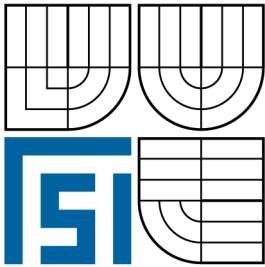


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING OF TECHNOLOGY

PROGRAMOVÁNÍ CNC FRÉZKY FV25 CNC A / HEIDENHAIN iTNC 530

PROGRAMMING FOR CNC MILLING MACHINE FV25 CNC A / HEIDENHAIN iTNC 530

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ BENDA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Benda

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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:

Programování CNC frézky FV25 CNC A / Heidenhain iTNC 530

v anglickém jazyce:

Programming of CNC milling machine FV25 CNC A / Heidenhain iTNC 530

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Programování obráběcích strojů s CNC řízením je ve strojírenství velmi rozšířené. Je možno programovat s dílensky orientovanými nadstavbami, v ISO kódu nebo v popisném dialogu a k dispozici je i mnoho CAD/CAM softwarů. Rozhodování, kterou ze zmiňovaných metod použít při výrobě jednotlivých typů součástí může výrazně usnadnit rozbor výhod a nevýhod jednotlivých metod.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor možností při programování CNC frézky FV25 CNC A s řídicím systémem Heidenhain iTNC530. Vytvoření série obrobků, které jsou vhodné pro jednotlivé metody NC programování. Zpracování těchto typových obrobků interaktivní formou vhodnou k prezentaci jednotlivých metodik obrábění.

Seznam odborné literatury:

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. (Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. Překlad M. Kudela.), 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o., 1997. 857 p. ed. J. Machač, J. Řasa, ISBN 91-97 22 99-4-6.

POLZER, A.; DVORÁK, J. Internetový portál pro CNC a CAD/CAM technologie. [online]. 2006. Dostupné na WWW: <http://cadcam.fme.vutbr.cz/>

HEIDENHAIN: Příručka pro uživatele, Popisný dialog-Heidenhain iTNC 530. 533 190-81-SW01.3.1/2005. Německo, Traunreut, 1. vyd., 652 s.

HEIDENHAIN: Příručka pro uživatele DIN/ISO, Programování iTNC 530. 533 188-Co-SW01.1.5/2005, Německo, Traunreut, 1. vyd., 578 s.

HEIDENHAIN: Průvodce smarT.NC iTNC 530. 533 191-81 SW01.3.11/2004, Německo, Traunreut, 1. vyd., 121 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 5.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Rozbor metod programování použitelných pro řídicí systém Heidenhain iTNC 530 stroje FV25 CNC A. Užití reálných obrobků řešených autorem práce ve firmě STM Stanislav Musil, tvorba NC programů a srovnání metod programování pro dané obrobky.

Klíčová slova

CNC, programování, frézování, CAD/CAM, ISO kód, popisný dialog

ABSTRACT

Analyse method of programming usable for controlling system Heidenhain iTNC 530 with machine FV 25 CNC. Use the real workpieces resolution from author this thesis in firm STM Stanislav Musil, generation NC programs and compare method of programming for used workpieces.

Key words

CNC, programming, milling, CAD/CAM, ISO code, description dialogue

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BENDA, T. *Programování CNC frézky FV25 CNC A / Heidenhain iTNC 530*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 62 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Programování CNC frézky FV25 CNC A / Heidenhain iTNC 530** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 10.5.2009

.....
Jméno a příjmení bakaláře

Poděkování

Děkuji tímto zaměstnancům VUT FSI v Brně doc. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc, Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D., Ing. Milanu Kalivodovi a majiteli firmy STM Stanislavu Musilovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

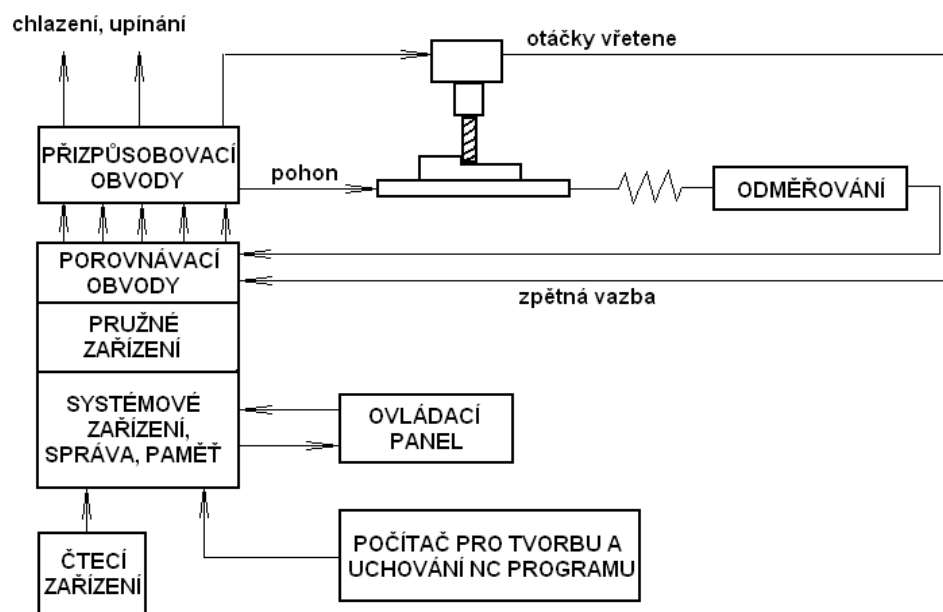
OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod	8
1 TECHNICKÁ DATA STROJE A ŘÍDICÍHO SYSTÉMU.....	10
1.1 Frézka FV25 CNC A.....	10
1.2 Řídicí systém Heidenhain iTNC 530	11
2 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ.....	14
2.1 DIN/ISO kód.....	14
2.1.1 Programování elementárních tvarů.....	14
2.1.2 Programování pomocí matematických funkcí.....	16
2.2 Popisný dialog řídicího systému Heidenhain	18
2.1.1 Programování obrysů	18
2.1.2 Cykly.....	20
2.3 CAD/CAM programování	21
3 UŽITÍ METOD PROGRAMOVÁNÍ NA REÁLNÝCH PŘÍKLADECH.....	24
3.1 Součást 1	24
3.1.1 DIN/ISO kód	25
3.1.2 Popisný dialog řídicího systému Heidenhain.....	29
3.1.3 CAD/CAM programování	30
3.2 Součást 2	33
3.2.1 DIN/ISO kód	34
3.2.2 Popisný dialog řídicího systému Heidenhain.....	36
3.2.3 CAD/CAM programování	43
3.3 Součást 3	46
3.3.1 DIN/ISO kód	47
3.3.2 Popisný dialog řídicího systému Heidenhain.....	48
3.3.3 CAD/CAM programování	48
4 POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ METOD PROGRAMOVÁNÍ	52
4.1 Součást 1	52
4.2 Součást 2	53
4.3 Součást 3	54
Závěr	55
Seznam použitých zdrojů	56
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	57
Seznam příloh.....	58

ÚVOD

Programování CNC strojů ve strojírenství je dnes již zcela běžnou záležitostí. CNC stroj je svojí funkcí prakticky shodný se strojem konvenčním, s tím rozdílem, že pohony v jednotlivých osách posuvů nejsou řízeny ručně klikou, ale jsou plynule řízeny rotačními krokovými motory nebo v dnešní době již velmi rozšířenými netočivými lineárními motory, které dostávají impulsy k pohybu z řídicího systému stroje. Ale řídicí systém musí tyto impulsy zpracovávat a odesílat na základě určitých vstupních dat. Těmito vstupními daty je takzvaný program. Což je soubor dat, ve kterém jsou definovány jednotlivé pohyby os, které právě řídicí systém převádí na elektrické impulsy řídicí jednotlivé motory. Zpětná vazba odměřování následně dodá impuls k zastavení motoru v pozici definované v programu. (obr. 1.1) Způsobů jak vytvářet programy je však více.

Některé firmy dnes CNC stroje používají jen jako pomoc při obrábění složitějších tvarů, ale většina podniků se bez nich již vůbec neobejde. Rozvoj techniky a větší nároky na průmyslový design jdou ruku v ruce s růstem složitosti, většími nároky na opakovanou přesnost a hlavně co nejrychlejší výrobou obráběných dílců. CNC stroje jsou používány již řadu let a zdokonalují se jak po technické stránce, tak po stránce způsobu programování. Více možností efektivního programování nám zajišťuje neustálé zdokonalování výpočetní techniky.



Obr. 1.1 Blokové schéma NC stroje [6]

I když jde vývoj metod programování stále kupředu, a to především v oblasti CAD/CAM systémů, nedá se jednoznačně říci, že nejmodernější metoda programování je ta nejlepší. Každá z metod má své výhody, oblast použití pro daný charakter práce a závisí na velkém množství parametrů, která z metod je pro daný úkol ta nejvhodnější. Programátor programující CNC stroje by měl být vzdělaný v oboru technologie obrábění, ale také znalý ekonomické stránky věci. Protože ve většině případů si ve firmách navrhuje technologický

postup výroby součásti sám a to souvisí s dodržením nemalého množství zákonitostí, tak aby bylo obrábění efektivní. V dnešní době je trendem se zaměřovat především na CAD/CAM systémy. Někdy je však vhodnější například užít k popisu tvarové křivky matematickou rovnici, jak je v dalších kapitolách předvedeno na názorných reálných případech.

Tato práce se zabývá rozбором metod programování, jejich vhodností a aplikací na vybrané obrobky. Výběr neoptimálnější metody řeší pouze z hlediska vhodnosti pro programování. Optimalizací a ekonomickým hodnocením se zabývá jen okrajově.

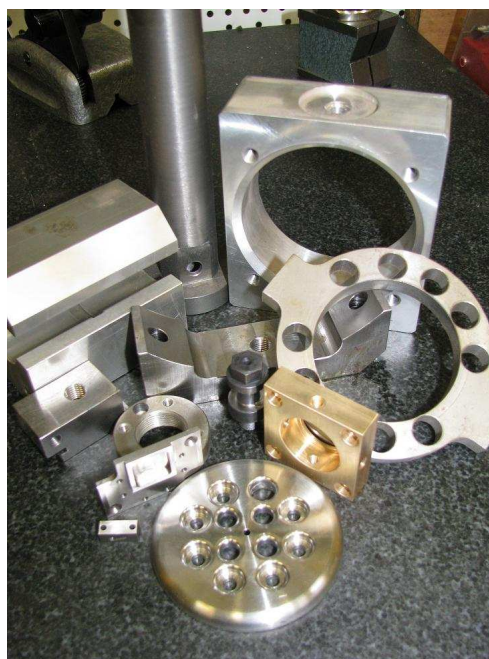
Cíle této práce lze shrnout do následujících bodů:

- názorně demonstrovat, že nejmodernější metoda programování nemusí být vhodná pro všechny druhy obrobků
- názorně demonstrovat, že relativně elementární operace může být v CAD/CAM programování velmi obtížná
- dokázat aplikací na reálných součástech, že každá metoda programování má svoji oblast použití, výhody a nevýhody
- podpora výuky CNC programování na VUT FSI

Tyto obrobky byly reálně řešeny autorem práce ve firmě STM Stanislav Musil, která vznikla v roce 1995. Prvotním cílem firmy byl vývoj, konstrukce a výroba prototypů nástrojů pro třískové obrábění a tváření. Později se s narůstající poptávkou rozšířil sortiment na výrobu součástí do jednoúčelových strojů, elektronových mikroskopů a různých zkušebních zařízení. Výroba byla však vždy jen kusová. Firma disponuje konvenčními stroji pro třískové obrábění, dělení materiálu a třemi CNC frézkami. (TOS FGS 50, MCV 32, DMU 50)



a) prototypy nástrojů



b) součásti jednoúčelových strojů a elektronových mikroskopů

Obr. 1.2 Ukázky výrobků firmy STM Stanislav Musil

1 TECHNICKÁ DATA STOJE A ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

1.1 Frézka FV25 CNC A

Frézka FV 25 CNC A (obr. 1.3) je plynule řízená svislá konzolová frézka. Řízený podélný a příčný pohyb (osa X,Y) vykonává pracovní stůl a řízený svislý pohyb (osa Z) vykonává vřeteno (vřeteník je pevný, řízený pohyb zajišťuje výsuvná pinola). Konzola s pracovním stolem je manuálně výškově přestavitelná. Stroj je vybaven řídicím systémem Heidenhain iTNC 530. Frézka má pohony řízeny rotačními krokovými motory s kuličkovými šrouby.

[7] Stroj je vhodný pro výrobu dílců menších rozměrů a vrtací operace. Jeho hlavní nevýhodou je malý rozsah řízeného pohybu ve směru osy Z, což může být nepříliš vhodné v případě kombinace vyššího obrobku a delšího nástroje, ale hlavně díky snížené tuhosti vřetene ve vysunutě poloze. A to nepříznivě ovlivňuje kinematiku stroje a tím přináší omezení pro jeho programování. Výrobce je TOS Olomouc s. r. o.



Obr. 1.3 FV25 CNC A [7]

Tab.1.1 Technická data stroje [7]

Stroj		
Celkový příkon	22	kVA
Hmotnost	1500	kg
Půdorysná plocha	2588 x 2750	mm
Výška stroje	2030	mm
Upínací stůl		
Rozměr pracovní plochy (stůl)	350 x 1300	mm
Upínací drážky		
Počet	5	
Šířka a rozteč	14 x 50	mm
Maximální zatížení stolu	200	kg
Pracovní prostor (rozjezd)		
Podélný – osa X	760	mm
Příčný – osa Y	355	mm
Svislý – osa Z	152	mm
Svislé přestavení konzoly	420	mm
Posuvy plynule	2,5 – 3000	mm.min ⁻¹
Rychloposuv	9000	mm.min ⁻¹
Vřeteno		
Upínací kužel	ISO40	
Vzdálenost osy vřetene od stojanu	373	mm
Otáčky		
Počet stupňů	2	
Rozsah otáček (plynule)	50-6000	min ⁻¹
Výkon hlavního motoru	5,5	kW

1.2 Řídicí systém Heidenhain iTNC 530

Řídicí systém Heidenhain iTNC 530 je souvisle řídicím systémem, u kterého je možnost jak přímého programování pomocí popisného dialogu ve velmi uživatelsky přívětivém prostředí, tak importováním programu do paměti stroje. Pomocí popisného dialogu je možné vytvářet programy pro frézování nebo vrtání a to včetně nastavení úhlového natočení vřetene. Řídicí systém iTNC 530 je schopen řídit až 12 os. [2]

Systém je nainstalován na tříosou konzolovou frézku FV25 CNC A. Tento řídicí systém pracuje s programy psanými v popisném dialogu vlastního systému nebo generovanými postprocesory ve formátu Heidenhain nebo importovanými programy psanými v ISO/DIN kódu. Verze iTNC 530 je plně kompatibilní vzhledem k programům vytvořených v předchozích verzích. Řídicí systém Heidenhain iTNC 530 je vhodný pro programy jak na součásti typu deska, tak pro řízení programů součástí s velmi složitými 3D tvary. Systém iTNC má vlastní interní paměť minimálně 25GB, takže není omezena délka programu. [2]

Řídicí systém disponuje osmi provozními režimy, které se dají rozdělit na šest strojních provozních režimů a dva programovací provozní režimy. [2]

- **Strojní režimy:**



Manuální (ruční) provozní režim – v tomto režimu lze ručně pohybovat osy stroje a nastavovat vztažné body – k pohybu os slouží klávesy řídicího panelu



Elektronické ruční kolečko – má obdobnou funkci jako manuální režim s rozdílem, že pro ovládání pohybu os se používá elektronické ruční kolečko, které je příslušenstvím řídicího systému



Polohování s ručním zadáním – je možný ruční pohyb os stejně jako v manuálním režimu, ale za pomoci jednoduchých dráhových pohybů, které se programují přímo před jejich použitím, slouží například ke srovnání ploch obrobku frézováním před vlastním nastavením nulového bodu



Program/provoz plynule – slouží ke spuštění programu uloženého v paměti stroje, po spuštění je proveden celý program až do konce



Program po bloku – slouží ke spuštění programu po jednotlivých blocích samostatně



SmArT.NC – režim pro podporu programování (režim spadá do programovacích režimů – rozdělení výrobce). Jedná se o popisný dialog doplněný o grafiku a další funkce

- **Programovací režimy:**



Program zadat/edit – pomocí tohoto režimu je možné vytvářet nové programy pomocí popisného dialogu nebo editovat programy již vytvořené



Program test – slouží k simulaci programu nebo jejich částí a k vyhledání geometrických neslučitelností nebo chybně definovaných údajů v programu popřípadě překročení pracovního prostoru stroje

Program který je psán v popisném dialogu stroje stejně jako vnější vstupy generované postprocesory z CAD/CAM systémů jsou psány ve formátu Heidenhain. Tento formát je vývojovým krokem firmy Heidenhain a velice se podobá DIN/ISO kódu (*kapitola 2.1*). Formát Heidenhain však neužívá G-funkcí jako v ISO/DIN kódu. Ale například definuje popis lineárního pohybu písmenem L (line) a pro kruhovou interpolaci užívá polární souřadnice, písmena CC (centre circle) pro zadání středu oblouku od souřadného systému obrobku a písmeno C (circle), pro koncový bod oblouku. A za tímto řádkem ještě symboly DR+ nebo DR-, které definují směr oblouku po nebo proti směru hodinových ručiček.

Programy importované do iTNC ve formátu Heidenhain mají příponu .H (v dřívějších verzích to byla .HNC) a programy i ISO/DIN kódu příponu .I (v předchozích verzích .DNC). Pro přenos dat (programů) mezi TNC a PC se používal software TNC.EXE (dnes TNCremoNC.exe). Ten se vyvíjí společně s řídicím systémem, avšak jeho funkce zůstává stejná (příloha 1). Veškeré funkce a prvky, které iTNC 530 obsahuje jsou detailně popsány v příručce

k řídicímu systému Heidenhain iTNC 530 [2] a tato práce se tedy jejich rozbořem nezabývá. K řídicímu systému je možné dodat i široký sortiment měřících sond Heidenhain.



Obr. 1.4 Ovládací panel iTNC 530 [2]

- 1 – Abecední klávesnice pro zadávání textů, jmen souborů a programování
- 2 – Správa souborů
- 3 – Programovací provozní režimy
- 4 – Strojní provozní režimy
- 5 – Klávesy pro tvorbu v popisném dialogu
- 6 – Klávesy šipek
- 7 – Numerické klávesy, volba os
- 8 – Touchpad (dotyková plocha)

0 BEGIN PGM PRIKLAD MM	}	Hlavička programu, za středníkem textová poznámka neovlivňující program.
1 ;TOOL D-20 R-0.000		
2 TOOL CALL 2 Z S1900	}	Lineární interpolace
3 ; -- MONOLIT 20 --		
4 L X+47.2 Y-100.001 FMAX	}	Kruhová interpolace CC - (centre circle) střed oblouku C - koncový bod oblouku,
5 L Z+65 R0 FMAX M03		
6 L Z+37 R FMAX M08	}	Lineární interpolace
7 L Z+33 F1000		
8 L Y-90 RL F350	}	Konec programu
9 L X-25.2		
10 CC X-25.200 Y-80.000	}	Konecová hlavička programu
11 C X-35.2 Y-80 DR- RR		
12 L Y+0	}	Lineární interpolace
13 L X+35.2		
14 L Y-102	}	Konec programu
15 L X+45.201 R0		
16 L Z+65 R FMAX	}	Konecová hlavička programu
17 L Z+200 R FMAX		
18 L X+0 Y+0 R FMAX	}	Konec programu
19 M2		
20 END PGM PRIKLAD MM	}	Konecová hlavička programu

Obr. 1.5 Příklad programu psaného ve formátu Heidenhain (popisný dialog)

2 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ

Programování CNC strojů je možné několika způsoby a jak bylo naznačeno úvodem, každý způsob má své využití. Pro porovnání byly vybrány tři základní metody programování, které jsou v dnešní době nejpoužívanější. Jedná se o ruční programování v ISO/DIN kódu, programování pomocí popisného dialogu stroje a využití CAD/CAM systémů. Další metody, jako například různé dílenské nastavby řídicích systému pro podporu programování, jsou rozličné podle výrobce.

