v řídicím systému provádí porovnání měřeného prvku s jeho teoretickým ekvivalentem, například rohem, drážkou, přímku nebo kruhem. Následně se porovnává skutečný rozměr od nominálního rozměru a tím se zjišťuje velikost odchylky. Díky tomu je možná přesná kontrola dílce. Z výsledku měření je možné adekvátně reagovat a provádět preventivní, prediktivní a aktivní zásah do procesu obrábění. K přenosu informací dochází radiovým nebo infračerveným paprskem. [15]



Obr. 13 Minimální počet bodů při snímání prvku [15]

2.2 Měření měřicími sondami a měřicími cykly

V současné době je technologie měřicích sond nedílnou součástí CNC strojů. Starší CNC obráběcí stroje se nechávají dovybavovat sondami a u naprosté většiny nových CNC obráběcích strojů se už předem počítá s použitím měřicích sond. Proto jsou nové CNC řídicí systémy už předem připraveny na připojení měřicí sondy. Díky tomu se velmi dobře aplikuje měření a měřicí cyklus do procesu obrábění a kontroly nástrojů. Také se výrazně zvýší produktivita a lepší se kvalita obrobků. [14; 15]

2.2.1 Použití měřicích sond a měřicích cyklů na CNC stroji

Měření pomocí měřicí sondy a měřicích cyklů na CNC stroji má mnoho využití. Mezi základní využití se řadí měření před začátkem procesu obrábění, v průběhu procesu obrábění (mezioperační měření) a po procesu obrábění. [14; 15]

- **Před začátkem procesu obrábění** – Před zahájením obrábění je vyměřováno ustanovení polotovaru, seřízení souřadného systému, nastavení počátku. [14]
- **V průběhu procesu obrábění** – Mezioperační měření je využito pro detekci poškození nástroje, kontrolu opotřebení, mezioperační kontrola obrobku. [14]
- **Po procesu obrábění** – Po konci obrábění může být obrobek změřen stejně jako při mezioperačním měření na stejném CNC stroji nebo může být provedeno měření v laboratoři pomocí souřadnicových měřicích strojů. [14]

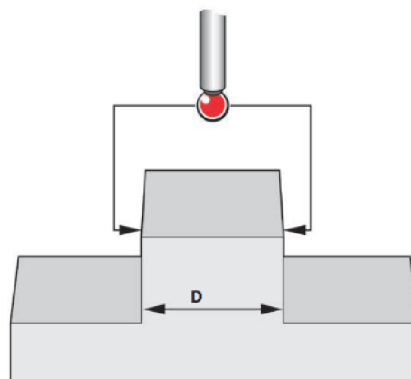
2.3 Měřicí a kontrolní software

Měřicí softwarové řešení lze rozdělit do dvou základní skupin: [15]

- **Makro software** – Tyto softwary jsou instalovány přímo do paměti CNC stroje odkud jsou ovládány. Programují se běžným způsobem za pomocí G kódů. Do této skupiny softwaru patří například EasyProbe, Inspection Plus, Toolsetting software. [15]
- **Software pro PC** – Tyto softwary jsou instalovány do externích počítačů, ze kterých je možné programovat velké množství úloh. Pomocí postprocesoru, který je konfigurovaný pro požadovaný typ řídicího systému, lze posílat vytvořený NC program do CNC stroje. Do této skupiny softwaru patří například Productivity+™, Renishaw OMV a Renishaw CNC Reporter. [15]

2.3.1 EasyProbe

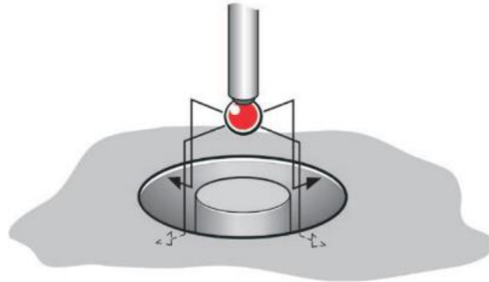
Tento software je určen pro provádění základních měřicích cyklů v manuálním režimu na CNC stroji. Vyžaduje minimální znalost programování. Tento software se programuje v G kódech. Software se snadno konfiguruje pro správný typ CNC systému. V aplikaci je nabídka velkého množství měřicích cyklů. Například pro měření otvorů/čepů ve čtyřech bodech, měření úhlu, kalibrační cyklus pro stanovení délky sondy a cyklus měření žebra, který je zobrazen na obr. 14. [15]



Obr 14 Cyklus měření žebra [15]

2.3.2 Inspection Plus

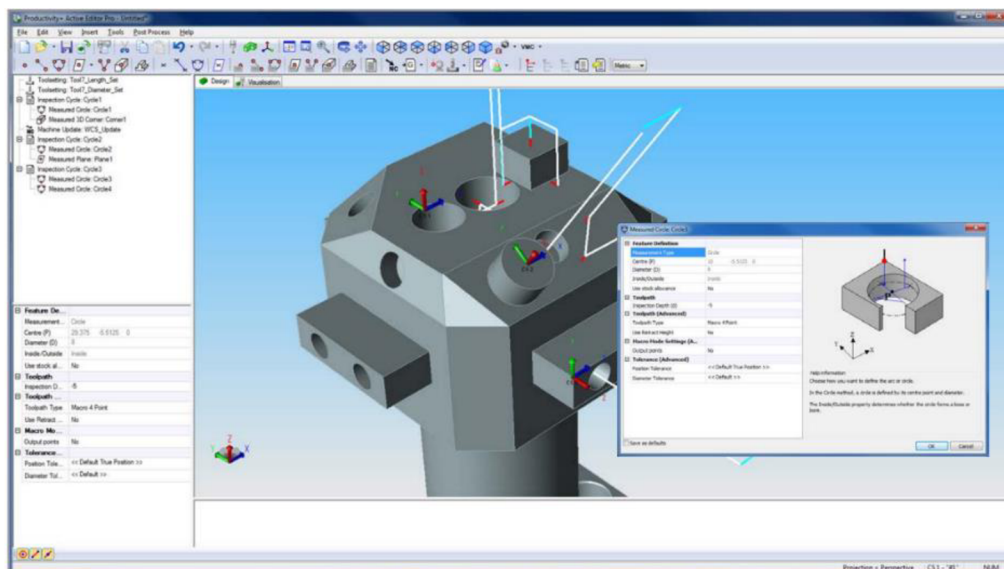
K tomuto softwarovému řešení se hlásí tisíce uživatelů. To z něj dělá nejpoužívanější měřicí aplikaci ve skupině macro cykly. Instaluje se přímo do jakékoliv hlavní platformy řídicího systému. Tato aplikace obsahuje veškeré základní cykly, například cyklus měření otvorů/čepů uvedený na obr. 15. Jednoduše se programuje a vyžaduje jen základní znalost G kódu. Také dokáže exportovat výsledky měření do proměnných stroje, což umožňuje používat logické funkce. [15]