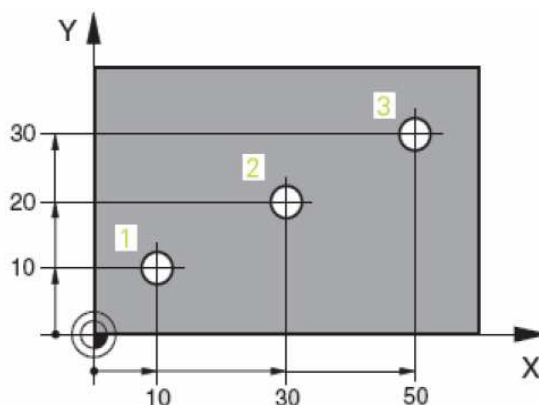
2.1 ISO/DIN kód

2.1.1 Programování elementárních tvarů

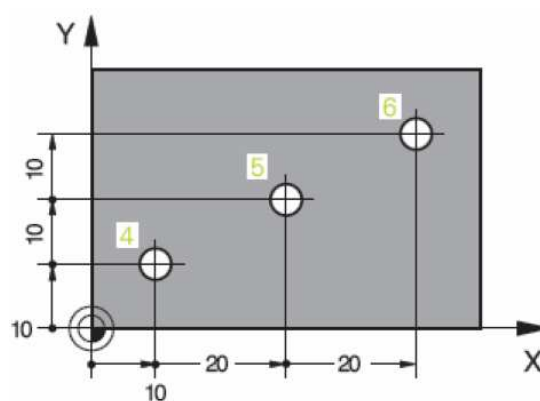
Program psaný v ISO/DIN kódu obsahuje tzv. G-kód a M-kód. ISO/DIN kód vychází z normy DIN 66025, která je ze své původní podoby základních funkcí neustále rozšiřována. Program užívá k popisu pohybu přesně definované G a M funkce. Programování v ISO/DIN kódu je možné ve dvou základních souřadných systémech:

- **Kartézské souřadnice**

Programování v kartézské souřadnicové soustavě vychází z matematické definice kartézských souřadnic. Souřadnice jsou zadávány vůči nulovému bodu obrobku ve třech osách X, Y, Z, buď **absolutně** (obr. 2.1a) nebo **přírůstkově** (obr. 2.1b). Toto je v případě, že součást je zadána a kótována v pravouhlé soustavě.



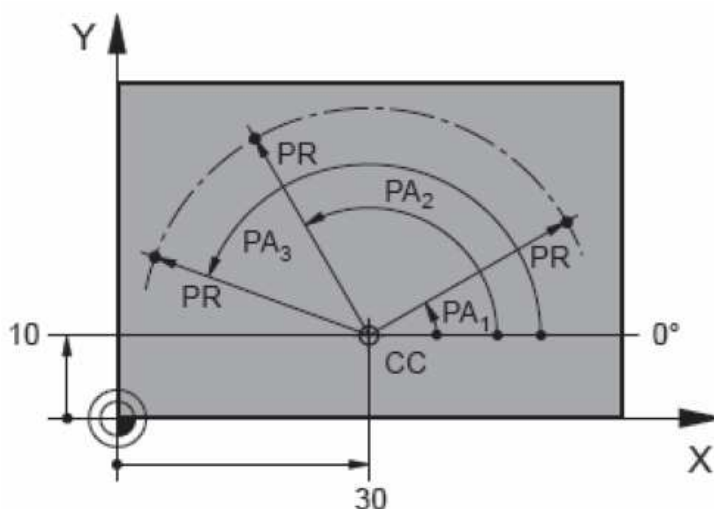
Obr. 2.1a Absolutní programování (1)



Obr. 2.1b Přírůstkové programování (1)

- **Polární souřadnice**

Polární souřadnice je možno aplikovat (obr. 2.2) v případě kruhových obrobků s možností drážek, kapes, složitějších oblouků nebo vrtáním na roztečné kružnici. Zadává se vždy střed oblouku CC (circle centre), hodnota radiusu PR a úhlem PA mezi vztáznou osou a úsečkou spojující daný bod na oblouku a střed CC. Určení polárních souřadnic je vždy jen v jedné rovině.



Obr. 2.2 Polární souřadnice (1)

V ISO/DIN kódu je používáno několik přípravných G - funkcí (*tabulka 2.1*) a několik pomocných M - funkcí (*tabulka 2.2*).

Tab. 2.1 Základní přípravné funkce [6]

Přípravná funkce	popis
G0	Rychloposuv lineární
G1	Pracovní posuv lineární
G2	Kruhová interpolace ve směru hod. ručiček
G3	Kruhová interpolace v protisměru hod. ručiček
G4	Prodleva
G11	Lineární pohyb
G12	Kruhová interpolace ve směru hod. ručiček
G13	Kruhová interpolace v protisměru hod. ručiček
G17	Volba roviny XY (Z osa nástroje)
G18	Volba roviny XZ (Y osa nástroje)
G33	Závitový cyklus
G40	Korekce na střed nástroje
G41	Korekce vlevo
G42	Korekce vpravo
G54	Posunutí nulového bodu na konec vřetene
G58	Programové posunutí nulového bodu
G90	Absolutní programování
G91	Přírustkové programování
G94	Minutový posuv
G95	Posuv na otáčku
G96	Konstantní řezná rychlost
G97	Konstantní otáčky

Tab. 2.2 Základní pomocné funkce [6]

Přípravná funkce	popis
M0	Programový stop
M1	Podmíněný stop
M3	Otáčky vřetene ve směru hod. ručiček
M4	Otáčky vřetene v protisměru hod. ručiček
M5	Zastavení vřetene
M6	Výměna nástroje
M8	Chlazení zapnuto
M9	Chlazení vypnuto
M17	Konec podprogramu
M20	Výstupní signál
M21	Konec výstupního signálu
M25	Výstup souřadnic polohy
M26	Výstup parametru P90
M29	Textová poznámka
M30	Konec programu
M40	Zapnutí kontinuálního navazování bloků
M41	Vypnutí kontinuálního navazování bloků
M99	Konec informace a návrat

Příklad programu psaného v ISO/DIN kódu:

```

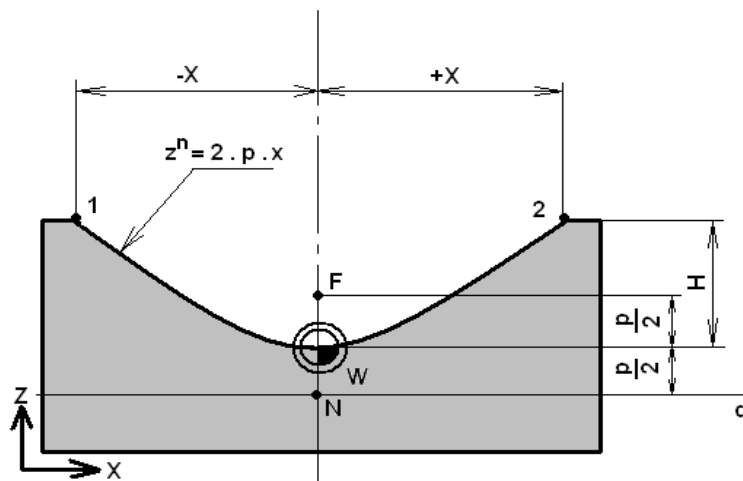
N10 G90 G54
N15 G58 X0 Y0 Z100
N20 M6 T1 M4 S1000 G94 F500
N25 G0 X-20 Y0 Z0 G41
N30 G1 Z-2
N35 G1 X80
N40 G2 X100 Y20 B10
N45 G1 Y200
N50 ...
...
N100 M30

```

2.1.2 Programování pomocí matematických funkcí

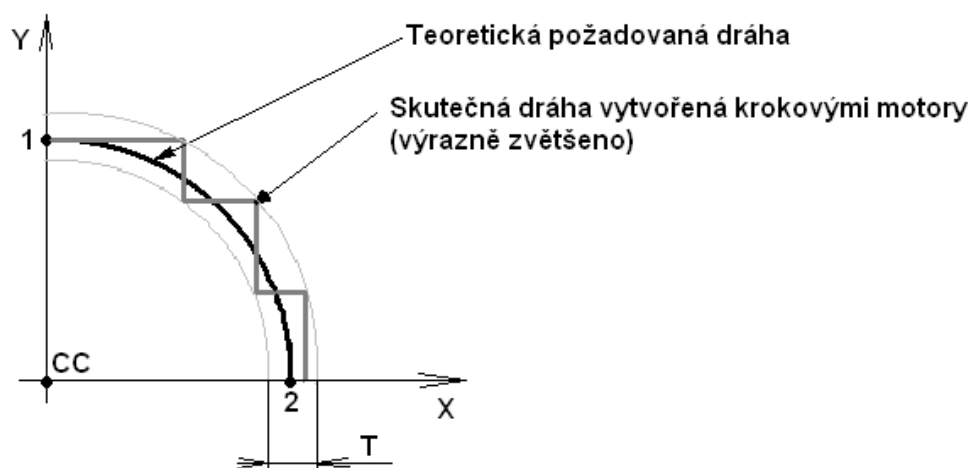
V některých případech programování v DIN/ISO kódu není dostačující použití kruhové a lineární interpolace. V technické praxi je třeba obrábět nemalé množství ploch, které jsou přesně popsitelné pouze matematickou funkcí. Například formy na parabolická skla. Nejjednoduššími příklady ploch popsitelných matematickou rovnicí je plocha popsaná pomocí kružnice, elipsy, paraboly, hyperboly nebo přímky. Tento způsob programování vyžaduje definici určitých parametrů pro obrábění. Jedná se tedy o parametrické programování. Tyto parametry jsou využitelné nejen u programování složitých geometrických tvarů, ale i například u dvou a více typů součástí, které se liší například jen jedním rozměrem. Přiřazením parametru k tomuto rozměru a jeho dosazováním stačí vytvořit pro všechny typy součástí jen jediný program.

Jako příklad tvorby takového programu je uveden popis frézování parabolické dutiny (obr. 2.3). Pro tyto popisy je vhodná dobrá volba nulového bodu obrobku, pokud možno totožně s nulovým bodem souřadného systému popisované funkce, aby nebylo nutné počítat s posunutím této funkce v souřadném systému. To platí jen v případě, že je to z hlediska součásti možné.



Obr. 2.3 Parabolická dutina

Protože stroj, jehož pohony jsou řízeny krokovými motory, není schopný plynulého posuvu ve dvou osách zároveň, tak aby přesně kopíroval danou konturu paraboly, je třeba tuto dráhu linearizovat. I u kruhové interpolace je rozdíl mezi požadovanou dráhou a dráhou skutečnou, vytvořenou pomocí stroje řízeného krokovými motory (obr. 2.4). Tato linearizace probíhá v určité toleranci, která je dána přesností stroje. [1]



Obr. 2.4 Linearizace kruhové interpolace

Pro požadovaný výpočet dráhy podle paraboly je třeba určit parametry zadávané do výpočtové rovnice v programu aby nemuseli být neustále opakovány výpočtové řádky programu pro každý krok. Je třeba zavést také skok v programu, který vrátí vždy před výpočtový řádek, změní přírůstkově parametr R0 (krok), vypočte další parametr R1, provede pohyb na souřadnici zadané

těmito parametry a po splnění podmínky, dosažení bodu 2, pokračuje dále v programu.

R0 - souřadnice X
R1 - souřadnice Z
R2 - exponent rovnice n
R3 - ohnisková vzdálenost p
R4 - hloubka paraboly H
R5 - posuv

Za předpokladu, že exponent $n = 2$, ohnisková vzdálenost $p = 1$, hloubka paraboly $H = 10$ mm. Rovnice paraboly:

$$z^2 = 2 \cdot p \cdot x \quad (1.1)$$

Následně pak bude program pro výrobu této paraboly vypadat:

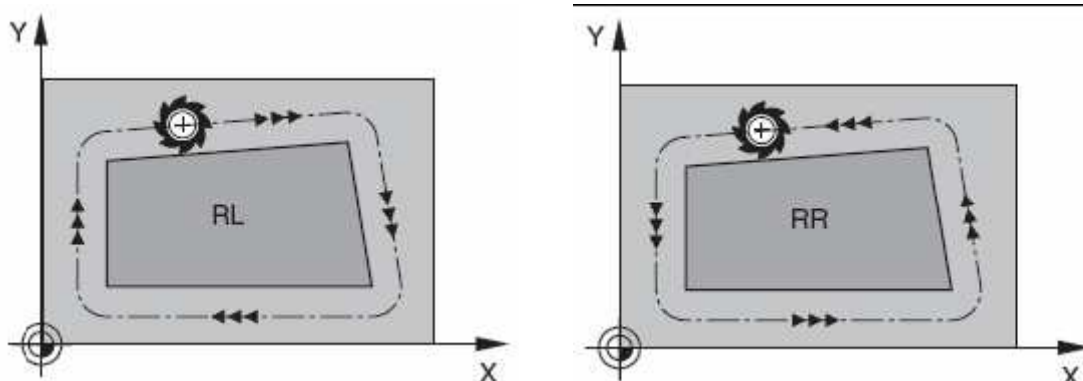
```
N10 G90 G17 G54 G95
N20 ... ; definice nástroje, nájezd, další kroky
N60 R0 = -50
N65 R3 = 1
N62 R4 = 10
N67 R5 = 300
N70 SKOK1:
N80 R0 = R0 + 0,05
N90 R1 = (R0*R0)/(R3*2)
N100 G1 X = R0 Z = R1 F=Q5
N110 IF R1 < R4 GOTOF SKOK1
N120 ... ; Pokračování programu, odjezd, další kroky
```

2.2 Popisný dialog řídicího systému Heidenhain

Popisný dialog stroje (nazývaný výrobcem Klartext) slouží k podpoře programování. Je použitelný většinou pro programování elementárních tvarů, při použití cyklů pro vrtací, závitovací operace a při použití speciálních cyklů i pro některé elementární 3D prvky. Nejjednodušší možností programování pomocí popisného dialogu je programování obrysů. Pomocné cykly jsou uvedeny v uživatelské příručce popisného dialogu řídicího systému Heidenhain iTNC 530. [2]. „Klartext“ byl používán již od první verze řídicího systému Heidenhain. Od verze iTNC 530 byl Klartext doplněn o grafiku (názorné zobrazení programovaného bloku), cykly a vznikl z něj samostatný provozní režim SmarT.NC.

2.2.1 Programování obrysů

Obrys obrobku se skládá obvykle z více obrysových prvků, jako jsou přímkové a kruhové oblouky. [6] Jednotlivé úseky geometrie obrysu jsou zadávány například pro úsečku pomocí definice lineárního pohybu a koncového bodu. Systém počítá s korekcí rádiusu nástroje (*obr. 2.5a, b*) a určí tak skutečnou dráhu jeho středu. Korekce pro nástroj vlevo od obrysu je značena RL, pro nástroj vpravo od obrysu RR a pro nástroj pohybující se po obrysu R0.



Obr. 2.5a Nástroj vlevo od obrysu [2]








Obr. 2.5b Nástroj vpravo od obrysu [2]

Programování je prováděno pomocí rozměrů definovaných na výrobním výkrese. Pokud koncové body obrysů chybí, to znamená, že výkres není kótován pro CNC obrábění, je možné využít volné programování FK obrysu, které vypočte zbývající rozměry potřebné k určení dráhy. [2]

- **Programování pomocí funkčních kláves**

Pro daný pohyb například po úsečce stačí stisknutí klávesy pro lineární pohyb. Všechny parametry potřebné pro vykonání tohoto pohybu (koncový bod, posuv, korekce atd.) si vyžádá systém a postupně vyzývá jen k jejich doplnění. Klávesy k vyvolání jednotlivých pohybů jsou uvedeny v tabulce 2.3.

Tab. 2.3 funkční klávesy pohybů [2]

	Přímka
	Střed kruhu/pól pro polární souřadnice
	Kruhová dráha kolem středu kruhu
	Kruhová dráha s rádiusem
	Kruhová dráha s tangenciálním napojením
	Zkosení
	Zaoblení rohů

- **Programování obrysu FK**

FK

Tam kde je výkres kótován tak, že je jeho kótování pro CNC program neúplné, je třeba použít programování obrysu FK. Zadáme pouze známe parametry tvaru obrysu a systém vypočte ostatní souřadnice sám a vytvoří podle tohoto obrysu dráhy. Pro aktivaci softwarových kláves tvarů FK obrysů slouží tlačítko FK.

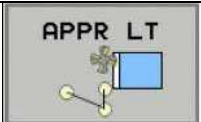
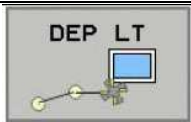
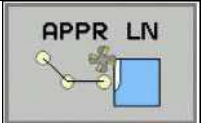
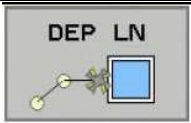
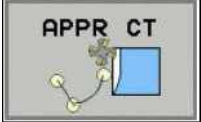


• Najetí a opuštění obrysu

Před samotný popis obrysu součásti, je třeba přidat najetí nástroje, popřípadě za obrys odjetí nástroje. Je vhodné pro eliminaci případné možnosti zavrtávání nástrojem do materiálu nebo například v některých případech není vhodné najetí na obrys kolmo z důvodů zanechání stopy na stěně obrobku a je třeba využít tečný obloukový nájezd.



Pro aktivaci dialogu pro popis nájezdu slouží tlačítko **APPR/DEP** (APPR angl. approach = najetí / DEP angl. departure = odjezd). Po aktivaci je možné pomocí softwarových kláves navolit tvar nájezdu a odjezdu dle tabulky 2.4. K vyplnění všech parametrů pro nájezdy a odjezdy vyzve systém sám po zvolení tvaru.

Tab. 2.4 Tvary nájezdů a odjezdů [2]

Nájezd	Odjezd	Funkce
		Přímka s tangenciálním napojením
		Přímka kolmo k bodu obrysu
		Kruhová dráha s tangenciálním napojením
		Kruhová dráha s tangenciálním napojením na obrys, najetí a odjetí do/z pomocného bodu mimo obrys po tangenciálně napojeném přímkovém úseku

2.2.2 Cykly

Řada pohybů a tvarů se při obrábění opakuje a je možné je parametrizovat. Takové programové prvky jsou v TNC uloženy a lze je pouze pomocí změny parametrů aplikovat na různé obrobky.