Obr. 15 Cyklus měření otvorů/čepu [15]

2.3.3 Productivity+™

Tento software umožňuje naprogramování sondy současně s tvorbou programu pro obrábění obrobku a zahrnout program do postprocesoru. NC program je vytvářen na externím počítači v systému Windows, kde programátor začleňuje měřicí cykly do obráběcího procesu. Vybírá jednotlivé funkce z modelu v CAD/CAM programu nebo vybírá parametry z dialogových oken. Pro kontrolu je možné spustit simulaci, aby se předešlo chybám či poškození měřicí sondy. Poté vybere vhodný postprocesor pro vytvoření NC programu, který se může nahrát přímo do CNC stroje. Tento software vyžaduje minimální znalost G kódu. Na obr. 16 je ukázka víceosého měření v tomto softwaru. [14; 15]



Obr. 16 Ukázka víceosého měření [15]

2.4 Výhody a nevýhody měření na CNC obráběcím stroji

2.4.1 Výhody měření na CNC obráběcím stroji

Mezi zásadní výhody měření na CNC obráběcím stroji patří to, že obsluha může provést mezioperační nebo konečnou kontrolu měření přímo na CNC stroji bez nutnosti vyjmutí obrobku z upínacího zařízení. Tím dochází ke kontrole rozměru obrobku bez demontáže z upínacího zařízení a následnému odnesení do měřicí laboratoře. Dále je tím docíleno vyšší efektivity výroby. [14; 16]

2.4.2 Nevýhody měření na CNC obráběcím stroji

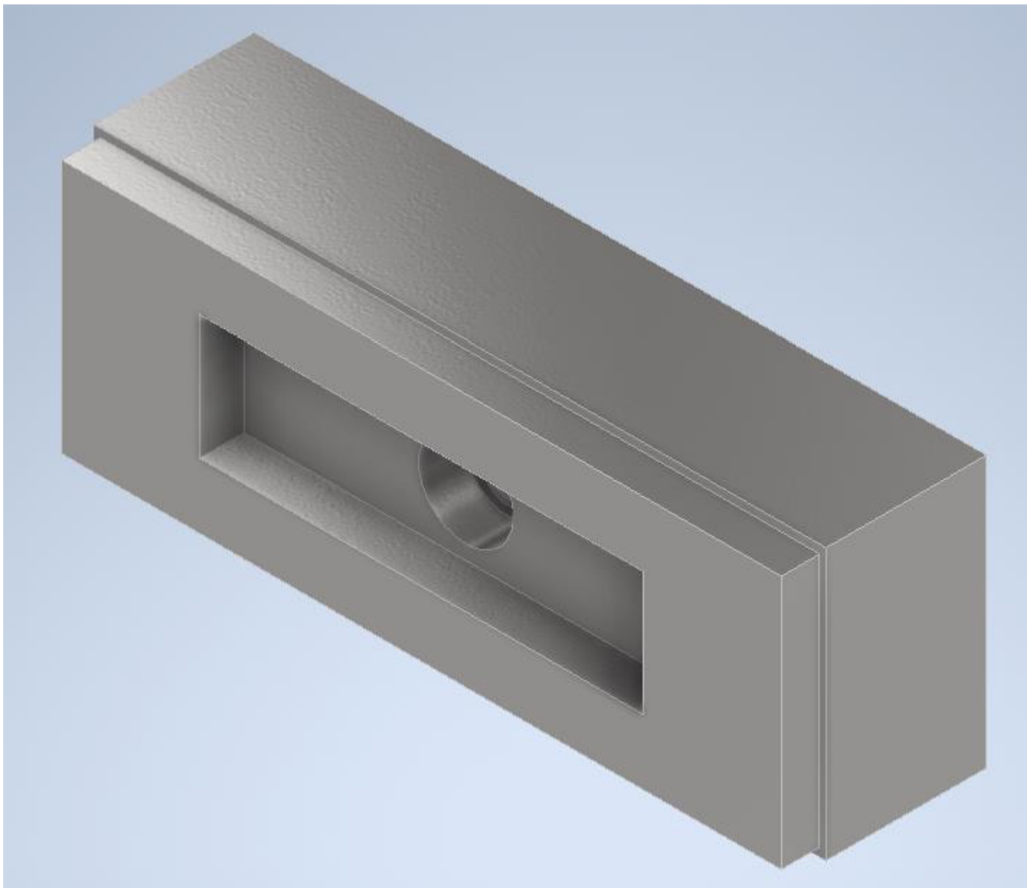
Mezi zásadní nevýhody měření na CNC obráběcím stroji patří vysoké požadavky na údržbu stroje a měřicího zařízení. Do těchto požadavků spadá periodická kontrola geometrických tolerancí, mechanického seřízení a zkompenzování lineárních i rotačních os. Měřicí sondu je potřebné kalibrovat po každém upnutí do stroje. Bez dodržení těchto požadavků mohou být naměřené hodnoty chybně vyhodnoceny jako vyhovující. [14; 16]

3 VYTIPOVÁNÍ UKÁZKOVÉ TECHNOLOGIE

Možnosti měření v průběhu pracovního procesu na CNC stroji jsou ukázány na zvolené součásti, která obsahuje různé plochy jako například hranatá kapsa, kruhová díra a vnější kontura (obr. 17). Tato ukázková situace se zpravidla v reálné výrobě vyskytuje ve složitější formě, což odpovídá složitosti součásti, úrovni zaškolené obsluhy, stavu stroje a měřicího zařízení. Nejčastěji jsou tyto ukázkové součásti vyráběny na předváděcích akcích nových trendů v metrologii.

3.1 Vytipování ilustrační součásti

Požadovaná ilustrační součást musí splňovat několik požadavků. Měla by mít nejméně 3 kontury na měření. Její vyrobitelnost je hodnocena v kapitole 4. Realizace součásti proběhne na frekventovaných dílnách Fakulty strojního inženýrství na Vysokém učení technickém v Brně, proto je dalším požadavkem časová nenáročnost zhotovení. Z důvodu splnění všech požadavků je vyráběná součást jednoduššího typu a má podobu kvádrů s hranatou kapsou, kruhovou dírou a vnější konturou. Ilustrační součást je uvedena na obr. 17.



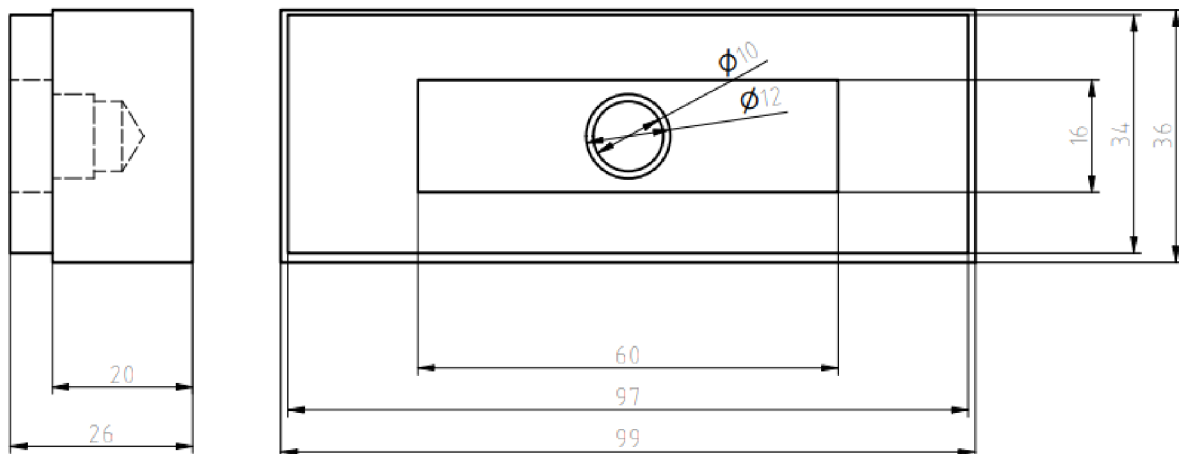
Obr. 17 Ilustrativní součást

4 SESTAVENÍ PROVOZNÍCH DAT DO TPV DOKUMENTACE

Kapitola je zaměřena na sestavení provozních dat a dokumentů pro technologické přípravy výroby. Je zde uvedena výkresová dokumentace a její rozbor. Navazuje volba stroje, výběr nástrojů a měřidel, které jsou zapotřebí pro zhotovení součásti.

4.1 Výkresová dokumentace součásti a její rozbor

Pro vytípanou součást byl vytvořen výrobní výkres. Celý výkres byl vložen do přílohy 1. Na obr. 18 je znázorněna ukázka z výkresu. Jedná se o ilustrační součást, proto na výkresu jsou jen obecné tolerance rozměrů. Na součásti nejsou zvláště přesné tolerance ani složité tvarové prvky. Bude možné ji zhotovit bez problému.



Obr. 18 Ukázka z výkresu součásti

4.2 Volba stroje

Pro výrobu součásti byl vybrán stroj MCV 1210 ze strojírenského parku Fakulty strojního inženýrství – Vysokého učení technického v Brně, ale kvůli částečné indispozici stroje proběhne obráběcí proces na stroji FV 25 CNC A. Na stroji MCV 1210 bude provedeno jen cyklické měření součásti.

4.2.1 FV 25 CNC A

Tato CNC frézka je 3osý stroj. Technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze 2. Stroj je vybaven řídicím systémem od společnosti Heidenhain, konkrétní typ je iTNC 530. Na tomto stroji proběhne proces vrtání a obrábění pro realizaci součásti. Následně proběhne proces měření sondou.

4.2.2 MCV 1210

Toto 5osé obráběcí centrum využívá řídicí systém od společnosti Siemens, typ Sinumerik 840D. V době realizace praktické části bakalářské práce bylo toto obráběcí centrum částečně indisponováno. Proto na tomto stroji proběhne pouze měření za pomoci cyklu. Technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze 3.

4.3 Volba nástrojů a měřidel

Obráběcí nástroje jsou vybrány z katalogu od firmy ZPS-FN. Měřicí příslušenství je zvoleno z katalogu od firmy RENISHAW. [15; 17; 18]

4.3.1 Vrták

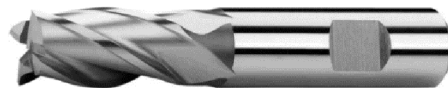
Pro vrtací operaci je vybrán standardní vrták s válcovou stopkou o průměru 10 mm (obr. 19). Vrták je vyrobený z rychlořezné oceli HSS Co8 s pravou šroubovicí a s úhlem na šroubovici 25°-30° a na špičce 128°. [17]



Obr. 19 Vrták s válcovou hlavou, standard [17]