Základní cykly se aktivují pomocí vodorovných softwarových kláves

Vrtání/ závitů	Kapsy/ ostrůvky/ drážky	Transfor. souřadnic	SL CYKLY	Rastr bodů	Řádkování	Speciální cykly	END
-------------------	-------------------------------	------------------------	-------------	---------------	-----------	--------------------	-----

Základní cykly lze rozdělit podle těchto softkláves: [2]

- Cykly hlubokého vrtání, vystružování, vyvrtávání, zahlubování, vrtání závitů, řezání závitů a frézování závitů
- Cykly k frézování kapes, ostrůvků a drážek

- Cykly k vytváření bodových rastrů (vzorů), např. díry na kružnici nebo na ploše
- SL - cykly, jimiž lze obrábět souběžně s obrysem složitější obrysy, které se skládají z více navazujících dílčích obrysů, interpolace na plášti válce
- Cykly k plošnému frézování rovinných nebo vzájemně se pronikajících ploch
- Cykly pro transformaci (přepočet) souřadnic, jimiž lze libovolné obrysy posouvat, natáčet, zrcadlit, zvětšovat a zmenšovat
- Speciální cykly časové prodlevy, vyvolání programu, orientace vřetena, tolerance

Po určení typu cyklu na softklávesách systém vyvolá dialog pro určení parametrů cyklu. Zde je třeba vyplnit všechny potřebné hodnoty. V pravé polovině obrazovky se zobrazuje grafický popis parametrů.

2.3 CAD/CAM programování

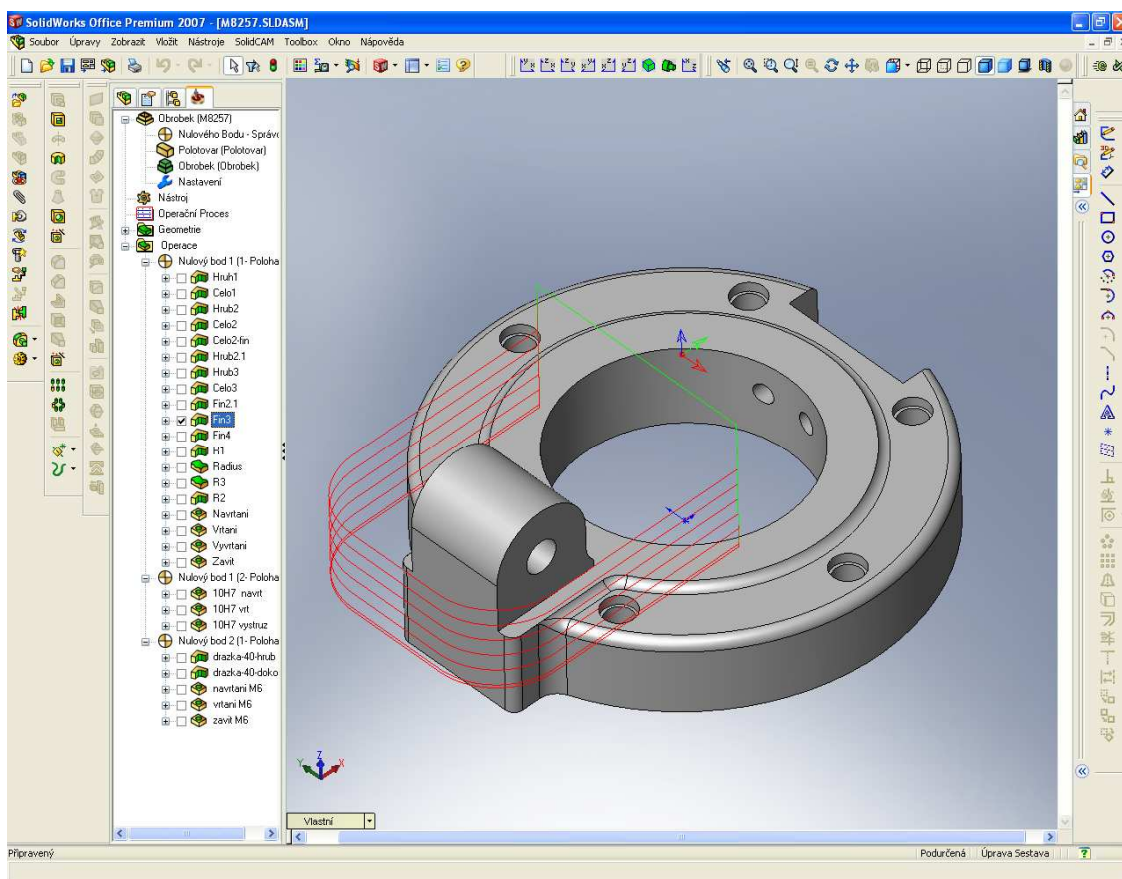
Další možností, jak vytvářet programy pro CNC stroj, je využití CAD/CAM systémů. CAD/CAM systém v zásadě pracuje s objemovým, plošným nebo drátovým 3D modelem obrobku vytvořeným přímo v CAD prostředí systému nebo importovaným z vnějšího zdroje vytvořeného jiným CAD systémem. Na jeho základě jsou po definování strategií obrábění vytvořeny dráhy nástroje. Tyto dráhy je však třeba na výstupu převést na program. K tomuto účelu slouží postprocesor. Postprocesor je softwarový převodník dat, převádějící dráhy a data vytvořené CAD/CAM systémem do formátu čitelného pro řídicí systém stroje – programu. Velkou nevýhodou je, že neexistuje univerzální postprocesor, který by se dal použít pro všechny stroje. Je to technicky nemožné, a navíc není mnohdy ani možné použít postprocesor na dva typově stejné stroje se stejným řídicím systémem. Postprocesor by měl být navržen a sestaven co nejefektivněji s co největším využitím funkcí, které využívá dialog řídicího systému stroje.

CAD/CAM systémů dnes existuje celá řada. Každý je založen na jiném principu a jejich ovládání jsou rozdílná. Výsledkem jsou ale vždy dráhy nástroje pro obrábění. Ze současných používaných CAD/CAM systémů lze jmenovat například systémy využívané pro obrábění SurfCAM, AlfaCAM, PowerMill, EdgeCAM, SolidCAM a další. Některé další typy CAD/CAM systému jsou využívány například pro dělení materiálu laserem, vodním paprskem atd. Tato práce používá pro názornost konkrétní CAD/CAM systém, což je SolidCAM. Tento systém byl autorem práce zhodnocen za nejuniverzálnější a nejvhodnější systém, protože je použitelný jak pro elementární 2,5D, tak pro 3D a 5 - ti osé programování.

Systém SolidCAM je systémovou nástavbou CAD systému SolidWorks, což je objemový a částečně i plošný modelář. Výhodou tohoto softwaru je, že se pohybujeme neustále ve stejném velmi uživatelsky přívětivém prostředí systému SolidWorks a nástavba SolidCAM je pouze doplňkovým modulem, který je samostatně bez systému SolidWorks nespustitelný.

Pro porovnání a potřeby této práce byla využita verze systému SolidWorks 2007 SP 0.0 s nástavbou CAM systému SolidCAM 2006 R10.1. Je-

jich uživatelské prostředí je vidět na obrázku 2.6. Tento software je vhodný jak pro 2,5D, 3D tak i pro plynulé 5 - ti osé obrábění, popřípadě i soustružení. Obzvláště vhodný je pro kusovou nebo malosériovou výrobu dílců, kdy je možné i během tvorby drah nástroje měnit samotný model se zpětnou vazbou na dráhy nástroje. Definice každé ze zadávaných obráběcích operací je popsána v jednom dialogovém okně (*obr. 2.8*) s možností doplnění dalších parametrů v doplňujících dialogových oknech. Základní funkce pro tvorbu drah nástroje jsou rozděleny do několika základních nabídek, které se dále dělí na jednotlivé strategie, popřípadě zda se jedná o hrubování nebo dokončení. Při tvorbě drah systém využívá pro 2,5D obrábění kontury modelu a pro 3D a 5-ti osé obrábění využívá ploch tohoto objemového nebo plošného modelu.

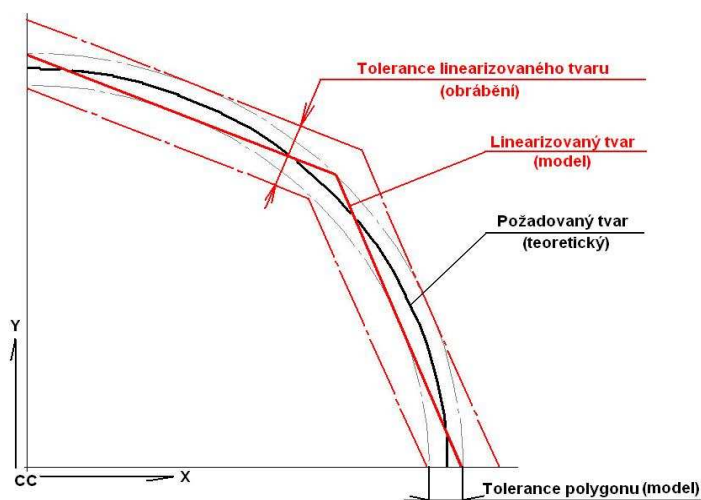


Obr. 2.6 Prostředí SolidWorks/SolidCAM

Pro obrobení složitějšího 3D tvaru je nutné na začátku tvorby tzv. „CAM dílu“ definovat záložku tzv. „tolerance polygonu“. Jedná se o to, že samotný model pro obrábění je nějakým způsobem linearizované těleso a tato tolerance představuje míru linearizace. Takto pracuje systém SolidCAM, jiné softwary pracují obdobně nebo úplně jinak. Přesnost kroku se dá v pozdějším nastavení ještě definovat pro každou operaci zvlášť na přesnější hodnotu, ale jen na maximum základní „tolerance polygonu“. Zmenšování tolerance v dané operaci je pak neúčinné, protože není možné více linearizovat již linearizovaný model (*obr. 2.7*).

Základní nabídka možných strategií pro frézování je v tomto systému rozdělena do základního menu pro **2,5D obrábění**:

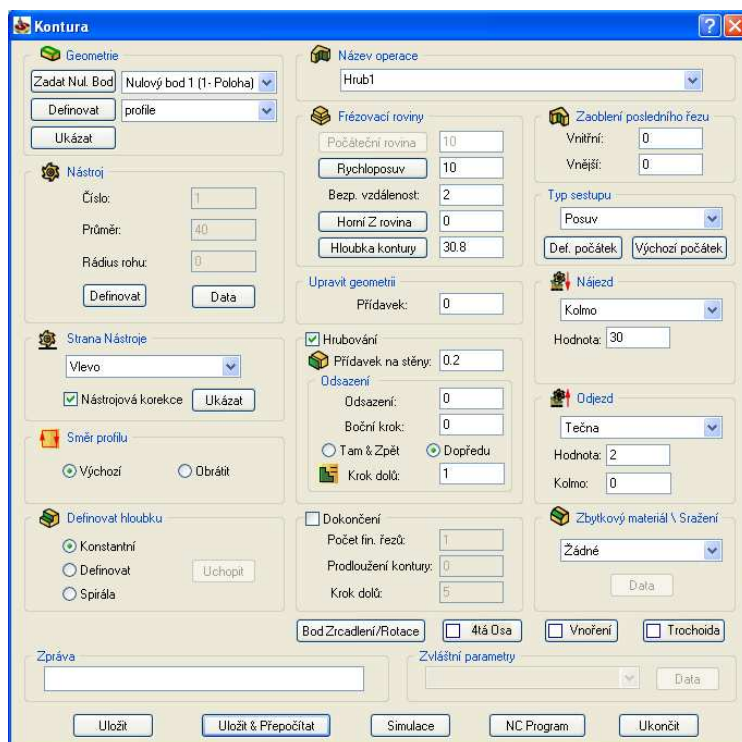
- **Kontura** – pro otevřené kapsy a jednoduché kontury s možností kroku do boku.
- **Kapsa** – pro uzavřené kontury a pro čelní obrábění ploch
- **Vrtání** – pro definici vrtacích operací
- **Drážka** – speciální funkce pro tvorbu drážek s definovatelnou strategií sestupu



Obr. 2.7 Linearizace systému SolidCAM obecně

Dále systém obsahuje několik možností pro **3D obrábění**:

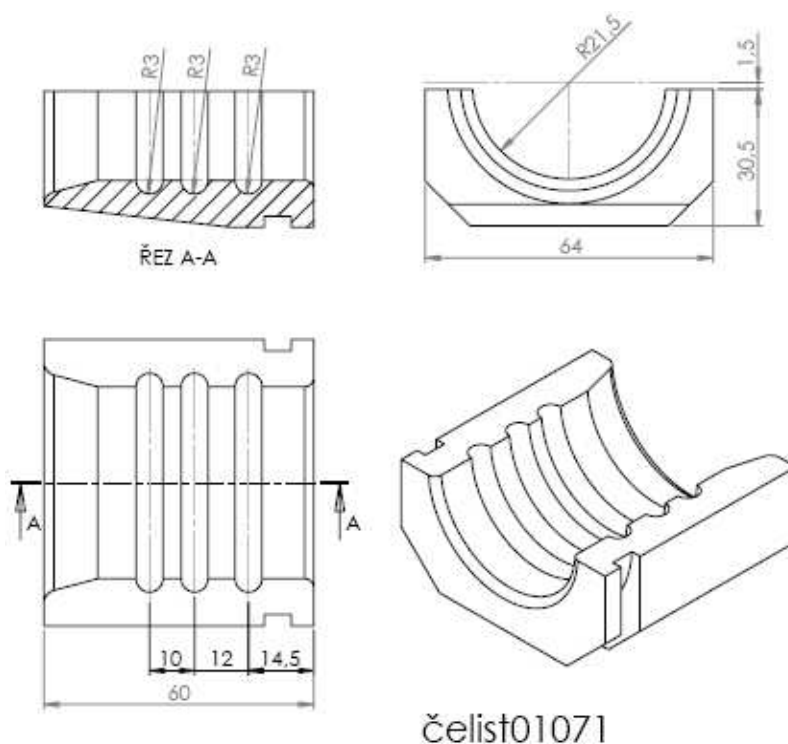
- **Tažená plocha** – pro dokončování rozsáhlých tvarových ploch definovaných křivkou taženou po jiné křivce
 - **3D Model** – je dále členěna na hrubování předdokončení a dokončení s další možností způsobů obrábění (konstant Z, podél křivky, ofsetem a další)
 - **3D Gravírování** – pro gravírování 2D kontur promítnutých nebo nabalených na 3D plochu
 - **3D Vrtání** – pro definici vrtání do 3D ploch
- A pro **5-ti osé** obrábění možnost
- **5 – osa** – plynulé nebo indexované 5 - ti osé obrábění s možností nastavení dalších strategií



Obr. 2.8 Příklad dialogového okna SolidCAM

3 UŽITÍ METOD PROGRAMOVÁNÍ NA REÁLNÝCH PŘÍKLADECH

3.1 Součást 1



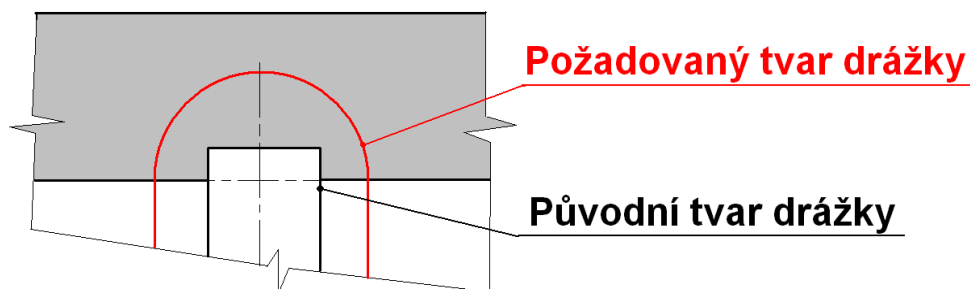
Obr. 3.1. Součást 1 – čelist 01071

První zvolenou součástí pro porovnání metod programování, je čelist (Obr. 3.1) ze zkušebního stroje vysokotlakých přízových hadic. Tato součást má

zvláštnost, že nebylo řešeno obrábění celé součásti ale pouze dílčího úkonu, což byla operativní úprava drážek konstruktérem tohoto zkušebního stroje. Čelist pracuje v páru a přes trn pomocí klínové plochy upíná vysokotlaké hadice pomocí jejich vlastní deformace v místech drážek. Po té je přiváděno trnem kapalné médium o zkušebním tlaku.

Konstruktér modifikoval rozměry čelisti pro nově vyráběné hadice o větších průměrech. Zvětšení průměru sebou neslo i rozšíření stěny hadice, konstruktér však neupravil rozměry upínacích drážek (Obr. 3.2) a čelist nedokázala hadici udržet. Součásti byly již tepelně zpracovány a broušeny a bylo nutné provést monolitní kulovou frézou rozšíření drážek v těchto hotových čelistech. Jejich tvar byl libovolný. Ale vzhledem k zhotovení drážky na 3 - osém stroji je nutné použít právě kulovou frézu a vytvořit rádiusovou drážku.

Počet kusů	8
Materiál:	ocel 14 220.8
Vstupní data:	výrobní výkres s naznačenou úpravou



Obr. 3.2. Detail drážky - součást 1

3.1.1 DIN/ISO kód

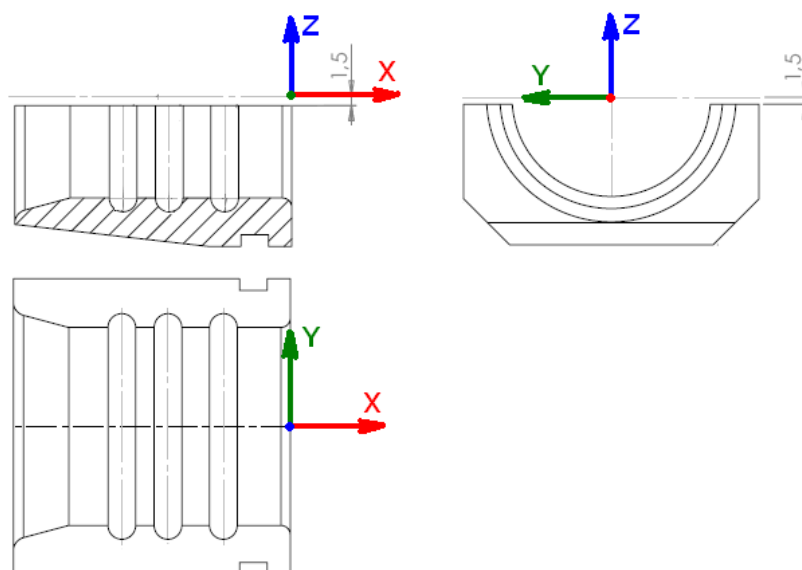
Zadaný úkol rozšíření drážek a vytvoření programu na jejich obrobení je pomocí ručního psaní v DIN/ISO kódu realizovatelný. Vzhledem k tomu, že kruhová interpolace (G2, G3) lze provádět pouze v rovině kolmé na osu nástroje (v našem případě na osu Z), je třeba využít parametrické programování za pomoci matematické rovnice kružnice. Algoritmus programování lze shrnout do těchto bodů:

- **Určení nulového bodu obrobku**

Ten je nejlépe umístit v ose X na zadní stěnu čelisti, od které jsou kótovány pozice drážek. Osu Y na střed čelisti a v ose Z 1,5 mm nad povrch hotové součásti, tak aby byl nulový bod ve středu kružnice opisující drážky (obr. 3.3). Takovéto určení nulového bodu zajistí co nejpřesnější obrobení drážek vzhledem k vnějšímu broušenému tvaru a navíc ulehčí programování. Upínání bylo zvoleno ve svěráku za delší strany obrobku. Takže otvor v čelisti směřuje ve směru osy X.