4.3.2 Fréza

Pro obráběcí operaci je vybrána fréza válcová čelní stopková s jedním břitem přes střed o průměru 8 mm (obr. 20). Fréza má upínání za stopku s ploškou neboli upínání Weldon. Je vyrobena z rychlořezné oceli HSS Co8 s úhlem na šroubovici 30° a úhlem čela 8°. Použití frézy spadá do skupiny N. [18]



Obr. 20 Fréza válcová čelní krátká [18]

4.3.3 Sonda

Pro měřicí proces byla zvolena optická sonda OMP400 s rubínovou kuličkou od firmy Renishaw (obr. 21) v kombinaci OMI-2. Tato sonda funguje na prověřeném principu tenzometrické technologie Rengage. Je schopna měřit ve 3D v 5osém obráběcím stroji. Sonda má rozsah příjmu signálu 360° a má výjimečnou odolnost proti světelnému rušení díky modulovanému přenosu signálu. [15]



Obr. 21 OMP400 [15]

4.3.4 Komunikační modul

Pro měřicí proces jako komunikační modul měřicí sondy byl zvolen přijímač OMI-2 od firmy Renishaw (obr. 22). Tento komunikační modul optické sondy slouží jako komunikace sondy se strojem. Obsluze jsou poskytovány vizuální informace o stavu sondy, stavu signálu START, stavu baterie a chybových stavech. [15]



Obr. 22 OMI-2 [15]

4.4 NC program

Pro zhotovení součásti byl vytvořen NC program. Který byl naprogramován na stroji FV 25 CNC A v řídicím programu Heidenhain iTNC 530. Pro tvorbu NC programu byly využity cyklické funkce (obr. 23). Celý program je vložen v příloze 4.

```
0 BEGIN PGM bckostka MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-26
2 BLK FORM 0.2 X+99 Y+36 Z+0
3 TOOL CALL 1 Z S1400
4 M3 M8
5 L Z+10 R0 F1000
6 CYCL DEF 251 PRAVUOUHLA KAPSA ~
  Q215=+0 ;ZPUSOB FREZOVANI ~
  Q218=+60 ;1. DELKA STRANY ~
  Q219=+16 ;2. DELKA STRANY ~
  Q220=+5 ;RADIUS V ROHU ~
```

Obr. 23 Ukázka z NC programu

5 OVĚŘENÍ PROCESU

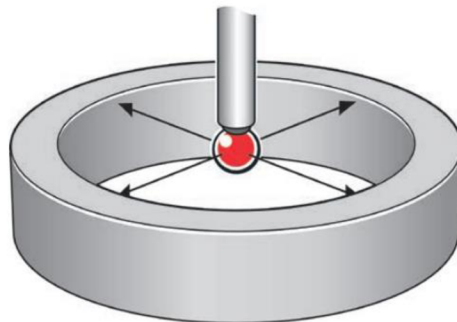
Kapitola je zaměřena na ověření procesu, který byl navržen v kapitole 4. Je zde popsán chronologický průběh operací a postup při zhotovení zvolené součásti a následnému měření. Celý proces výroby součásti byl vykonán v dílnách Fakulty strojního inženýrství – Vysokého učení technického v Brně.

5.1 Postup zhotovení součásti

Po spuštění stroje FV 25 CNC A s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530 a najetí referenčních bodů, byl stroj zahřát na provozní teplotu. Po zahřátí stroje byl polotovar upnut do strojního šroubového svěráku. Následně pomocí sondy byl zaměřený nulový bod součásti. Pokračovalo se upnutím standardního vrtáku do vřetene a byl vykonán proces vrtání. V dalším kroku se pomocí digitálního posuvného měřítka změřil průměr válcové čelní frézy a poté byl nástroj upnut do vřetene. Následovala první obráběcí operace, což bylo obrobení kapsy. Poté byla zahájena druhá obráběcí operace, což bylo obrobení kruhového otvoru po vrtání. Na konec obrábění byla spuštěna třetí obráběcí operace, což bylo zmenšení vnější kontury (příloha 5).

5.2 Postup měření součásti

Po zhotovení tvaru součásti a následném očištění součásti od nečistot může začít proces měření. Měření nejdříve proběhlo na FV 25 CNC A stroji, kde byla provedena série měření hodnoty vnitřní kapsy a vnější kontury součástky. Pro kontrolu naměřených hodnot a změření kruhového otvoru byla součást přemístěna do obráběcího centra MCV 1210. Na obráběcím centru může být spuštěn cyklus měření kruhového otvoru pod stanoveným úhlem obr. 24. Poté byly spuštěny měřicí cykly i na další rozměry. Vzhledem k indispozici stroje a šetření baterie v sondě, bylo provedeno jen jedno měření vnitřní kapsy a vnější kontury. Naměřené hodnoty a statistika měření vnitřní kapsy je uvedena v tab. 2. Naměřené hodnoty a statistika měření vnější kontury je uvedena v tab. 3. Naměřené hodnoty a statistika měření kruhové díry je uvedena v tab. 4.



Obr. 24 Cyklus měření otvoru [15]

Tab. 2 Rozměry vnitřní kapsy

Číslo měření	Rozměry vnitřní kapsy [mm]	
	v ose X	v ose Y
1	60,0099	15,9959
2	60,0098	15,9949
3	60,0095	15,9943
4	60,0095	15,9938
5	60,0112	15,9947
6	60,0100	15,9940
7	60,0097	15,9938
8	60,0101	15,9935
9	60,0091	15,9937
10	60,0099	15,9937
\bar{x}	60,00987	15,99423
$s_{(x)}$	0,000174515	0,000235
u_a	0,000174515	0,000235
u_b	0,003	0,003
u_c	0,003005072	0,003009
U	0,006010143	0,006018

Tab. 3 Rozměry vnější kontury

Číslo měření	Rozměry vnější kontury [mm]	
	v ose X	v ose Y
1	97,0427	34,0786
2	97,0503	34,0816
3	97,0537	34,0815
4	97,0555	34,0814
5	97,0626	34,0770
6	97,0583	34,0759
7	97,0562	34,0750
8	97,0681	34,0811
9	97,0402	34,0730
10	97,0623	34,0790
\bar{x}	97,05499	34,07841
$s_{(x)}$	0,002767568	0,000975
u_a	0,002767568	0,000975
u_b	0,003	0,003
u_c	0,004081597	0,003154
U	0,008163194	0,006309

Tab. 4 Rozměry kruhové díry

Číslo měření	Rozměr kruhové díry [mm]	
	v ose X	úhle natočení [°]
1	12,000	0
2	11,992	30
3	11,994	35
4	11,996	45
5	12,000	0
6	11,992	30
7	11,994	35
8	11,996	45
9	12,000	0
10	11,992	30
\bar{x}	11,9956	
$s_{(x)}$	0,001066667	
u_a	0,001066667	
u_b	0,003	
u_c	0,003183988	
U	0,006367975	

Tab. 5 legenda

Legenda	
\bar{x}	Aritmetický průměr
$s_{(x)}$	Směrodatná odchylka
u_a	Nejistota typu A
u_b	Nejistota typu B
u_c	Kombinovaná nejistota typu C
U	Rozšířená nejistota U

6 ZHODNOCENÍ

Při ukázkové výrobě nebyly provedeny procesy, které v průmyslové výrobě být provedeny musí (kalibrace sondy, údržba stroje, stroj nebyl v provozní teplotě, nízká proškolenost obsluhy, omezený počet měření).

6.1 Kalibrace sondy

Pro použitou sondu v procesu měření v manuálu výrobce uvádí, že je nutno každého půl roku provést kalibraci sondy, což může být časový problém.

6.2 Možné chyby při měření

Při měření mohlo dojít k několika chybám:

- Ze špatného zaměření nulového bodu mohou vzejít další nepřesná měření.
- Absence nástrojové sondy byla nahrazena procesem naškrábnutí obrobku v ose Z.
- Jsou kladeny vysoké nároky na čistotu kontaktních ploch mezi sondou a obrobkem.
- Okolní teplota v dílně neodpovídala teplotě 20 °C, která je stanovena pro měření.
- Použitá sonda neumožňovala věrohodné měření kruhové díry z důvodu velkého průměru rubínové kuličky, což zapříčinilo krátké najížděcí dráhy k měření.
- Mohla nastat lidská chyba, i přes snahu ji nelze vyloučit.

ZÁVĚR

Dílčím cílem teoretické části bakalářské práce byla charakteristika řídicích systémů CNC strojů, jejich historie, provozní režimy a programování řídicích systémů. Na konci kapitoly byly představeny tři nejznámější firmy na českém trhu zabývající se vývojem řídicích systémů. Byla vybrána firma Fanuc pro její spolehlivost, firma Heidenhain pro snadné použití a firma Siemens pro dlouholetou tradici.

Dalším dílčím cílem bylo objasnění měřících cyklů v řídicích systémech. Je uveden princip měření sondou. Jsou představeny měřicí softwary a uvedeny výhody a nevýhody měření na CNC stroji.

Dílčím cílem praktické části bylo vytipování ukázkové technologie. V tomto bodě byly stanoveny požadavky na ilustrativní součást a její následné vytvoření. Činnost obsahovala sestavení provozních dat a dokumentace pro technologickou přípravu výroby, volba vhodného stroje, výběr vhodných nástrojů a měřidel, které budou použity ve vytvořeném NC programu pro zhotovení součásti.

Hlavním cílem bakalářské práce je ověření a zhodnocení obráběcího a měřícího procesu. Při realizaci těchto cílů bylo využito vědomostí z teoretické části a získaných zkušeností z praxe. Požadovaná ilustrativní součást byla zhotovena podle získaných dat v dílčí praktické části. Následně měřícím cyklem byla změřena vnitřní kapsa, vnější kontura a kruhová díra. Z naměřených dat vyplývá, že velikost rozptylu je v řádu tisícin. To znamená, že měření bylo provedeno správně a vyhovuje zadanému tématu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. POLZER, Aleš. Akademie CNC obrábění. Inflow: *Technický týdeník* [online]. 2009 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.technikytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-1_8536.html
 2. SVOBODA, Rostislav. 10 dat z historie obrábění na CNC strojích Inflow: *Factory automation* [online]. 2016 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/10-dat-z-historie-obrabeni-na-cnc-strojich-kam-saha-historie-cnc-obrabeni/>
 3. ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
 4. KOČMAN, K, PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
 5. SVOBODA, Rostislav. Základy CNC programování. Tuhle terminologii musíte znát Inflow: *Factory automation* [online]. 2015 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/zaklady-cnc-programovani-tuhle-terminologii-musite-znat/>
 6. Just4web.cz s.r.o. ssp.taji.cz – Základy programování a obsluha CNC strojů. [online]. [cit. 2022-5-18] Dostupné z: http://www2.sps-jia.cz/~hill/zakl_prog.pdf
 7. SVOBODA, Rostislav. Základy Řídicí systémy CNC strojů? Poznejte různé typy řízení Inflow: *Factory automation* [online]. 2015 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-rizeni/>
 8. FANUC Europe Corporation [online]. 2022 [cit. 2022-05-14]. CNC Katalog FANUC. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/cnc-system>
 9. Heidenhain [online]. 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o-firme/
 10. Heidenhain [online]. 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.heidenhain.com/products/cnc-controls>
 11. Dr. Johannes Heidenhain GmbH [online]. 2020 [cit.2022-05-14]. Výrobní program. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/dokumentace/prospekty/#V%C5%A1eobecn%C3%A9%20informace
 12. SIEMENS [online]. 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/spolecnost/o-nas.html>
 13. CNC systémy SINUMERIK. SIEMENS [online]. 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/sinumerik-cnc1.html>
 14. PAGÁČ, Marek. Měření na CNC frézovacích strojích. Inflow: *MM Průmyslové spektrum* [online] 2011 [cit. 2022-5-17] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-na-cnc-frezovacich-strojich>
 15. RENISHAW [online] 2017 [cit. 2022-5-17]. Kapesní příručka o sondách pro CNC obráběcí stroje. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/6075.aspx>
 16. Lehner, Radek Obrobkové sondy a úskalí jejich použití. Inflow: *MM Průmyslové spektrum* [online] 2019 [cit. 2022-5-17] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrobkove-sondy-a-uskali-jejich-pouziti>
-