- **Určení nástroje**

Pro obrobení této součásti byla použita monolitní kulová fréza ze slinutého karbidu průměru 6 mm firmy WNT. [8]



Obr. 3.3. nulový bod součást 1

• Hlavička programu a najetí na výchozí bod obrobku

- začátek programu, absolutní programování, posun nulového bodu na čelo vřetene

N0 G90 G54

-definice nástroje

N10 M06 T1 D1 //CARBID 6R3//

N20 M03 S2400

- najetí na výchozí pozici první drážky

N30 G0 X-14,5 Y-21,5 Z200 FMAX

N40 G0 Z4 FMAX M08

Poznámka: Řezné podmínky (řezná rychlost a posuv určeny dle katalogu firmy WNT, otáčky určeny z řezné rychlosti $v_c = 45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, dle vzorce 1.2.

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (1.2)$$

Hodnoty minutových posuvů byly přepočítány z posuvu na zub uvedeného v katalogu nástrojů dle vzorce 1.3.

$$f = fz \cdot z \cdot n \quad (1.3)$$

• Programování vlastní drážky

I když drážka opisuje kružnici, není možné, jak bylo řečeno úvodem, na ni aplikovat kruhovou interpolaci G2,G3 protože ta je použitelná pouze v rovině kolmé na osu nástroje. Je tedy třeba použít pro popis kontury této drážky matematickou rovnici kružnice a zavést potřebné parametry jak jenázorně předvedeno v kapitole 2.1.2. Kružnici matematicky popisuje rovnice 1.4.

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (1.4)$$

V případě této součásti je střed kružnice souhlasný s nulovým bodem obrobku a proto je možné parametry posunutí (a, b) vypustit. Byly tedy zavedeny R parametry pro definici kružnice, a navíc je třeba si uvědomit orientaci této kružnice vzhledem k nulovému bodu obrobku.

Zavedené R parametry:

R0 = souřadnice Y

R1 = souřadnice Z

R2 = poloměr kružnice r

R3 = koncový bod oblouku (osa Y)

R4 = posuv

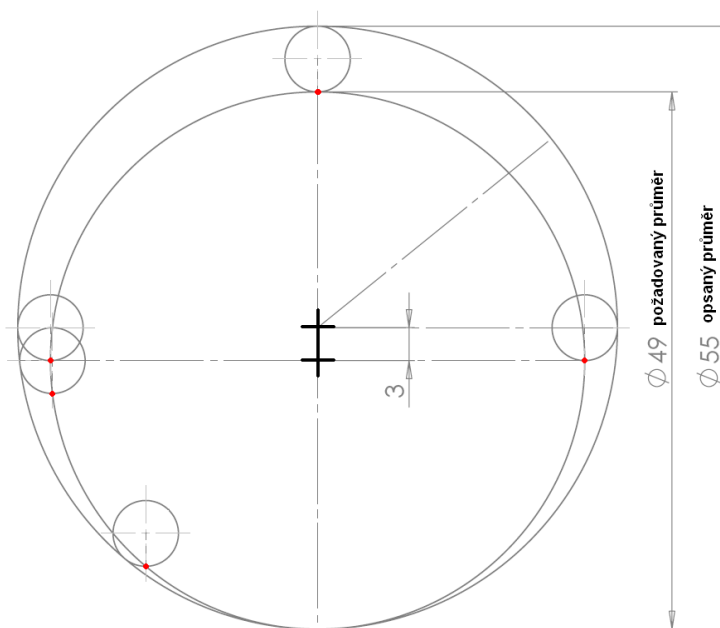
R5 = pozice první drážky v ose X

R6 = pozice druhé drážky v ose X

R7 = pozice třetí drážky v ose X

Po úpravě bude rovnice této kružnice vypadat takto:

$$y^2 + z^2 = r^2 \quad (1.5)$$

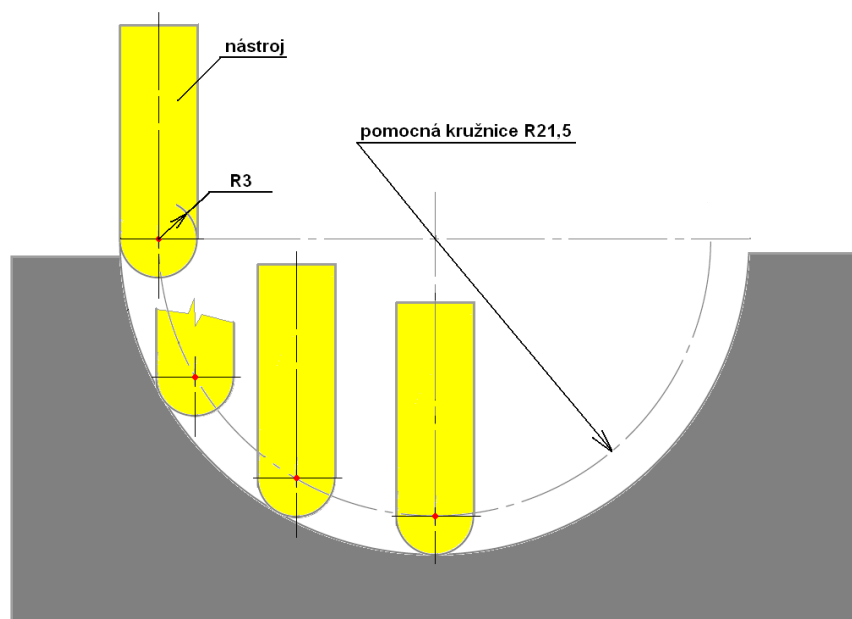


Obr. 3.4 Kružnice opsaná nástrojem

Pokud by zůstala popsána vnější kružnice s poloměrem $R = 24,5$ mm jako výchozí kružnice pro výpočtový řádek posunutí a nástroj by měl vztahný bod nastavený na konci své délky, došlo by při obrábění k opsání kružnice o poloměru $R = 27,5$ mm se středem posunutým o 3 mm v kladném směru osy Z (obr. 3.4).

Tento problém byl odstraněn použitím pomocné ekvidistantní kružnice odsazené o poloměr kulového zakončení frézy a posunutí vztahného bodu ná-

stroje (délkové korekce) na střed kulového zakončení tohoto nástroje. Pak je možné pro popis použít tuto kružnici a její rovnici (obr. 3. 5).



Obr. 3.5 Tvorba pomočné kružnice

- **Zavedení podprogramů**

První podprogram slouží k definici R parametrů potřebných pro výpočet dráhy. Druhý k vytvoření vlastní dráhy. Po zohlednění všech těchto hledisek budou následující řádky programu vypadat takto:

```

N50 G1 Z 0 F120
N60 CALL LBL1
N70 CALL LBL2
N80 G0 X = Q6 Y-24.5 FMAX
N90 CALL LBL1
N100 CALL LBL2
N110 G0 X = Q7 Y-24.5 FMAX
N120 CALL LBL1
N130 CALL LBL2
N140 G0 Z200 FMAX
N150 M2
N160 LBL1
N170 R0 = -21.5
N180 R2 = 21.5
N190 R3 = 21.5
N200 R4 = 120
N210 R5 = -14.5
N220 R6 = -26.5
N230 R7 = -36.5
N240 LBL0
N250 LBL2
N260 R0 = R0 + 0,05
N270 R1 = - SQRT((R2*R2)-(R0*R0))

```

```
N280 G1 Y= R0 Z = R1 F = R4  
N290 IF R0 < R3 GOTO LBL2  
N300 LBL0
```

- **Konec programu**

Obsahuje odjetí nástroje do bodu výměny nebo do bezpečného bodu, zastavení včetně.

```
N310 G0 X0 Y0 Z200 FMAX  
N320 M2
```

Statistika použité metody

- krátký srozumitelný program
- možnost měnit parametry drážky
- možnost měnit přírůstek obrábění (krok)
- čas programování: 46 min (programování + odladění)
- výrobní čas 1min 58 s
- plynulá dráha nástroje (žádný zbytečný přejezd)
- celková délka programu 32 řádků

3.1.2 Popisný dialog řídicího systému Heidenhain

Zadaný úkol rozšíření drážek a vytvoření programu na jejich obrobení je pomocí popisného dialogu realizovatelný. Jedná se o relativně elementární operaci, ale řešení je třeba provést pomocí parametrického programování. Řešení popisným dialogem bude obdobné jako u DIN/ISO kódu. Algoritmus programování lze shrnout do těchto bodů:

- **Určení nulového bodu obrobku**

Nulový bod obrobku je vhodné umístit stejně jako u předchozí metody programování pomocí DIN/ISO kódu, to znamená v ose X na zadní stěnu čelisti, od které jsou kótovány pozice drážek. Osu Y na střed čelisti a v ose Z 1,5 mm nad povrch hotové součásti, tak aby byl nulový bod ve středu kružnice opisující drážky. (obr. 3.3) Upínání ve svěráku za delší strany obrobku. Tak, že otvor v čelisti směřuje ve směru osy X.

- **Určení nástroje**

Pro obrobení této součásti byla použita monolitní kulová fréza ze slinutého karbidu průměru 6 mm firmy WNT. Řezné podmínky převzaty z kapitoly 3.1.1

- **Hlavička programu a najetí na výchozí bod obrobku.**

- *název programu, jednotky*

```
1 BEGIN PGM DRAZKA2 MM
```

- *definice polotovaru pro simulaci stroje*

```
2 BLK FORM 0.1 X-60 Y-32 Z-32
```

```
3 BLK FORM 0.2 X0 Y32 Z0
```

- definice nástroje

4 ;TOOL D-6 R-180.000
5 TOOL CALL 1 Z S2400
6 ; -- CARBID 6R3 –

- najetí na výchozí pozici první drážky

70 L X-14,5 Y-21,5 Z200 FMAX
80 L Z4 FMAX M03 M08

• Programování vlastní drážky

Řešení vlastní drážky je shodné s předchozí metodou programování s rozdílem, že nejsou použity G - funkce. Toto řešení prakticky nevyužívá popisného dialogu, je pouze jinou variantou předchozí metody. Matematické řešení, které je nutné použít i u této metody, je uvedeno v kapitole 3.1.1.

• Zavedení podprogramů

Řešení téměř shodné s předchozí metodou První podprogram slouží k definici Q parametrů a druhý k vytvoření vlastní dráhy.

9 L Z 0 F120
10 CALL LBL1
11 CALL LBL2
12 L X = Q6 Y-24.5 FMAX ;přesun na polohu 2. drážky
13 CALL LBL1
14 CALL LBL2
15 L X = Q7 Y-24.5 FMAX ;přesun na polohu 3. drážky
16 CALL LBL1
17 CALL LBL2
18 L Z200 FMAX
19 M2
20 LBL1
21 Q0 = -21.5
22 Q2 = 21.5
23 Q3 = 21.5
24 Q4 = 120
25 Q5 = -14.5
26 Q6 = -26.5
27 Q7 = -36.5
28 LBL0
29 LBL2
30 Q0 = Q0 + 0,05
31 Q1 = - SQRT((Q2*Q2)-(Q0*Q0))
32 L Y= Q0 Z = Q1 F = Q4
33 IF Q0 LT Q3 GOTO LBL2
34 LBL0

• Konec programu

Obsahuje odjetí nástroje do bodu výměny nebo do bezpečného bodu, zastavení vřetene a koncovou hlavičku programu.

35 L X0 Y0 Z200 R0 FMAX
36 M2
37 END PGM DRAZKA2 MM

Statistika použité metody

- metoda je shodná s první použitou metodou a nepřináší, žádné nové poznatky
- výrobní čas, čas programování a dráha jsou téměř stejné. Liší se pouze způsobem psaní programu (ISO kód / Klartext)
- pro efektivnější obrobení by bylo výhodnější použít SmaT.NC
- celková délka programu 37 řádků

3.1.3 CAD/CAM programování

Zadaný úkol rozšíření drážek a vytvoření programu na jejich obrobení je pomocí CAD/CAM systému SolidCAM realizovatelný, tvorba drah nástroje bude jen zhruba nastíněna, protože software je příliš obsáhlý a jako u jiných systémů je možné se ke stejnému výsledku dopracovat několika způsoby s tím, že každý ze způsobů je vhodný pro jinou konkrétní věc a volí se dle zkušeností programátora. Algoritmus programování lze tedy shrnout do těchto bodů:

• Určení nulového bodu obrobku

Nulový bod obrobku je vhodné umístit stejně jako u předchozích metod programování pomocí DIN/ISO kódu a popisného dialogu, to znamená v ose X na zadní stěnu čelisti, od které jsou kótovány pozice drážek. Osu Y na střed čelisti a v ose Z 1,5mm nad povrch hotové součásti, tak aby byl nulový bod ve středu kružnice opisující drážky (*obr. 3.3*).

Upínání řešeno ve svěráku za delší strany obrobku. Takže otvor v čelisti směřuje ve směru osy X. Toto určení je předběžné a konkrétně se bude zadávat až při tvorbě CAM dílu.

• Vytvoření 3D modelu

Před vlastním obráběním v CAD/CAM systému je třeba nejdříve vytvořit 3D model součásti dle výrobního výkresu, pokud jej nemáme možnost importovat již hotový. Model byl vytvořen přímo v programu SolidWorks. 3D model dotváří představu o tvaru součásti, jeho příprava prodlužuje přípravný čas pro vlastní obrábění.

• Založení CAM dílu v SolidCAM

Z vymodelované součásti je třeba vytvořit tzv. CAM díl. Což je model pro obrábění. CAM díl se zakládá v padacím roletovém menu „SolidCAM“ záložka „Nový“, následně se otevře základní dialogové okno (*obr. 3.6*) nastavení základních parametrů pro tvorbu programu. Dále je třeba určit nulový bod obrobku – viz. předchozí případy. Nulový bod určí zvlášť nakreslená skica na modelu. Poté je třeba určit obrobek, polotovar (buď automaticky kvádr, 2D hranice nebo vložený model), toleranci polygonu (*kapitola 2.3*), (použitá tolerance 0,0001 mm) a typ postprocesoru.



Obr. 3.6 Základní nastavení

```

0 BEGIN PGM DRAZKA3 MM
1 ;TOOL D-6 R-3.000
2 TOOL CALL 1 Z S5650
3 ; -- 5R2,5 --
4 CALL PGM 99U
5 ; PRIDAVEK 0.000
6 L X-45.49 Y+24.5 FMAX
7 L Z+30 R0 FMAX M03
8 L Z+5.365 R FMAX M08
9 L Y+24.463 Z+4.501 F120
10 L Y+24.351 Z+3.645
11 L Y+24.166 Z+2.801
12 L Y+23.908 Z+1.976
13 L Y+23.581 Z+1.176
14 L Y+23.185 Z+0.408
15 L Y+22.725 Z-0.323
16 L Y+22.203 Z-1.012
17 ...

```

Úvodní řádky programu -
Hlavička programu, definice
nástroje

Najetí na výchozí bod,
vřetenno, chlazení

Vlastní linearizace oblouku

Obr. 3.7 Začátek vygenerovaného programu – součást 1

Statistika použité metody

- nechtěná stopa nástroje na ploše, která být obrobena neměla (viz. červené stopy na obr. 3.9). Tento problém byl způsoben automatickými nájezdy a výjezdy (obr. 3.8). Problém nelze odstranit.

- v místech nájezdů a výjezdů nevhodná dráha se zbytečnými přechody, které mají negativní vliv na plynulost obrábění. Ve dvou místech dokonce ostrá změna směru, což negativně ovlivňuje povrch obráběné součásti, přináší negativní rázy na nástroj a je zcela nevhodné pro kinematiku stroje.

- výrobní čas dle simulace: 2 min 16 s

- přípravný čas pro vytvoření modelu, programu a odladění: 2 hod 43 min, což zcela nepřijatelné vzhledem k elementárnímu úkolu vytvoření programu pro tři kontury.

• Tvorba vlastní dráhy

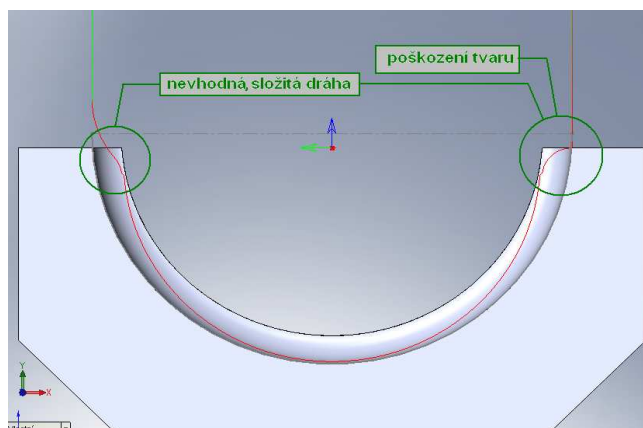
Vlastní dráhu je možné provést několika způsoby. Zvolena byla **3D operace „podél křivky“**. Pro tuto operaci je třeba určit křivku podél které, respektive po které se má nástroj pohybovat. V této fázi je důležité navolit „toleranci polygonu“ pro danou operaci, která se nachází v dialogovém okně samotné operace. Pro tento příklad byla zvolena tolerance polygonu 0,025 mm. Byla vytvořena jedna dráha, která byla následně transformována na ostatní drážky.

Dráhy byly simulovány a na základě jejich simulace zjištěna doba obrábění: 2:16 min (obr. 3. 9).

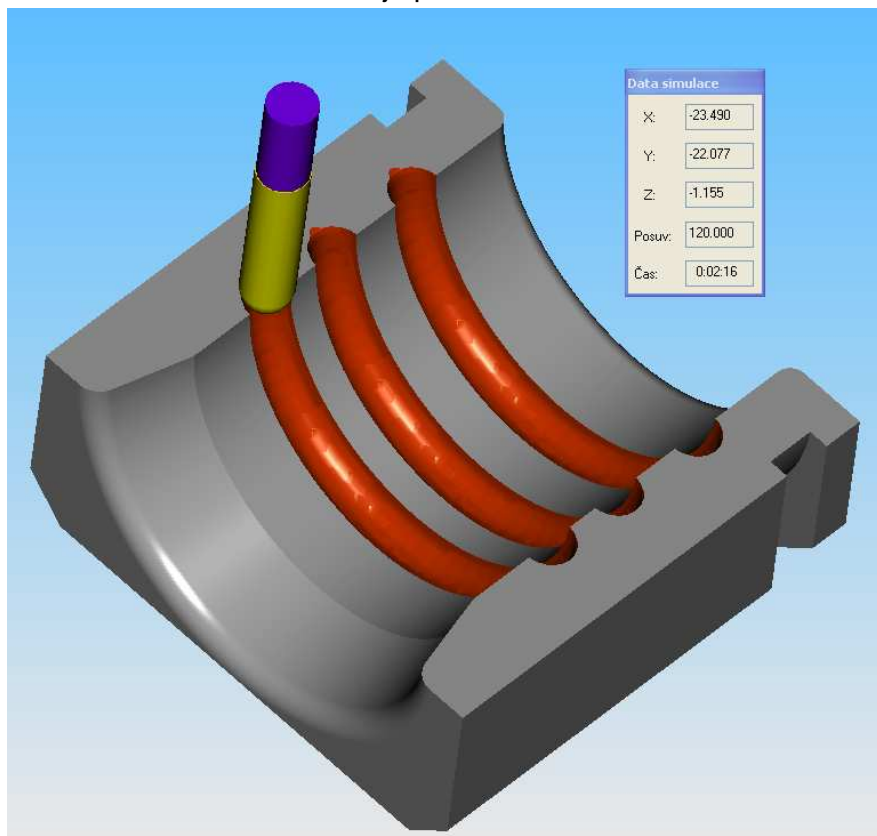
- linearizace provedena po kružnici s poloměrem R 18,5 mm se středem posunutým o 3 mm v záporném směru osy Z – dráha programována k délkové korekci pro celou délku nástroje

- tato varianta programování součásti 1 pomocí CAD/CAM systému byla aplikována ve firmě STM Stanislav Musil v praxi na stroji Deckel Maho DMU 50 s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530. Stroj má mnohonásobně lepší kinematiku než zadaný stroj FV25 CNC A, kde by obrábění nebylo tak plynulé, obrobení proběhlo bez závažných komplikací, jakost povrchu byla dobrá, oblouk drážky byl velmi dobře aproximován, výrobní čas odpovídal simulovanému.