17. *ZPS-FN.cz* [online]. [cit.2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/cz/vrtaky/detail/vrtaky-s-valcovou-stopkou,-standard,-typ-n,-din-338,-rychlorezna-ocel-hss-co5/>
18. *ZPS-FN.cz* [online]. [cit.2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/cz/frezy-valcove-celni-hss/detail/frezy-valcove-celni-kratke,-1-zub-pres-stred,-typ-n,-kod-120518,-prumer-8-mm/>
19. ČSN EN ISO 14253-1. Zkouška obrobků a měřidel měřením. Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi. Brno: Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 36 s. Třídící znak 014100

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK
Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
$s_{(x)}$	Směrodatná odchylka	[mm]
u_a	Nejistota typu A	[-]
u_b	Nejistota typu B	[-]
u_c	Kombinovaná nejistota typu C	[-]
U	Rozšířená nejistota U	[-]
\bar{x}	Aritmetický průměr	[-]

Zkratky

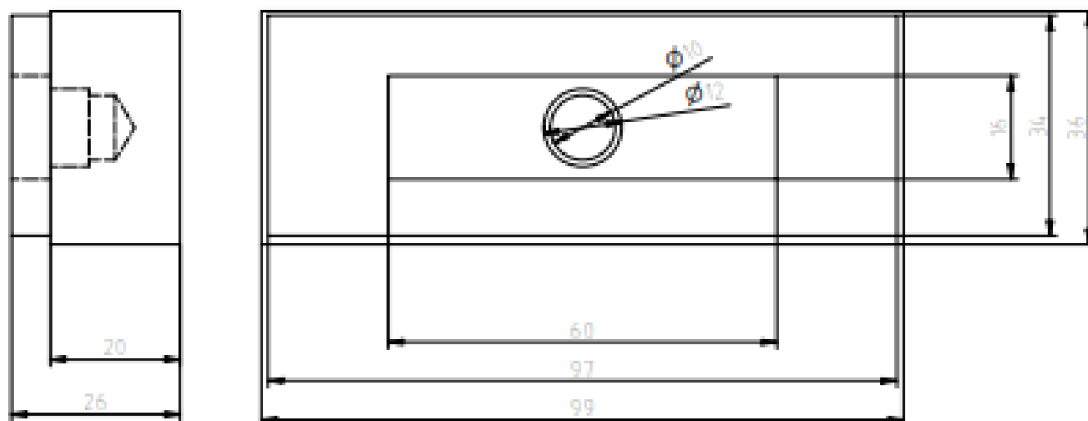
Označení	Legenda
3D	Trojrozměrný
CAD	Počítačem podporované navrhování (computer aided drawing)
CAM	Počítačem řízená výroba (computer aided manufacturing)
CNC	Číslicové řízení pomocí počítače (computer numerical control)
HSC	Vysokorychlostní obrábění (high speed cutting)
HSS	Rychlořezná ocel (high speed steel)
NC	Číslicové ovládání strojů (numeric control)
NCU	Víceprocesorová jednotka (numerical control unit)
PC	Osobní počítač (personal computer)
PLC	Programovatelný logický automat (programmable logic controller)
TPV	Technická příprava výroby

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres součásti 2022-BP-200482-01
- Příloha 2 Technické parametry stroje z manuálu od výrobce FV 25 CNC A
- Příloha 3 Technické parametry stroje z manuálu od výrobce MCF 1210
- Příloha 4 NC program
- Příloha 5 Foto dokumentace výroby

Příloha 1

Výkres součásti 2022-BP-200482-01



Struktura povrchu: Ra 6,4	Hrany: L0,3	Měřítko: 1:1 Není k	Přesnost: ISO 2768-mH
			Tolerování: ISO 8015
			Promítání:
Materiál: 12050	Polotovar: 36 x 26 x 99 mm	Hmotnost dispozice:	CHRÁNĚNO DLE ISO 16016
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE FSI VUT v Brně	Druh dokumentu: VÝROBNÍ VÝKRES	Název: ILUSTRÁČNÍ SOUČÁST	
	Kreslil: DAVID KUBÍN		
	Schválil:	Číslo dokumentu:	200482
Datum vydání: 10.5.2022			

Část 2 Technické údaje

2.01 KONCEPCE A MOŽNOSTI STROJE

Stroj FV 25 CNC A je konzolová frézka s pevným vřeteníkem a svislým vřetenem uloženým ve výsuvné pinole, s číslíkovým řízením posuvu podélného a příčného, přičemž svislý číslíkový řízený posuv vykonává výsuvná pinola. Svislý zdvih konzoly je nefixovaný a slouží k přestavení obrobku do vhodné polohy vůči vřetenу. V této poloze je možno konzolu zpevnit.

Přednosti stroje vyniknou hlavně při obrábění středních a malých součástí s velkým podílem vrtacích, vyvrtávacích, závitovacích a podobných operací díky NC řízené výsuvné pinole, která zvyšuje rychlost a přesnost těchto operací.

CNC řídicí systém poskytuje uživateli řadu výhod, mimo jiné např.:

- dialogový režim programování přímo na stroji
- archivaci technolog. programů na počítač IBM PC kompatibilní
- frézování prostorových přímek (3D), kruhových oblouků v základních rovinách stroje (2D), závitových spirál a pod.
- využití vestavěných cyklů vrtacích, závitovacích, pro frézování dutin, posouvání, otáčení, zrcadlení, zvětšování a zmenšování naprogramovaného tvaru atd.

Pro správnou funkci stroje je nutno dodržovat všechna pravidla uvedená v návodu k obsluze stroje a řídicího systému.