- celková délka programu: 447 řádků (použito kopírování drah)

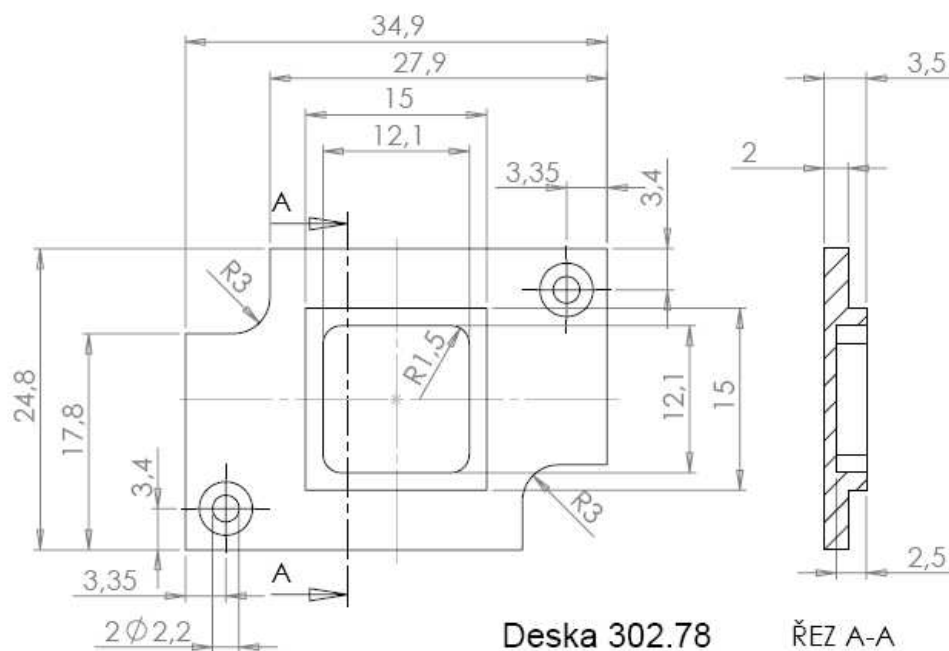


Obr. 3.8. Dráha nástroje pomocí SolidCAM – součást 1



Obr. 3.9. Simulace SolidCAM – součást 1

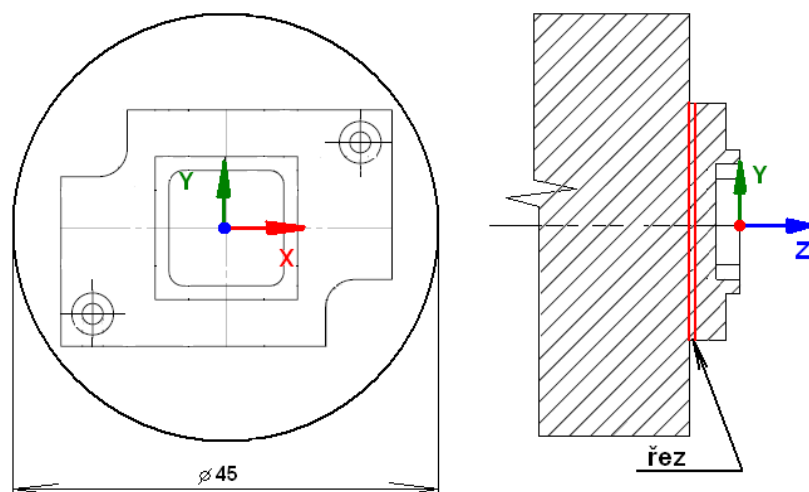
3.2 Součást 2



Obr. 3.10. Součást 2 Deska 302.78

Tato součást je typickou součástí typu deska. Jsou zde použity prvky jako je kapsa a osazení. Jedná se o součást z korozivzdorné oceli, která je součástí příslušenství elektronových mikroskopů Karl Zeiss Jena. Její kapsa slouží pro uložení kapalného vzorku ve speciální vyhřívané komůrce, která je uložena ve vakuové komoře mikroskopu. Součást je velmi malých rozměrů (obr. 3.10). Po zvážení všech možností byla ve firmě STM vyráběna z kruhové tyče (obr. 3.11) a po vytvoření jednoho kusu vždy odřezána a následně přerovnána a přebroušena.

Počet kusů: 10
 Materiál: korozivzdorná ocel 17 024
 Vstupní data: výrobní výkres



Obr. 3.11. Součást 2 - umístění součásti na polotovaru, nulový bod obrobku

3.2.1 DIN/ISO kód

Frézování této součásti je pomocí ručního psaní v DIN/ISO kódu realizovatelné. Algoritmus programování lze shrnout:

- **Určení nulového bodu obrobku a jeho upínání**

Nulový bod obrobku byl umístěn v osách X,Y do osy válce polotovaru a v ose Z na pomyslný povrch součásti (obr. 3.x), tj. při najetí obrobku a dotyku sondou na nejvyšší bod bude určen vztažný bod $Z = +0.5 \text{ mm}$. Tento přídavek je pro přerovnání čela obrobku po dělení pásovou pilou. Upínání je řešeno pomocí univerzálního sklíčidla připevněného na stůl stroje.

- **Určení nástrojů**

Tabulka 3.1 Tabulka nástrojů součást 2

Č.n	nástroj	Vrch. úhel	R rohu	poznámka
1	Fréza $\Phi 16$	180	0	Slinutý karbid
2	Fréza $\Phi 3$	180	0	Slinutý karbid
3	Navrtávák $\Phi 8$	90	0	HSS
4	Vrták $\Phi 2,2$	180	0	HSS

Použité nástroje včetně řezných podmínek určeny z katalogu firmy WNT [8]. Pro nástroje ze slinutého karbidu vzhledem k obráběnému materiálu určena řezná rychlost $v_c = 70 \text{ m.min}^{-1}$, pro nástroje z rychlořezné nástrojové oceli $v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$.

Dle vzorců 1.2, 1.3 a katalogu nástrojů firmy WNT určeny tyto řezné podmínky:

Nástroj č. 1: $n = 1400 \text{ min}^{-1}$ $f = 400 \text{ mm.min}^{-1}$

Nástroj č. 2: $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ $f = 530 \text{ mm.min}^{-1}$

Nástroj č. 3: $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ $f = 20 \text{ mm.min}^{-1}$

Nástroj č. 4: $n = 4200 \text{ min}^{-1}$ $f = 35 \text{ mm.min}^{-1}$

Pozn.: u osových nástrojů byly hodnoty posuvů upraveny a optimalizovány dle zkušeností autora práce a liší se od tabulkových hodnot udávaných v katalogu.

- **Vlastní programování**

- začátek programu, absolutní programování, posun nulového bodu na čelo vřetene

N0 G90 G54

-definice nástroje

N10 M06 T1 D1 //CARBID 16R0//

N20 M03 S1400

- **Plošnění polotovaru**

- najetí na výchozí pozici

N5 G0 X-30 Y15 Z20 FMAX

N6 G0 Z2 FMAX M03 M08
N7 G1 Z0 F400

- *vlastní plošnění*

N8 G1 X30 F400
N9 G1 Y9 F400
N10 G1 X-30 F400
N11 G1 Y3 F400
N12 G1 X30 F400
N13 G1 Y-3 F400
N14 G1 X-30 F400
N15 G1 Y-9 F400
N16 G1 X30 F400
N17 G1 Y-15 F400
N18 G1 X-30 F400
N19 G0 Z2 FMAX

• **Obrys součásti**

- *vnější obvod součásti*

N20 G0 X25.45 Y-25 FMAX
N21 G1 Z-6 F400
N22 G1 X-17.45 Y-12.4 G41 F400
N23 G1 Y5.4 F400
N24 G1 X-13.45 F400
N25 G3 X-10.45 Y8.4 R3 F400
N26 G1 Y12.4 F400
N27...

- *osazení součásti*

• **Kapsa a zbytkové obrábění rohů**

- *vlastní kapsa, odstranění zbytkového materiálu v rozích*

• **Navrtání a vrtání**

- *navrtání, vrtání*

• **Konec programu**

...

N170 G0 X0 Y Z200
N171 M2

Poznámka: Celý popis programování v DIN/ISO kódu není třeba uvádět. Jedná se o elementární popisování obrysů, pro vrtání krátkých otvorů použito funkce G1 (žádný cyklus). Celý program není z důvodů své délky uveden ani v příloze.

Statistika použité metody

- programování zdlouhavé pokud by nebyly použity podprogramy
- nutnost manuálního nastavování poloměrové korekce nástroje
- čas pro programování včetně studie výrobního výkresu 53 minut

- simulovaný výrobní čas: 2 min 32 s
- celkový počet řádků programu 171

3.2.2 Popisný dialog řídicího systému Heidenhain

Frézování této součásti je pomocí popisného dialogu realizovatelné. V postupu programování bylo využito cyklů a softkláves pro popis obrysu součásti. Algoritmus programování lze shrnout:

- **Určení nulového bodu obrobku a jeho upínání**

Nulový bod obrobku byl umístěn stejně jako u předchozí metody programování, v osách X,Y do osy válce polotovaru a v ose Z na pomyslný povrch součásti (obr. 3.x), tj. při najetí obrobku a dotyku sondou na nejvyšší bod bude určen vztažný bod $Z = + 0,5$ mm. Tento přídavek je pro přerovnání čela obrobku po dělení pásovou pilou. Upínání je řešeno pomocí universálního sklíčidla připevněného na stůl stroje.

- **Určení nástrojů**

Nástroje včetně řezných podmínek použity z předchozí metody tak, aby bylo srovnání metod objektivní. Nástroje určeny dle tabulky 3.1, včetně jejich řezných podmínek určených dle katalogu firmy WNT.

- **Vlastní programování**

- hlavička programu

0 BEGIN PGM DESKA2 MM

- definice polotovaru

1 BLK FORM 0.1 X-22.5 Y-22.5 Z-10

2 BLK FORM 0.2 X+22.5 Y+22.5 Z+0.5

- vyvolání nástroje

3 TOOL CALL 1 S1400

4 ;FREZA 20

- plošnění polotovaru – najetí na výchozí bod, vyvolání cyklu 230

5 L X-30 Y-22,5 Z+20 FMAX M03 M08

6 L Z+2

7 CYCL DEF 230 ŘÁDKOVÁNÍ

Q225=-22.5 ;BOD STARTU 1. OSY

Q226=-15 ;BOD STARTU 2. OSY

Q227=0;BOD STARTU 3. OSY

Q218=45 ;1. DÉLKA STRANY

Q219=30 ;2. DÉLKA STRANY

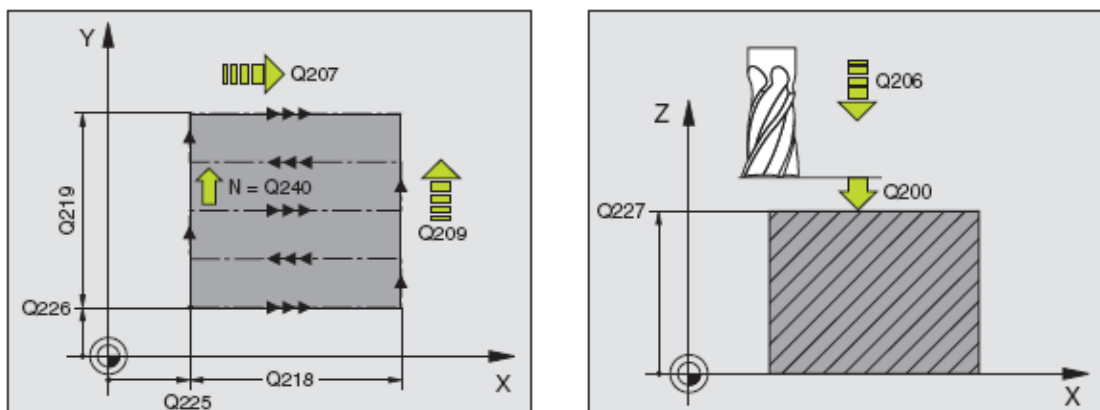
Q240=5 ;POČET ŘEZŮ

Q206=300 ;POSUV PŘÍSUVU DO HL.

Q207=500 ;POSUV FRÉZOVÁNÍ

Q209=500 ;PŘÍČNÝ POSUV

Q200=2 ;BEZPEČ. VZDÁL.



Obr. 3.12. Cyklus 230 řádkování [2]

8 L Z+20 FMAX
 9 L Z+20 FMAX
 10 L X-27.45 Y-27.4 FMAX
 11 L Z+10 R0 FMAX
 12 L Z+2 R FMAX
 13 L Z-6 F500

- popis obrysu – vnější obvod – softklávesy pro popis obrysu

Přímka L (Line)



Pomocí softklávesy Line aktivujeme další řádek ve kterém je pohyb řízen po zadané přímce. Počáteční bod přímky je aktuální, na kterém se nachází nástroj. TNC vyzve k zadání dalších parametrů:

- koncový bod přímky (osa X,Y,Z)
- korekce rádiusu nástroje RL, RR nebo R0
- hodnota posuvu F
- popřípadě přídavná funkce M

Poznámka: Při stejné hodnotě posuvu u následujících řádků stačí zadat posuv pouze jednou a v následujících řádcích se posuv nemění do té doby než je změněn jiným zadáním. V případě souřadnic polohy X,Y,Z je to stejné.

Oblouk

Pohyb po kruhovém oblouku je možný třemi způsoby:

• Kruhová dráha CR s rádiusem




Aktivace klávesou počáteční bod oblouku je aktuální pozice nástroje. TNC vyzve k zadání těchto parametrů:


- koncový bod oblouku (osa X,Y)
- poloměr zadaného oblouku R
- smysl otáčení DR znaménko označuje pohyb ve směru nebo protisměru hodinových ručiček
- hodnota posuvu F

- popřípadě přídavná funkce M

Příklad: 102 CR X10 Y 30 R+5 DR+

• **Střed kruhu/pól a Kruhová dráha kolem středu/pólu**

Aktivace klávesou  zadávají se pouze souřadnice středu kruhu.


Následná aktivace kruhové dráhy kolem středu , TNC vyžádá následující parametry:

- koncový bod oblouku (osa X,Y)
- smysl otáčení DR znaménko označuje pohyb ve směru nebo protisměru hodinových ručiček
- korekce nástroje R

Příklad: 152 CC X-10 Y+10

153 C X+10 Y+10 DR+ R

• **Kruhová dráha s tangenciálním napojením**

Aktivace klávesou  počáteční bod oblouku je aktuální pozice nástroje. TNC vyzve k zadání těchto parametrů:

- koncový bod oblouku (osa X,Y)
- hodnota posuvu F
- popřípadě přídavná funkce M

Je třeba aby následující řádek obsahoval další pohyb, tak aby bylo možné tangenciálně napojit oblouk

Příklad: 132 L X+25 Y+30

133 CT X+45 Y+20

134 L Y+0

V případě součásti 2 zvolena možnost středu kruhu a kruhové dráhy kolem středu:

14 L X-17.45 RL F250
 15 L Y+5.4
 16 CC X-20.10 Y15.05
 17 C X-10.45 Y+12.4 DR+ R
 18 L X+17.45
 19 L Y-5.4
 20 CC X20.10 Y-15.05
 21 C X+10.45 Y-12.4 DR+ R
 22 L X-32.45
 23 L Y-22.4 R0
 24 L Z+10 R FMAX

- popis obrysu – osazení – softklávesy pro popis obrysu

25 L X-17.5 Y-27.5 FMAX

26 L Z+2 R

28 L Z-1.5 F500
29 L X-7.5 RL F250
30 L Y+7.5
31 L X+7.5
32 L Y-7.5
33 L X-27.5
34 L Y-17.5 R0
35 L Z+10 R FMAX

- výměna nástroje

36 L Z+200 R FMAX
37 TOOL CALL 2 S6000
38 ;FREZA 3

- nájezd na výchozí pozici – zbytkový materiál, rohy

39 L X-19.45 Y+6.9 FMAX
40 L Z+10 R0 M03
41 L Z-3.6 R M08

- vyvolání podprogramu LBL1 (podprogramy na konci programu)

42 CALL LBL1
43 L Z+10 FMAX
44 L X-19.45 Y+6.9
45 L Z-6
46 CALL LBL1
47 L Z+10 FMAX

- nájezd na druhý oblouk a vyvolání podprogramu LBL2

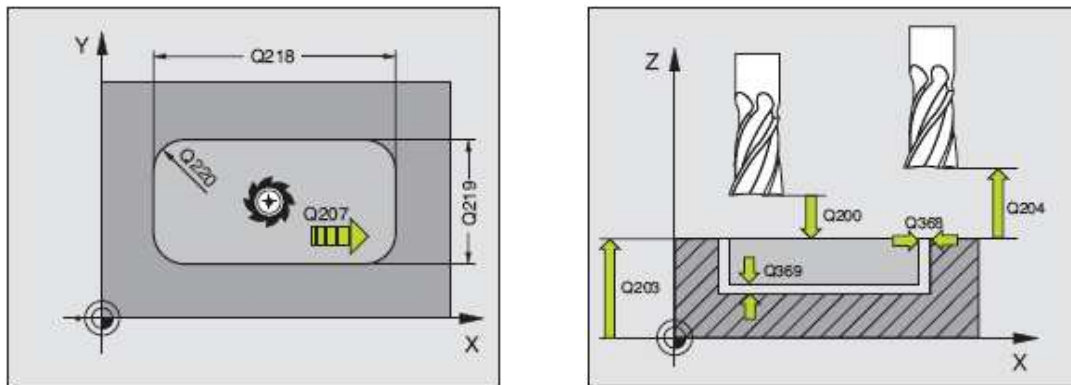
48 L X+19.45 Y-6.9 R FMAX
49 L Z-3.6 R
50 CALL LBL 2
51 L Z+10 FMAX
52 L X+19.45 Y-6.9
53 L Z-6
54 CALL LBL 2
55 L Z+10 FMAX

- nájezd na výchozí bod kapsy – vyvolání cyklu 251 pravoúhlá kapsa

56 L X+0 Y0
57 CYCL DEF 251 PRAVOUHĽA KAPSA
Q215=0 ;ROZSAH OBRÁBĚNÍ
Q218=12.1 ;1. DÉLKA STRANY
Q219=12.1 ;2. DÉLKA STRANY
Q220=1.5 ;RÁDIUS ROHU
Q368=0 ;PŘÍDAVEK PRO STRANU
Q224=+0 ;POLOHA NATOČENÍ
Q367=0 ;POLOHA KAPSY
Q207=530 ;POSUV FRÉZOVÁNÍ
Q351=+1 ;DRUH FRÉZOVÁNÍ

Q201=-1.5 ;HLOUBKA
 Q202=0.75 ;HLOUBKA PŘÍSUUVU
 Q369=0 ;PŘÍDAVEK NA DNO
 Q206=100 ;POSUV PŘÍSUUVU DO HL.
 Q338=1.5 ;PŘÍSUUV OBR. NAČISTO
 Q200=2 ;BEZPČ. VZDÁL.
 Q203=+0 ;SOUŘADNICE POVRCHU
 Q204=10 ;2. BEZP. VZDÁL.
 Q370=1.3 ;PŘEKRÝVÁNÍ DRAH
 Q366=0 ;ZANOŘOVÁNÍ
 Q385=530 ;POSUV OBRÁBĚNÍ NAČISTO

Poznámka: Q parametry znázorněny na obr. 3.13. Chybějící znázorněné parametry jsou uvedeny v příručce uživatele popisného dialogu Heidenhain [2].



Obr. 3.13. Cyklus 251 pravouhlá kapsa [2]

- výměna nástroje

58 L Z+200 R FMAX
 59 TOOL CALL 3 S1000
 60 ;navrtavak 8

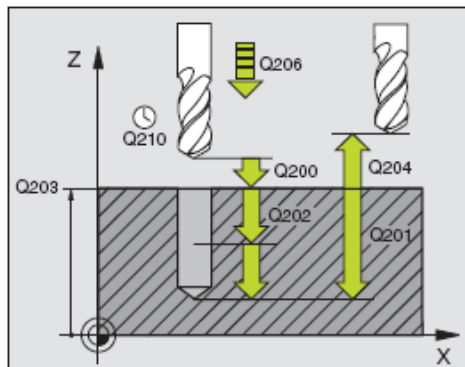
- vystředění a zahloubení otvorů (cyklus 200 vrtání)

61 CYCL DEF 200 VRTANI
 Q200=2 ;BEZPČ. VZDÁL.
 Q201=-2.2 ;HLOUBKA
 Q206=20 ;POSUV PŘÍSUUVU DO HL.
 Q202=2.2 ;HLOUBKA PŘÍSUUVU
 Q210=0 ;ČAS. PRODLEVA NAHOŘE
 Q203=+0 ;SOUŘADNICE POVRCHU
 Q204=10 ;2. BEZP. VZDÁL.
 Q211=0.1 ;ČAS. PRODLEVA DOLE
 62 L X-14.1 Y-9 Z+200 R FMAX M03 M08
 63 CYCL CALL
 64 L X+14.1 Y+9 R F MAX M99
 65 L Z+10 FMAX

- výměna nástroje

66 L Z+200 R FMAX

67 TOOL CALL 4 S4200
68 ;VRTAK 2,2

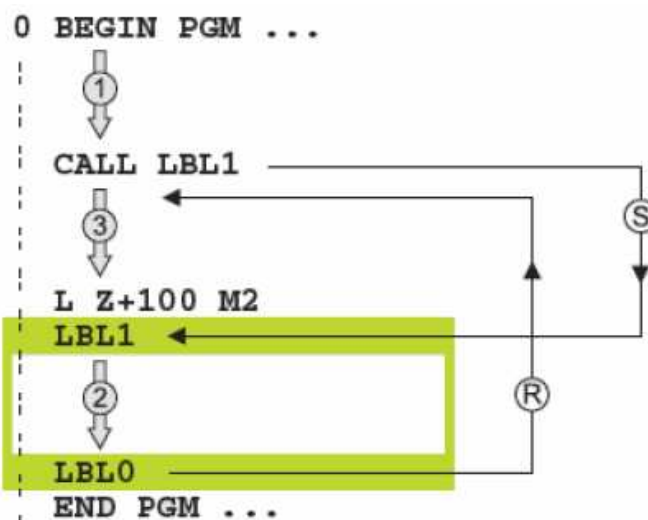


Obr. 3.14. Cyklus 200 vrtání [2]

- vrtání otvorů (cyklus 200 vrtání)

69 CYCL DEF 200 VRTANI
Q200=2 ;BEZPČ. VZDÁL.
Q201=-6 ;HLOUBKA
Q206=35 ;POSUV PŘÍSUUVU DO HL.
Q202=3 ;HLOUBKA PŘÍSUUVU
Q210=0 ;ČAS. PRODLEVA NAHOŘE
Q203=+0 ;SOUŘADNICE POVRCHU
Q204=10 ;2. BEZP. VZDÁL.
Q211=0.1 ;ČAS. PRODLEVA DOLE
70 L X-14.1 Y-9 Z+200 R FMAX M03 M08
71 CYCL CALL
72 L X+14.1 Y+9 FMAX M99
73 L Z+200
74 L X+0 Y+0
75 M2

- definice podprogramů



Obr. 3.15. Struktura podprogramu [2]

76 LBL1
77 L Y+5.4 RL
78 L X-13.45
79 CC X-13.450 Y8.400
80 C X-10.45 Y+8.4 DR+ R
81 L Y+14.4
82 L X-11.95 R0
83 LBL0
84 LBL2
85 L Y-5.4 RL
86 L X+13.45
87 CC X13.450 Y-8.400
88 C X+10.45 Y-8.4 DR+ R
89 L Y-14.4
90 L X+11.95 R0
91 LBL0

- koncová hlavička programu

92 END PGM DESKA2 MM

Statistika použité metody

- čas pro přípravy a programování: 28 min
- výrobní čas: 2 minuty 14 sekund
- celkový počet řádků programu 92
- možnost využití cyklů a popisu obrysu

3.2.3 CAD/CAM programování

Frézování této součásti je pomocí CAD/CAM softwaru SolidCAM realizovatelné. Algoritmus programování lze shrnout:

• Vytvoření 3D modelu

Před vlastním obráběním v CAD/CAM systému je třeba nejdříve vytvořit 3D model součásti dle výrobního výkresu. Model byl vytvořen pomocí CAD systému SolidWorks. Čas potřebný k prostudování výrobního výkresu a vlastní modelování součásti: 5 min 30 s.

• Založení CAM dílu

Padací roletové menu SolidCAM, záložka „Nový“. Definice nulového bodu pomocí ručně zadané skicy. Nulový bod stejně jako upínání provedeno jako u předchozích metod (*obr. 3.11*). Definice polotovaru a 3D modelu, tolerance polygonu modelu určena na 0,0001 mm. (pozn.: Pro 2,5D obrábění bez využití 3D operací není tolerance polygonu tolik směrodatná. Jen v případě, že bychom obráběly obrys tvaru spline. Lineární úseky v rovině X,Y jsou generovány jako lineární pohyb - L-Line a kruhové oblouky jako C s definicí CC – centre circle).

- **Určení nástrojů**

Nástroje jsou shodné s předchozími metodami dle tabulky 3.1 včetně jejich řezných podmínek určených dle katalogu firmy WNT.

- **Plošnění polotovaru, hrubování vnějšího tvaru a osazení**

Všechny operace provedeny nástrojem č. 1. Pro plošnění byla zadaná strategie „kapsa“ záložka „čelní obrábění“ Parametry této operace:

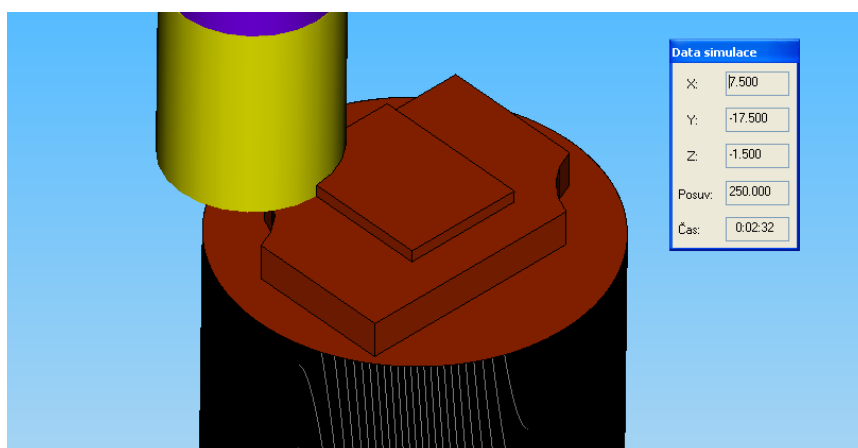
- přídavek na plochu 0 mm
- axiální krok 0,5 mm
- překrytí nástroje 60%
- nástroj vč. řezných podmínek převzaty z tabulky 3.1
- přejezd materiálu o poloměr nástroje
- strategie Cik - Cak
- směrový úhel 0°

Projetí vnějšího obrysu součásti. Použitá strategie „kontura“, vybrán vnější obrys součásti. Parametry této operace:

- přídavek na bok 0 mm
- axiální krok 6 mm
- nástroj vč. řezných podmínek převzaty z tabulky 3.1
- nájezd a odjezd z obrysu po tečně 15 mm

Osazení součásti. Použitá strategie „kontura“, vybrán obrys výstupku součásti. Parametry této operace:

- přídavek na bok 0 mm
- axiální krok 1,5 mm
- nástroj vč. řezných podmínek převzaty z tabulky 3.1
- nájezd a odjezd z obrysu po tečně 10 mm



Obr. 3.16 Hrubování součást 2

- **Dokončení obvodu a frézování kapsy**

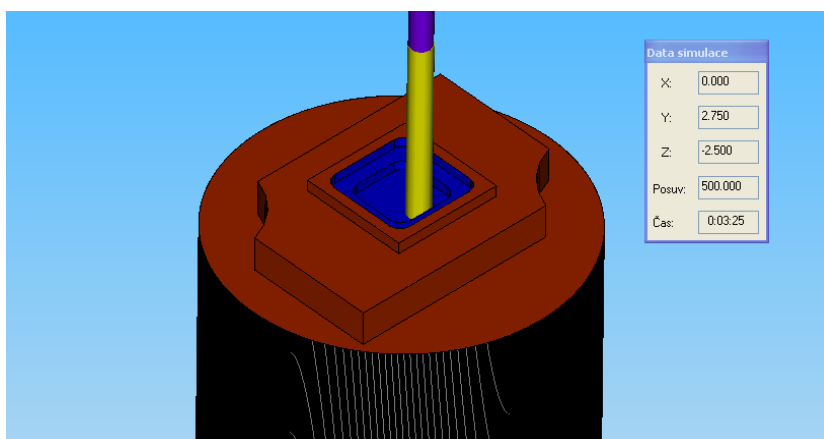
Po obrobení obvodu součásti nástrojem č. 1 v rozích zbytkový materiál, ten bylo nutné odstranit nástrojem menšího průměru. Pro dokončení rohů a frézování kapsy byla zvolena fréza průměru 3 mm (č. 2). Pro dokončení rohů zvolena strategie „kontura“. Parametry této operace:

- přídavek na bok 0 mm

- axiální krok 1,5 mm
- nástroj vč. řezných podmínek převzaty z tabulky 3.1
- nájezd a odjezd z obrysu po tečně 2 mm

Pro obrobení kapsy byla zvolena strategie „kapsa“ záložka „kontura“ (krok ofsetem podél kontury kapsy). Parametry této operace:

- axiální krok 1,25 mm
- nástroj vč. řezných podmínek převzaty z tabulky 3.1
- nájezd zvolen zavrtáním po šroubovici o poloměru R 1,5 mm úhel klesání 10°
- odjezd kolmo 2 mm



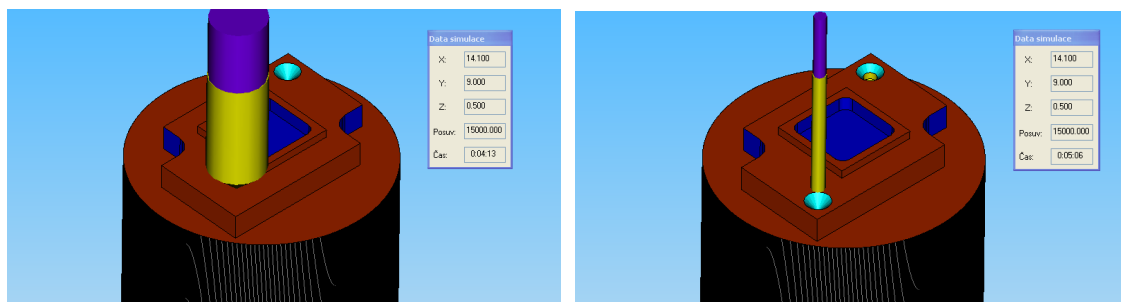
Obr. 3.17 Kapsa a dokončení rohů součást 2

• Navrtání a vrtání otvorů

Navrtání zahloubených otvorů bylo realizováno tak, že navrtávák jehož vrcholový úhel je 90° byl zapuštěn do materiálu tak, že zároveň během navrtání tyto otvory zahloubily. Pro navrtání byla zvolena strategie „vrtání“ Navrtání proběhlo najednou a pro tuto operaci stačilo nastavit pouze hloubku.

Pro vrtací operaci byla zvolena strategie „vrtání“. Výběr otvorů v Solid-CAM je velmi jednoduchý, pokud díra tvoří geometricky uzavřený válec popřípadě je definována jako kružnice nebo bod, stačí je označit. Popřípadě je zde možný výběr například třemi body a podobně. Parametry této operace:

- hloubka vrtání 5,5 mm
- nastavení přerušení třísky z výjezdem 3 mm
- nástroj vč. řezných podmínek převzaty z tabulky 3.1

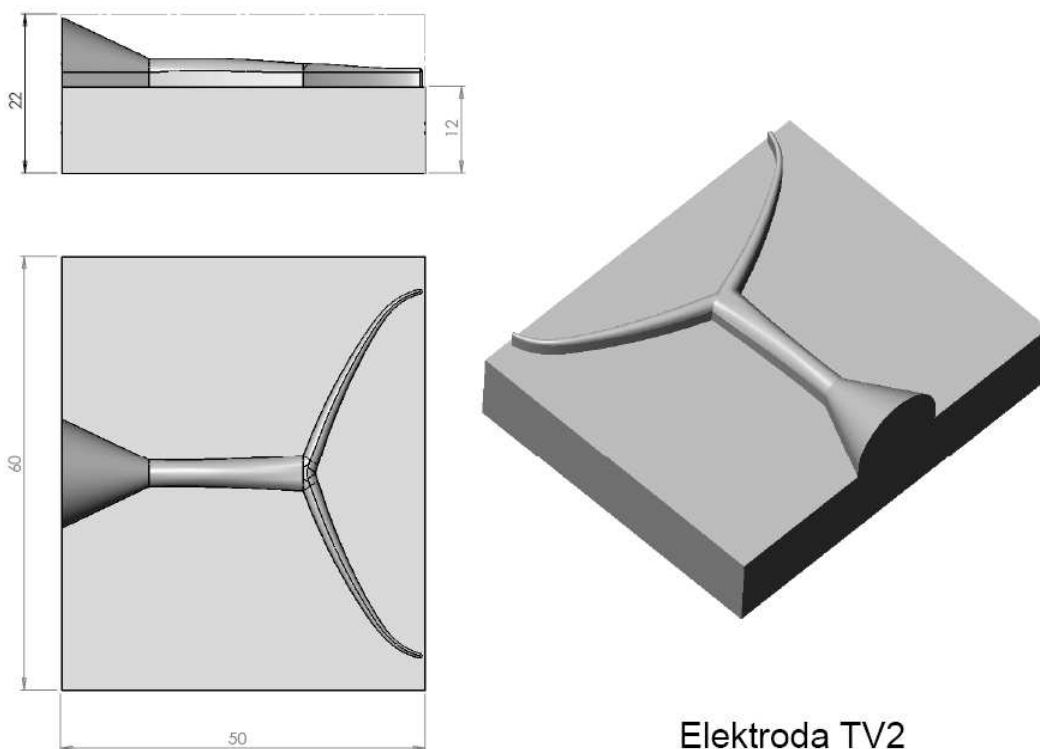


Obr. 3.18 vrtání součást 2

Statistika použité metody

- nutnost tvorby 3D modelu i pro součást elementárních tvarů
- čas pro přípravy, modelování a programování: 45 min
- výrobní čas: 3 minuty 15 sekund
- zavrtání při obrábění kapsy po spirále
- celkový počet řádků programu 462 (nájezd po spirále – bez tohoto nájezdu je počet řádků 183)
- tato metoda byla realizována autorem práce ve firmě STM na stroji MCV 32 s řídicím systémem Heidenhain 407. Obrobení proběhlo bez problémů, skutečný výrobní čas byl shodný se simulovaným.

3.3 Součást 3

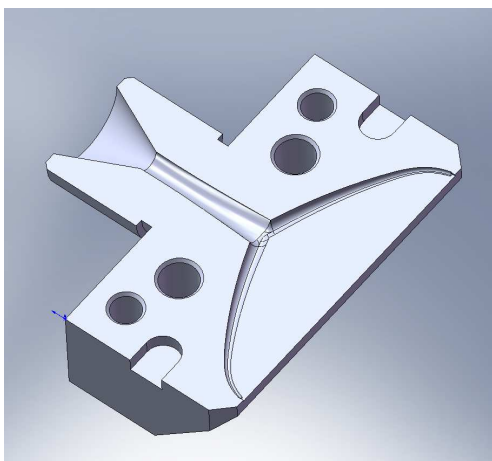


Elektroda TV2

Obr. 3.19 Součást 3 – elektroda TV2

Poslední ze zvolených součástí je grafitová elektroda pro elektroerozivní obrábění poloviny dutiny trysky (obr. 3.20) pro nástřik epoxidopolyesterovými povlaků na povrchy tlakových lahví. Jak bylo uvedeno, materiál pro výrobu této elektrody je grafit, který je velmi křehký a bylo nutné dodržovat určitý postup obrábění tak, aby nedošlo k odlomení kusu elektrody. Elektrodu je třeba vyhrubovat a dokončit tak, aby její povrch byl co nejhladší. Dutina trysky je po elektroerozivním obrábění následně ještě leštěna. Pro elektroerozivní obrábění plochy mezi kanálky se používá jednoduchá plochá elektroda.

Počet kusů:	6
Materiál:	grafit EDM 200
Vstupní data:	3D model ve formátu .IGS



Obr. 3.20 Polovina trysky

3.3.1 DIN/ISO kód

Programování pomocí ručního psaní programu v DIN/ISO kódu je nerealizovatelné. Vstupními daty pro výrobu byl pouze 3D model, bez okótovaného výrobního výkresu, bez kterého není možné programovat. Navíc tvar elektrody je složený z obecných ploch, které jsou matematicky těžko definovatelné. Tato metoda programování je pro tuto součást nevhodná a nepoužitelná.

Statistika použité metody

Tato metoda je pro danou součást za zadaných podmínek nepoužitelná.

3.3.2 Popisný dialog řídicího systému Heidenhain

Programování pomocí popisného dialogu řídicího systému Heidenhain iTNC 530 je nerealizovatelné. Vstupními daty pro výrobu byl pouze 3D model, bez okótovaného výrobního výkresu, bez kterého není možné programovat. Navíc tvar elektrody je složený z obecných ploch, které jsou matematicky těžko definovatelné. Tato metoda programování je pro tuto součást nevhodná a nepoužitelná.