2.02 TECHNICKÉ PARAMETRY STROJE

	metr.:
velikost stolu šířka x délka	100 x 1300 mm
podélný zdvih NC	X 760 mm
příčný zdvih NC	Y 355 mm
svislý výsuv pinoly NC	Z 152 mm
pracovní posuvy	X, Y, Z 2,5+2500 mm/min
rychl. posuv	X, Y, Z 7000 mm/min
svislé přestavení konzoly	ručně 415 mm
vřetenо	vertikální
dutina vřetenа	ISO 40
"T" drážky (počet, rozměr, rozteč)	5/14/50
max. přípustné zatížení stolu	200 kg
vzdálenost vřetenа od vedení stojanu	373 mm
průměr vřetenа v předním ložisku	50 mm
průměr pinoly	110 mm
vzdálenost čela vřetenа od upínací plochy stolu	0 + 520 mm
otáčky vřetenа	plynule měnitelné ve dvou stupních 50-1500 1500-6000
max. krouticí moment	140 Nm
jmennovitý výkon motoru	5,5 kW
hmotnost stroje	1 500 kg
půdorysné rozměry délka x šířka	2750 - 2588 mm
výška stroje	2030 mm
příkon stroje	9 kVA

	metr.:
přesnost A (dle ISO 230-2)	0,015 mm
jednostranný rozptyl (ISO 230-2)	0,007 mm
odměřovací jednotka	0,001 mm
zpětná vazba v uzavřené smyčce	ano
posuvová síla (servo DC)	7700 N
max. průměr vrtáku (měkká ocel)	50 mm
frézovací výkon (měkká ocel)	200 cm ³ /min

Motory:

pohon vřetenа	5,5 kW / 1500 min ⁻¹
chlazení nástroje	0,12 kW
mazací agregát	max. 100 W
jmennovitě napájecí napětí	400 V
jmennovitý kmitočet	50 Hz
stupeň krytí el. zařízení - vně přístupných	IP 54
- uvnitř rozvaděče	IP 20
jmennovitě napětí/frekvence ovl. obvodů	24 V =
osvětlení prac. prostoru	110 V, 50 Hz
napětí/kmitočet příkon	24 V, 50 Hz max. 100 W

Pozn.: Výkonová a momentová charakteristika pohonu vřetenа - viz. obr. P 11

2.03 NORMÁLNÍ PŘÍKON

- stroj v metrické soustavě
- základní technické parametry dle kap. 2.02
- základní ochranný kryt
- horní vodící plochy konzoly kalené
- řídicí systém
- servopohony
- frekvenční měnič vřetenа
- vřetenо ISO 40
- hydropneumatické upínání nástrojů
- pneumatické řízení stupňů náhonů vřetenа
- el. výzbroj pro 400 V/50 Hz dle ČSN 33 2200, IEC 204-1
- motor náhonu vřetenа - výkon motoru 5,5 kW
- otáčky vřetenа 6 000 min⁻¹
- Je zajištěna odolnost stroje při funkci a to při umístění ve vnitřních prostorách (označení kategorie umístění 3) se stupněm korozní agresivity atmosféry středně agresivní, t.j. stupeň 3 podle ČSN ISO 9223
- nátěr a barevný odstín dle PN 11 75 061

Příloha 3

Technické parametry stroje z manuálu od výrobce MCV 1210

1		Návod k používání		- 1.8 -		POPS STROJE A JEHO SPECIFIKACE		1	
1.3 TECHNICKÁ DATA		Metrická		Palcová		DIN 69 893 - HSK-A63			
PRACOVNÍ POJEZD		osa X - křížový suport		1 000 mm		38.37"			
		osa Y - příčnik		800 mm		31.5"			
		osa Z - smykadlo		600 mm		23.6"			
POSUVY V OSÁCH X, Y, Z		Pracovní posuvy		20 mm/min		787.4 ipm			
		Rychtuposuv		40 mm/min		1574.8 ipm			
		Maximální zrychlení os		5 m/s ²					
VZDÁLENOSTI		Celo vřetená od stolu		150 - 750 mm		5.91 - 29.5"			
		Pracovní stůl od podlažky		750 mm		29.53"			
POHONY		Jmenovitý moment		38 Nm		28 ft.lbs			
		v ose X a Y		18.5 Nm		13.65 ft.lbs			
		v ose Z		2 000 min ⁻¹					
		Jmenovité otáčky		v ose X a Y		3 000 min ⁻¹			
		v ose Z		13 kN		2922.52 lbs			
		axiální síla		v ose X a Z		16 kN		3596.94 lbs	
		v ose Y							
PŘESNOST		Osměřovací systém v ose X, Y, Z		Přímý					
		Měření a vyhodnocení podle normy VDI/DGG 3441		v ose X, Y a Z		0.008 mm		0.00031"	
		Přesnost pohybování		v ose X, Y a Z		0.006 mm		0.00023"	
		Opakovaná přesnost							
PRACOVNÍ STŮL		Pracovní plocha		1200 x 1000 mm		47.24 x 39.37"			
		Maximální zatížení		3 000 kg		6 614 lbs			
VŘETENO		Typ		Weiss 176 024 800					
		Rozsah otáček		0 - 18 000 min ⁻¹					
		Upínací kužel		HSK-A 63					
		Motor		Jmenovité otáčky		4 390 min ⁻¹		4 390 rpm	
				výkon trvale (S1)		30 kW		40.21 hp	
				výkon při přetížení (S4 - 60%)		32 kW		42.89 hp	
				max. kroučící moment (S1-100%)		80 Nm		59 ft.lbs	
				max. kroučící moment při přetížení (S4 - 60%)		90 Nm		66.4 ft.lbs	

1		Návod k používání		- 1.9 -		POPS STROJE A JEHO SPECIFIKACE		1	
NÁSTROJOVÝ DRŽÁK		DIN 69 893 - HSK-A63							
AUTOMATICKÝ ZÁSOBNÍK NÁSTROJŮ		Počet nástrojů v zásobníku		30					
		Čas výměny nástroje (nástroj - nástroj)		3.5 s					
		Maximální průměr nástroje při obsazených sousedních místech v zásobníku		80 mm		3.15"			
		Maximální délka nástroje při neobsazených sousedních místech v zásobníku		115 mm		4.52"			
		Maximální hmotnost nástroje včetně držáku		250 mm		9.84"			
		Max. hmotnost všech nástrojů v zásobníku včetně držáku		6.5 kg		14.3 lbs			
		Max. moment setrvačnosti k ose sklápění		195 kg		430 lbs			
				0.8 kg m ²		18.98 lb ft ²			
PNEUMATICKÝ AGREGÁT		Tlak vzduchu na vstupu		0.6 - 0.8 MPa		87 - 115 psi			
		Spotřeba vzduchu přibližně		6 m ³ /hod		1 580 gal/h			
		Provozní tlak		0.55 MPa		80 psi			
POŽADAVKY NA ELEKTRICKOU ENERGIÍ		Přípojovací napětí		3 x 400 V/50 Hz					
		Příkon provozní		45 kVA					
		Proud při prázdném zatížení stroje		125 A					
ŘÍDÍCÍ SYSTÉM		SINUMERIC 840D							
NADŘÍZ CHLADICÍ KAPALINY		Čerpadlo vnějšího chlazení nástroje		dodávané množství*		50 l/min		13.1 gal/min	
		Čerpadlo oplachu pracovního prostoru (volitelné vybavení)		dodávané množství*		100 l/min		26.3 gal/min	
		Čerpadlo přečerpávání chladicí kapaliny do filtrační stanice (volitelné vybavení)		dodávané množství*		35 l/min		9.18 gal/min	
		Čerpadlo chlazení nástroje osou vřetená s průtokovým filtrem (volitelné vybavení)		dodávané množství*		20 l/min		5.3 gal/min	
				max. tlak (2 čerpadla)		5.5 MPa		797.5 psi	
						2.5 MPa		362.5 psi	
		* na výstupu z větve							
TRANSPORTNÍ ROZMĚRY STROJE		Délka		3 200 mm		125.98"			
		Šířka		2 200 mm		86.6"			
		Výška (s demontovanou konzolou osy Z)		3 000 mm		118.11"			

Příloha 4

NC program

```
0 BEGIN PGM bckostka MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-26
2 BLK FORM 0.2 X+99 Y+36 Z+0
3 TOOL CALL 1 Z S1400
4 M3 M8
5 L Z+10 R0 F1000
6 CYCL DEF 251 PRAVUOUHLA KAPSA ~
  Q215=+0 ;ZPUSOB FREZOVANI ~
  Q218=+60 ;1. DELKA STRANY ~
  Q219=+16 ;2. DELKA STRANY ~
  Q220=+5 ;RADIUS V ROHU ~
  Q368=+0,2 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
  Q224=+0 ;UHEL NATOCENI ~
  Q367=+0 ;POLOHA KAPSY ~
  Q207=+162 ;FREZOVACI POSUV ~
  Q351=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~
  Q201=-6 ;HLOUBKA ~
  Q202=+2 ;HLOUBKA PRISUVU ~
  Q369=+0 ;PRIDAVEK PRO DNO ~
  Q206=+162 ;POSUV NA HLOUBKU ~
  Q338=+6 ;PRISUV NA CISTO ~
  Q200=+5 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
  Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
  Q204=+10 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
  Q370=+0,7 ;PREKRYTI DRAHY NAST. ~
  Q366=+0 ;PONOROVAT ~
  Q385=+162 ;POSUV NA CISTO
7 CYCL CALL POS X+49,5 Y+18 Z+0
8 M30
9 END PGM bckostka MM

0 BEGIN PGM bckostka222 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-26
2 BLK FORM 0.2 X+99 Y+36 Z+0
3 TOOL CALL 1 Z S1400
4 M3 M8
5 L Z+10 R0 F1000
6 CYCL DEF 252 KRUHOVA KAPSA ~
  Q215=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~
  Q223=+12 ;PRUMER KRUHU ~
  Q368=+0 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
  Q207=+162 ;FREZOVACI POSUV ~
  Q351=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~
  Q201=-6 ;HLOUBKA ~
  Q202=+6 ;HLOUBKA PRISUVU ~
  Q369=+0 ;PRIDAVEK PRO DNO ~
  Q206=+50 ;POSUV NA HLOUBKU ~
  Q338=+6 ;PRISUV NA CISTO ~
  Q200=+5 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
  Q203=-6 ;SOURADNICE POVRCHU ~
  Q204=+10 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
  Q370=+0,7 ;PREKRYTI DRAHY NAST. ~
  Q366=+0 ;PONOROVAT ~
  Q385=+162 ;POSUV NA CISTO
7 CYCL CALL POS X+49,5 Y+18 Z+0
8 M30
9 END PGM bckostka222 MM

0 BEGIN PGM bckostka333 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-26
2 BLK FORM 0.2 X+99 Y+36 Z+0
3 TOOL CALL 1 Z S1400
4 M3 M8
5 L Z+10 R0 F1000
6 CYCL DEF 213 CEPY NA CISTO ~
  Q200=+5 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
  Q201=-4,5 ;HLOUBKA ~
  Q206=+150 ;POSUV NA HLOUBKU ~
  Q202=+4,5 ;HLOUBKA PRISUVU ~
  Q207=+162 ;FREZOVACI POSUV ~
  Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
  Q204=+10 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
  Q216=+49,5 ;STRED 1. OSY ~
  Q217=+18 ;STRED 2. OSY ~
  Q218=+97 ;1. DELKA STRANY ~
  Q219=+34 ;2. DELKA STRANY ~
  Q220=+1 ;RADIUS V ROHU ~
  Q221=+1 ;PRIDAVEK V 1.OSE
7 CYCL CALL M3
8 M30
9 END PGM bckostka333 MM
```

Příloha 4
Foto dokumentace výroby