Statistika použité metody

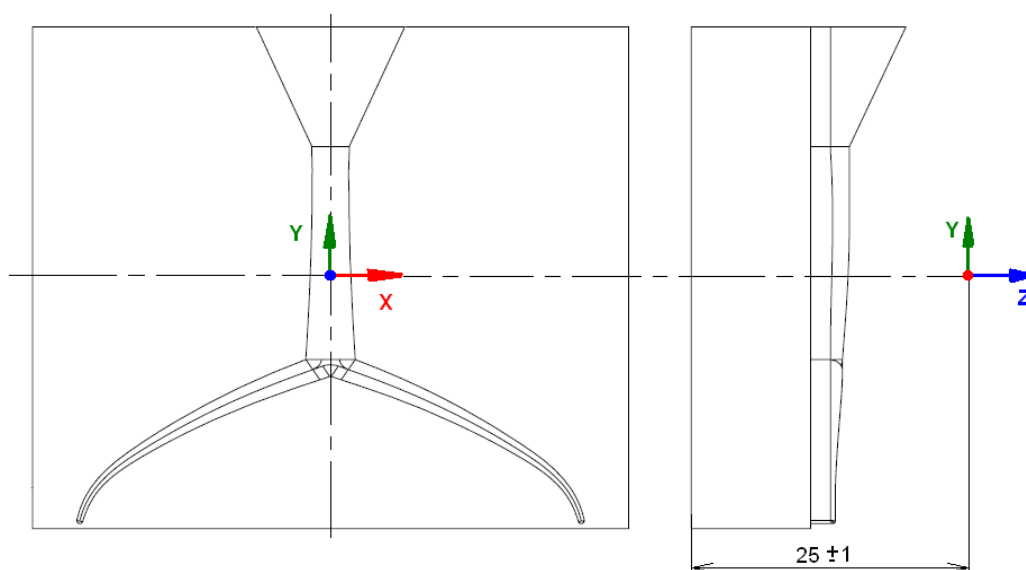
Tato metoda je pro danou součást za zadaných podmínek nepoužitelná.

3.3.3 CAD/CAM programování

Programování s CAD/CAM podporou je pro tuto součást realizovatelné, vstupními daty je 3D model ve formátu .IGS, který je možné naimportovat do systému SolidWorks. Algoritmus programování v systému SolidCAM lze shrnout do následujících bodů:

- **Import 3D modelu do systému SolidWorks**

Modely s příponou .IGS jsou v systému SolidWorks podporovány. S načtením modelu nebyl žádný problém.



Obr. 3.21 Nulový bod součást 3

• Založení CAM dílu

Padací roletové menu SolidCAM, záložka „Nový“. Definice nulového bodu pomocí ručně zadané skicy. Upínání probíhalo pomocí speciálního držáku, kterým jsou elektrody upevněny ve stroji pro elektroerozivní obrábění. Každá elektroda má ještě přesný základový dílec, který se do tohoto držáku upíná pomocí rychloupínací páky. Držák byl upevněn na stůl upínkami a výměna kusů probíhala pouze pomocí rychloupínací páky držáku. Nulový bod v osách X, Y byl volen na střed kruhového držáku elektrod a v ose Z 150 mm nad čelem držáku, což odpovídalo nejvyššímu bodu na grafitovém polotovaru elektrody (obr. 3.21). Pro nejpřesnější obrobení byla volena tolerance polygonu 0,0001 mm.

• Určení nástrojů

Tabulka 3.2 Tabulka nástrojů součást 3

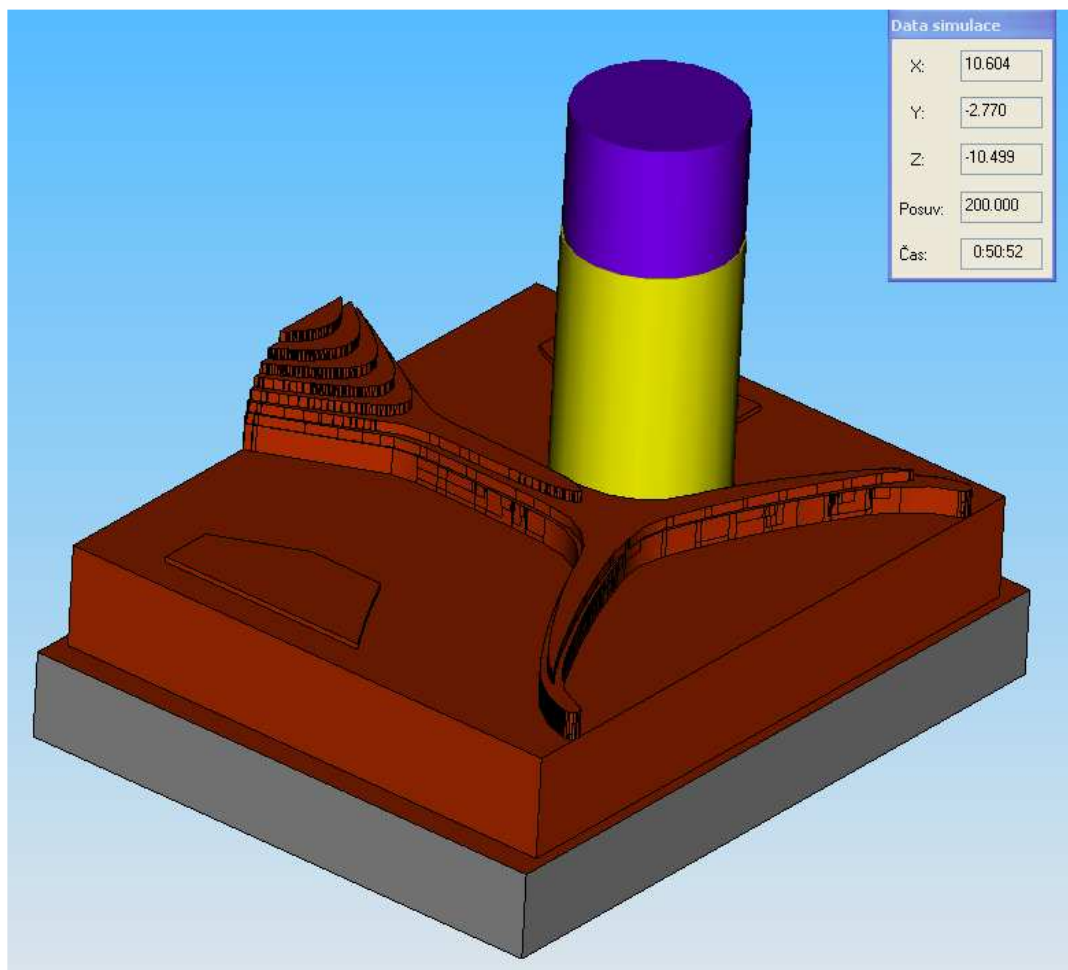
Č.n.	nástroj	Vrch. úhel	R rohu	poznámka
1	Fréza $\Phi 16$	180	0	Slinutý karbid
2	Fréza $\Phi 3$	180	0	Slinutý karbid
3	Fréza $\Phi 8$	-	4	Slinutý karbid
4	Fréza $\Phi 2,5$	-	1,25	Slinutý karbid

• Hrubování tvaru

Hrubování bylo provedeno nástrojem číslo 1 (tab. 3.2). Použitá strategie byla „3D model“ záložka „hrubování“, strategie „kontura“. Aplikováno bylo na celý model (všechny plochy) s těmito parametry. V Hrubovací operaci zahrnuto přerovnění obvodu elektrody pomocí operace z 2,5D obrábění - „kontura“. Spodní plocha elektrody obráběna nahotovo.

- přídavek na plochu 0,5 mm
- axiální krok 1 mm
- překrytí nástroje 60%

- řezné podmínky určeny po poradě s majitelem firmy STM dle zkušenosti pro nástroj č.1 (fréza $\Phi 16$) :
 $n = 3200 \text{ min}^{-1}$ $f = 200 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$



Obr. 3.22 Hrubování - součást 3

• Předdokončení tvaru

Předdokončení bylo provedeno pomocí operace „3D model“, záložky „předdokončení“, strategie „konstant Z“. Pro předdokončení byl použit nástroj č. 3. Součástí předdokončení je objezd vertikálních ploch obvodu elektrody (obvod). Toto bylo definováno pomocí operace „kontura“, pomocí nástroje č. 2. Zadanou kontrurou byla obvodová křivka tvaru elektrody.

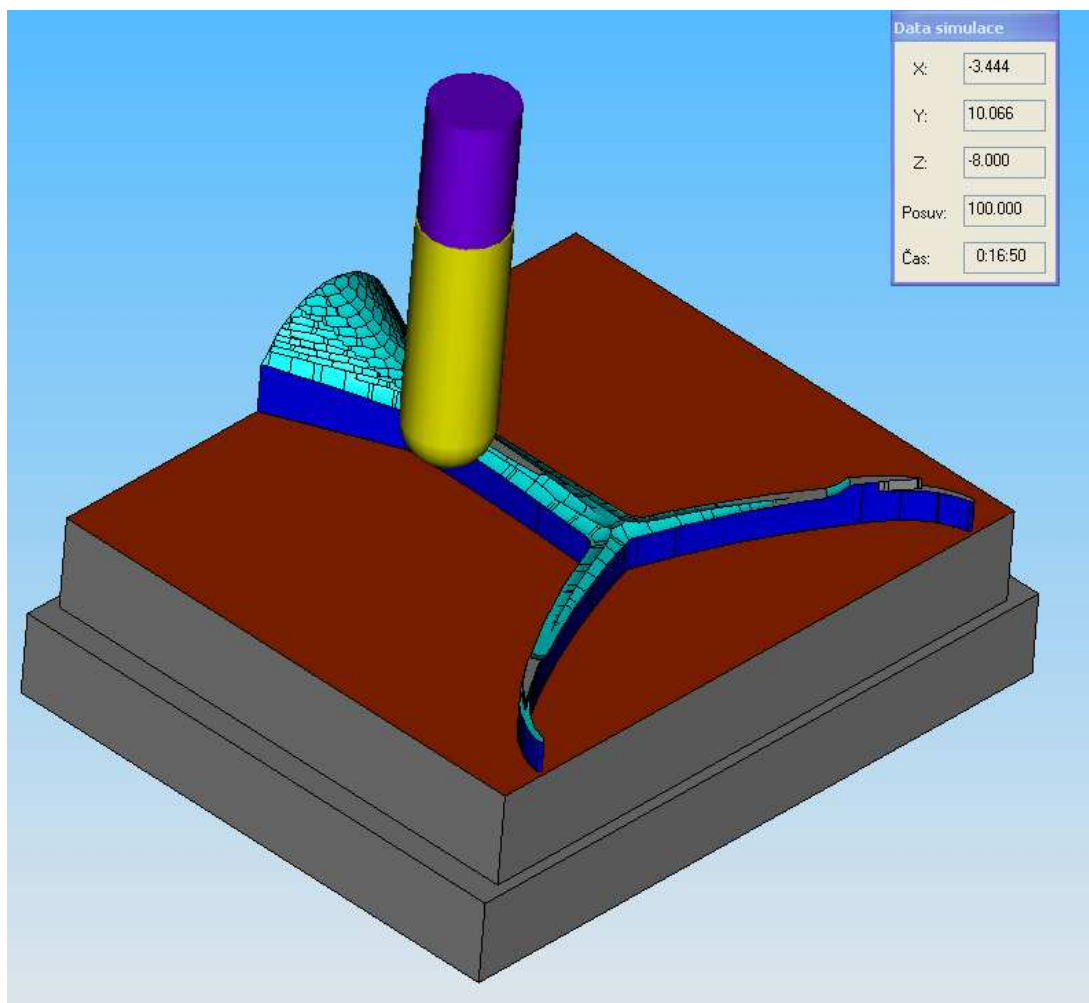
Dle zkušeností určeny řezné podmínky nástrojů:

Fréza $\Phi 3 \text{ R}0$: $n = 5500 \text{ min}^{-1}$ $f = 100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Fréza $\Phi 8 \text{ R}4$: $n = 5000 \text{ min}^{-1}$ $f = 100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Parametry pro nastavení 3D předdokončení:

- krok konstant Z 0,5 mm
- přídavek na plochu 0,2 mm
- vybrány pouze plochy tvořící tvar elektrody (na obr. 3.23 znázorněny při obrábění světle modrou barvou)
- nájezdy a výjezdy do tvaru po oblouku $R = 5 \text{ mm}$



Obr. 3.23 Předdokončení - součást 3

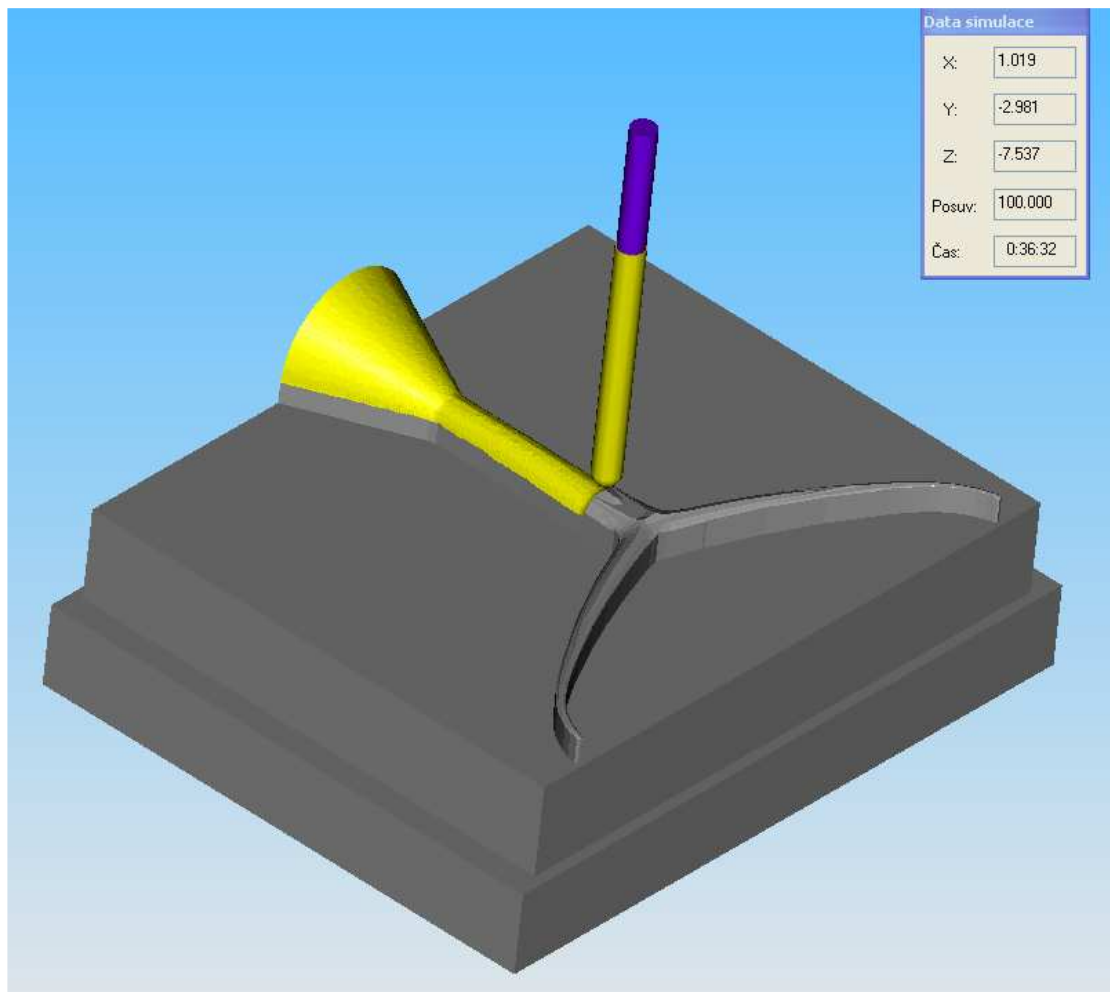
- **Dokončení tvaru**

Dokončení bylo provedeno pomocí operace „3D model“ záložka „dokončení“, operace „řádkování“. Řádkování bylo zvoleno příčně na tvar vtokového kanálu. Pro dokončování byl použit nástroj č. 4.

- řezné podmínky: $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ $f = 100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
(nástroj malého průměru zvolen tak, aby bylo možné obrobít celou plochu elektrody najednou jedním nástrojem)

Parametry pro nastavení 3D dokončení:

- krok řádkování 0,1 mm
- vybrány pouze plochy tvořící tvar elektrody (na obr.3. 24 znázorněny při obrábění žlutou barvou)



Obr. 3.24 Dokončení - součást 3

Statistika použité metody

- tato metoda je pro danou součást za zadaných podmínek jediná použitelná
- vzhledem ke křehkému materiálu musely být řezné podmínky upraveny tak, aby byl odběr třísky co nejmenší, aby nemohlo dojít k odlomení tvaru elektrody, to se podepsalo na nárůstu výrobního času, ten byl dle simulace: 2 hod 25 min
- tato metoda byla realizována autorem práce ve firmě STM a provedena na 3 - osé frézce MCV 32 s řídicím systémem Heidenhain TNC 407, reálný výrobní čas odpovídal simulovanému, povrch elektrody byl obroběn bez problémů a poškození tvaru
- délka programu 76771 řádků (z důvodu velkého počtu řádků je program uveden pouze v elektronické příloze).

4 POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ METOD PROGRAMOVÁNÍ

4.1 Součást 1

Tabulka 4.1 Orientační zhodnocení použitelných metod programování – součást 1

Metoda	ISO/DIN kód	Popisný dialog	CAD/CAM programování
realizovatelnost	ANO	ANO	ANO
Obtížnost programování (doba programování)	Snadná	Snadná (vlastní programování drážky shodné s DIN/ISO kódem)	Velmi obtížná
Vhodnost pro stroj FV 25 CNC A (plynulost pohybů, čtení pgm.)	Vhodná	Vhodná	Nevhodná
Délka programu	32 řádků	37 řádků	447 řádků
Nutnost vlastnit CAD/CAM software	NE	NE	ANO
Doba obrábění	1 min 58 s	1 min 46 s	2 min 16 s
Přípravný čas pro programování	46 min	46 min	2 hod 43 min
Kolizní stavy	NE	NE	ANO – problém nelze odstranit
Možnost pružně měnit tvar součásti	Ano (Q parametry)	Ano (Q parametry)	Ne (lze měnit dráhy – nutnost nového generování programu)
VHODNOST PRO DANOU SOUČÁST	Vhodná	Méně vhodná – (vlastní popisný dialog plně nevyužit.)	Nevhodná

Součást 1 byla zvolena z důvodu ukázky součásti, kdy je elementární operace, v tomto případě projetí jedné dráhy po kružnici, pro CAD/CAM systém velmi obtížně realizovatelná. A i v případě realizace se nepodařilo odstranit některé nedostatky obrábění. Programování pomocí popisného dialogu není také příliš vhodné, vlastní popisný dialog zde není využit a manuální zápis programu do stroje je obtížný. Pro tuto danou součást je nejvhodnější metodou programování ruční psaní DIN/ISO. Není třeba pořízení žádného CAD/CAM systému (za předpokladu, že žádný nevlastníme) a program je možné vytvořit na jakémkoli PC v textovém souboru. I pokud by byl počet vyráběných kusů vyšší – sériová výroba, metoda programování pomocí DIN/ISO kódu je pro danou operaci nejvýhodnější. V praxi byla však autorem práce realizována tato součást pomocí CAD/CAM systému.

4.2 Součást 2

Tabulka 4.2 Orientační zhodnocení použitelných metod programování – součást 2

Metoda	ISO/DIN kód	Popisný dialog	CAD/CAM programování
realizovatelnost	ANO	ANO	ANO
Obtížnost programování (doba programování)	Obtížná (nutnost popisu všech dílčích pohybů)	Snadná	Snadná
Vhodnost pro stroj FV 25 CNC A (plynulost pohybů, čtení pgm.)	Vhodná	Vhodná	Vhodná (zavrtání po spirále méně vhodné)
Délka programu	171 řádků	92 řádků	462 řádků (bez zavrtání po spirále 183 řádků)
Nutnost vlastnit CAD/CAM software	NE	NE	ANO
Doba obrábění	2 min 32 s	2 min 14 s	3 min 15 s
Přípravný čas pro programování	53 min	28 min	45 min
Kolizní stavy	NE	NE	NE
Možnost pružně měnit tvar součásti	NE	ANO (jen u cyklů)	Ne (lze měnit dráhy – nutnost nového generování programu)
VHODNOST PRO DANOU SOUČÁST	Méně hodná	Vhodná	Méně vhodná

Součást 2 je typickou součástí typu deska. Při porovnání metod bylo zjištěno, že neoptimálnější metoda pro tvorbu programu na výrobu této součásti je programování pomocí popisného dialogu řídicího systému Heidenhain iTNC 530. U součásti tohoto typu je možné efektivně využít popisu obrysu a cyklů nabízených popisným dialogem. Programování pomocí DIN/ISO kódu bylo zdlouhavé a nepřehledné – větší pravděpodobnost nechtěné chyby v programování. CAD/CAM programování je taktéž vhodné, avšak jen za předpokladu vlastnictví CAD/CAM systému. V praxi se ve firmě STM například pro všechny součásti používá k programování pouze CAD/CAM systém. Firma se zabývá kusovou výrobou a každý obrobek není takto elementární. Pokud by součást byla vyráběna sériově je pro ni vhodná metoda pomocí popisného dialogu stroje, tak aby nebyla nutnost pořizování CAD/CAM systému. Tato součást se vyrábí v několika modifikacích, které jsou od sebe odlišné jen v několika detailech, proto je zde parametrické programování popisného dialogu velmi vhodné.

4.3 Součást 3

Tabulka 4.3 Orientační zhodnocení použitelných metod programování – součást 3

Metoda	ISO/DIN kód	Popisný dialog	CAD/CAM programování
realizovatelnost	NE	NE	ANO
Obtížnost programování (doba programování)	-	-	Snadná
Vhodnost pro stroj FV 25 CNC A (plynulost pohybů, čtení pgm.)	-	-	Nepříliš vhodná – jediná použitelná
Délka programu	-	-	76771 řádků
Nutnost vlastnit CAD/CAM software	-	-	ANO
Doba obrábění	-	-	2 hod 25 min
Přípravný čas pro programování	-	-	58 min
Kolizní stavy	-	-	Ne
Možnost pružně měnit tvar součásti	-	-	Ne (lze měnit dráhy – nutnost nového generování programu)
VHODNOST PRO DANOU SOUČÁST	Nepoužitelná	Nepoužitelná	Vhodná

Tato součást je typickou, tvarově velmi složitou součástí, u které je zapotřebí využít CAD/CAM systém. Jako vstupní zadání této součásti byl pouze 3D model bez výrobního výkresu. Nebylo tedy možné plochy popsat pomocí jakékoli matematické rovnice. To znamená, že metoda DIN/ISO programování a popisný dialog stroje jsou pro tuto součást nepoužitelné. CAD/CAM software je v dnešní době nezbytný především pro výroby forem (na sklo, plasty nebo kovy), složitějších zápustek, lisovacích nástrojů a podobně. Tato součást byla typickou součástí vhodnou pro CAD/CAM programování.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývala možnostmi programování řídicího systému Heidenhain iTNC 530 instalovaném na stroji FV25 CNC A. V úvodní části byl proveden teoretický rozbor metod programování.

Druhá část práce se zabývala metodami programování aplikovaných na třech praktických, reálných příkladech řešených autorem práce ve firmě STM Stanislav Musil. Příklady byly voleny tak, aby vždy jeden byl vhodný pro jednu danou metodu programování. Závěrem byly tyto metody porovnány a zhodnocena jejich vhodnost pro zadané součásti.

Cílem této práce byl rozbor tří nejpoužívanějších metod programování a jejich vzájemné porovnání při aplikaci na vybrané obrobky a podpora výuky CNC programování na VUT FSI. Podařilo se dokázat, že je třeba přistupovat k programování individuálně a spojovat znalosti získané předchozím studiem k získání neoptimálnějších výsledků. Důležité je uvažovat o programování objektivně a nesnažit se využívat pouze nejmodernějších metod. Při realizaci programování daných obrobků bylo zjištěno těchto poznatků:

- nejmodernější metoda programování není vždy ta nejefektivnější
- každou součást je třeba řešit individuálně, protože neexistuje universální způsob programování
- při programování je mnohdy třeba obcházet logickou metodiku řešení, tak aby byl výsledek co neoptimálnější
- nutnost zahrnout všechny aspekty, které mohou ovlivnit způsob programování a především vhodnost pro aplikaci obráběním
- výběr metody i přes výsledky porovnání ovlivňuje znalost programátora určité dané metody
- při volbě metody je třeba brát na zřetel stávající podmínky na pracovišti - jeli k dispozici CAD/CAM systém, popřípadě dílenská nástavba
- pro kusovou výrobu složitějších dílců je vhodné vlastnit CAD/CAM systém
- nutnost zohlednit kinematiku stroje
- problematika v sobě zahrnuje velké množství aspektů z nichž některé závisí na zkušenostech a znalostech programátora
- některá zadání mohou být sporná a existuje více řešení daného problému

Všechny cíle práce se podařilo splnit, rozbor určil, která z daných metod je nejvhodnější pro konkrétní součást. Přesnější zhodnocení a to především z ekonomického hlediska a hlediska optimalizace by bylo uskutečněno až po konkrétním zadání.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s. r. o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6
2. HEIDENHAIN: *Příručka pro uživatele, Popisný dialog-Heidenhain iTNC 530*. 1. vyd. Německo: Traunreut, 2005. 652 s. ISBN 533 190-81-SW01.3.1
3. HEIDENHAIN: *Návod k obsluze Programovací pracoviště iTNC 530*. 1.vyd. Německo, Traunreut, 2005. 48 s.
4. HEIDENHAIN. *Heidenhain* [online] poslední úpravy 30.2.2009 [cit. 2009-14-02] dostupné z <<http://www.heidenhain.cz>>.
5. POLZER, A.; DVOŘÁK, J. *Internetový portál pro CNC a CAD/CAM technologie*. [online]. 2006. Dostupné z <<http://cadcam.fme.vutbr.cz>>.
6. ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Brno: BEN, 2006. 120 s. ISBN 80-7300-207-8
7. TOS OLOMOUC. *Katalog strojů* [online] poslední úpravy 20.1.2009 [cit. 2009-25-01] dostupné z <<http://www.tos-olomouc.cz>>.
8. WNT. *Toolingcenter*, Katalog nástrojů a příslušenství [online] poslední úpravy 15.4.2009 [cit. 2009-12-3] dostupné z <<http://www.toolingcenter.cz>>.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
vc	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
f	[mm.min ⁻¹]	minutový posuv
f _z	[mm]	posuv na zub
n	[min ⁻¹]	Otáčky vřetene
d	[mm]	Průměr nástroje
NC		číslicové řízení (Numerical Control)
CNC		počítačově číslicové řízení (Computer Numerical Control)
CAD		2D a 3D počítačové projektování (Computer Aided Design)
CAM		Počítačově řízené obrábění (Computer Aided Manufacturing)
TNC		Číslicové řízení Heidenhain (Numerical Control)
iTNC		Číslicové řízení Heidenhain (procesor Intel)
L		Označení Heidenhain pro lineární pohyb (Line)
C		Označení Heidenhain pro kruhový pohyb (circle)
CC		Označení Heidenhain pro střed kruhu (centre circle)

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 TNCremoNC – software pro přenášení programu
- Příloha 2 Výrobní výkres – součást 1
- Příloha 3 Výrobní výkres – součást 2
- Příloha 4 Orientační výkres – součást 3
- Příloha 5 CD obsahující některé kompletní NC programy a 3D modely

Příloha 1

The screenshot displays the DMU 50 - TNCremoNT software interface. At the top, there is a menu bar with 'Soubor', 'Nahled', 'Nastroje', and 'Napoveda'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main area is divided into two file explorer windows and a right-hand status panel.

E:\ACNC[*.*]

Nazev	Velikost	Atributy	Typ souboru	Datum
...				
HSR30.h	613	A	H-soubor	20.2.2009 18:28:23
HSR35.bak	1134	A	BAK-soubor	16.4.2009 11:24:31
HSR35.h	1133	A	H-soubor	23.3.2009 10:09:01

TNC:\Petr[*.*]

Nazev	Velikost	Atributy	Typ souboru	Datum
...				
99U.H	80	S	H-soubor	24.2.2009 11:02:04
GK-23-2.h	2024	EM	H-soubor	29.4.2009 15:18:22

System
iTNC530E

Status souboru
Volnych: 909 MByte
Celkem: 4
Maska: 4

Spojeni
Protokol: TCP/IP
IP adresa: 192.168.1.8
Prenosova rychlost: 10/100 MBit (Ethernet)

Autom. zjisteni bin-modu

= TNCremoPlus

aktivni DNC-spojeni

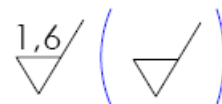
1

2

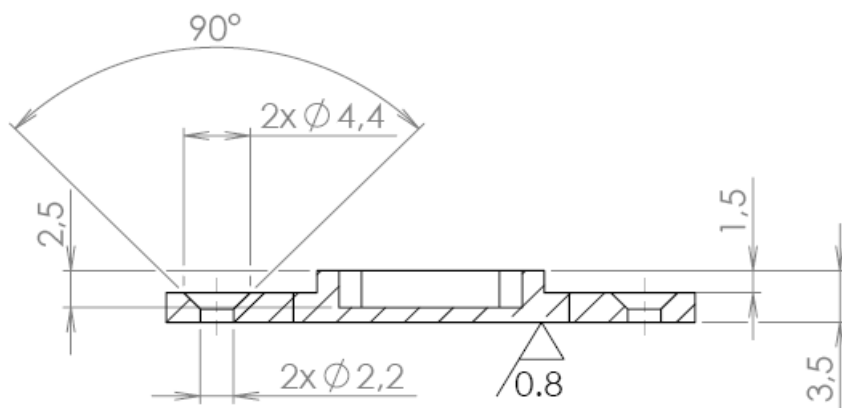
3

4

A



Příloha 2

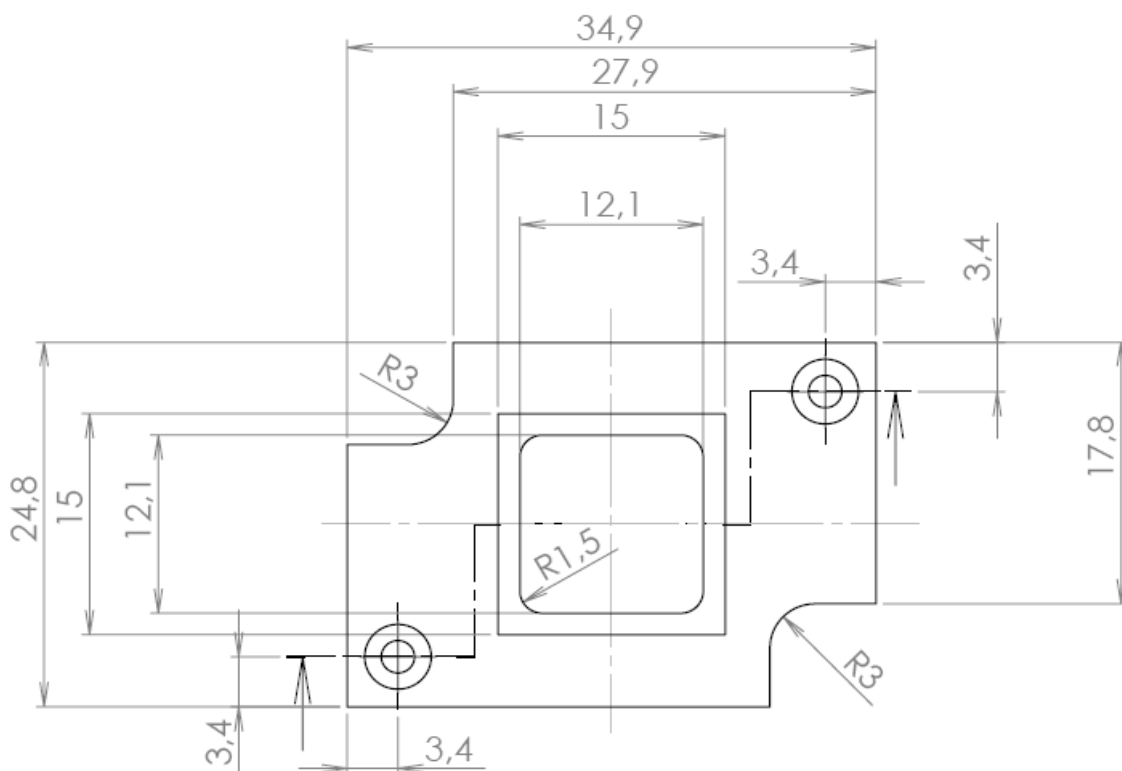


B

C

D

E



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	T.BENDA					
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A.						
				MATERIAL:		
					17 024	
				WEIGHT:		

TITLE:

DESKA

DWG NO.

302.78

A4

SCALE: 2:1

SHEET 1 OF 1

F

1

2

3

4

3,2/ ()

A

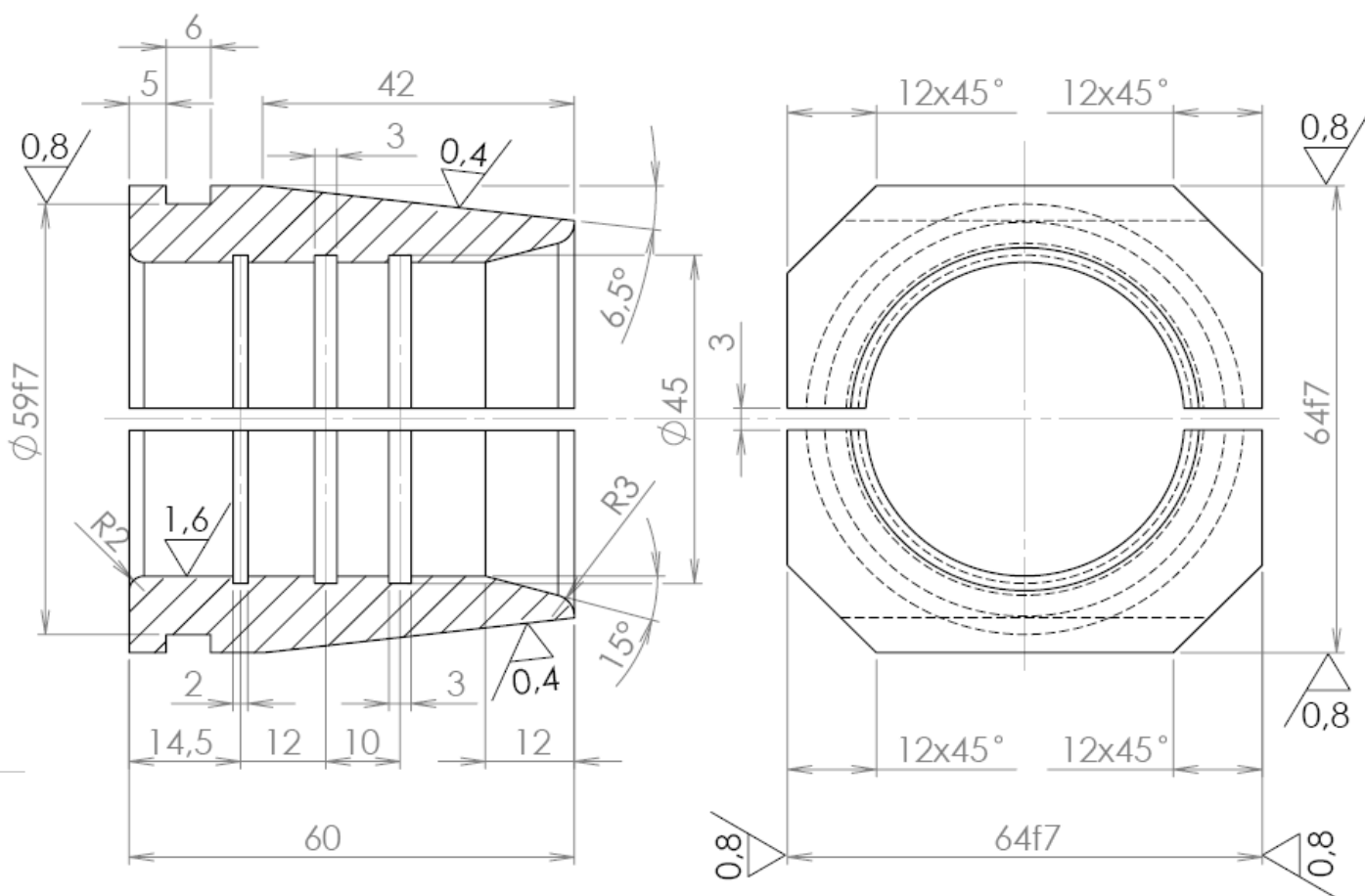
Příloha 3

B

C

D

E

KALIT 50 ± 2 HRC

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	T. BENDA				
CHK'D					
APPVD					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				14 220.8	
				WEIGHT:	

TITLE:

ČELIST

DWG NO.

01071

A4

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1

1

2

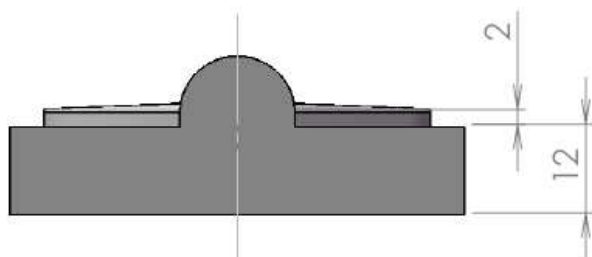
3

4

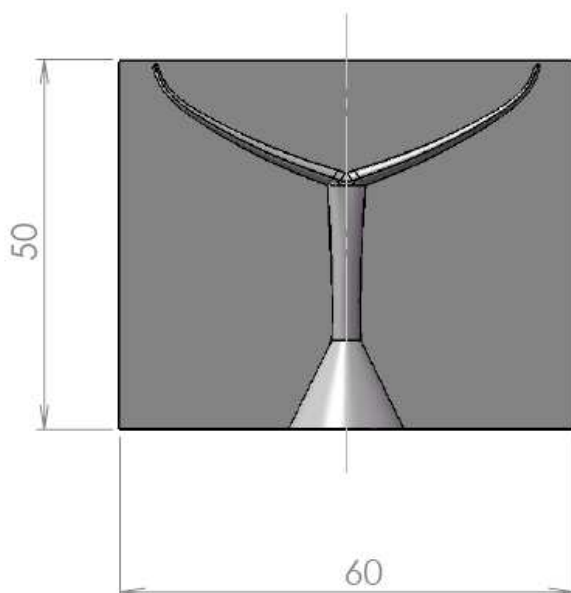
A

Příloha 4

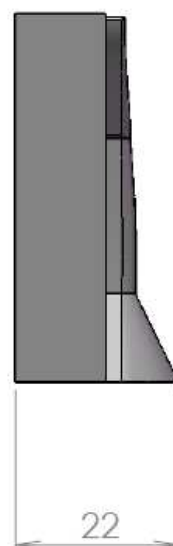
B



C



D



E

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	T.BENDA					
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A.						
				MATERIAL:		
				grafit EDM 200		
				WEIGHT:		

TITLE:

Elektroda TV2

DWG NO.

A4

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1

Příloha 5

Disk CD obsahující některé kompletní NC programy a 3D modely