

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na parametrické programování CNC strojů používaných dnes ve strojírenské praxi. První část diplomové práce obsahuje popis řídicího systému Sinumerik 810D a způsobům jeho ovládání. Další část práce je zaměřena na popis parametrického programování a příkladům využití v CNC programování. Závěrečná část práce obsahuje technickou dokumentaci, parametrické programy k těmto obráběným součástím a jejich verifikaci.

Klíčová slova

Parametrické programování, R – parametry, řídicí systém Sinumerik 810D

ABSTRACT

The diploma work is devoted to the parametric programming of CNC machines used in manufacturing industry today. The first part of the work describes the numerical controlling system Sinumerik 810D and methods of its handling. The second part deals with parametrical programming and some examples of its use. The final part includes technical documentation, parametrical programmes to the machined parts and their verification.

Key words

Parametric programming, R – parameters, numerical controlling system Sinumerik 810D

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VRBKA, Petr. *Parametrické programování v systému Sinumerik 810D: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 73 s., 12 příloh. Vedoucí práce Ing. Aleš Polzer.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Parametrické programování v systému Sinumerik 810D** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

11. 5. 2007

.....
Petr Vrbka

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Aleši Polzerovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
OBSAH	7
ÚVOD	8
1. PARAMETRICKÉ PROGRAMOVÁNÍ V SYSTÉMU SINUMERIK 810D	9
1.1 Popis obráběcího stroje SPN12 CNC.....	9
1.1.1 Technické údaje stroje	12
1.1.2 Vztažné body CNC stroje.....	12
1.1.3 Korekce nástrojů	14
1.1.4 Upínání obrobků.....	18
1.1.5 Nástrojové vybavení CNC soustružnických strojů	19
1.2 Popis ŘS Sinumerik 810D	20
1.2.1 Základní pojmy	20
1.2.2 Základní funkce	21
1.2.3 Podpůrné funkce – CYKLY	23
1.2.4 Tvorba NC programu	30
1.2.5 Tvorba a využití podprogramů	32
1.3 Parametrické programování a jeho využití	33
1.3.1 Tvorba parametrického NC programu.....	34
1.3.2 Parametry R	35
1.3.3 Nepodmíněné programové skoky	36
1.3.4 Podmíněné programové skoky	37
2. ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE PRO ZVOLENÉ SOUČÁSTI..	41
2.1 Součást Řemenice.....	42
2.2 Součást Šroub	48
2.3 Součást Pastorek.....	53
3. ZPRACOVÁNÍ A EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NC PROGRAMŮ	57
3.1 Zpracování a ověření NC programu součásti Řemenice	58
3.2 Zpracování a ověření NC programu součásti Šroub	61
3.3 Zpracování a ověření NC programu součásti Pastorek	63
ZÁVĚR.....	70
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	72
SEZNAM PŘÍLOH	73

ÚVOD

Aby mohlo být dosaženo požadovaných výsledků v obrábění, tzn. vyrábět s předepsanou kvalitou povrchu a dodržet přesný geometrický tvar a současně dodržet vysokou produkci obráběných součástí, je zapotřebí využívat moderní CNC (*Computer Numerical Control*) obráběcí stroje s řídicím systémem. Obráběcí stroje vybaveny řídicím systémem, dokáží efektivně vyrobit složité obrobky, které nebylo dříve možno vyrobit bez potřebného počtu jednoúčelových (speciálních) strojů nebo upínacích přípravků a někdy i zručnosti obsluhujícího pracovníka.

S vývojem obráběcích strojů, dochází i k vývoji řídicích systémů. V dnešní době nám řídicí systém umožňuje programovat různými způsoby např. pomocí ISO kódu nebo pomocí dialogových oken, které se spíše používá pro dílenské programování.

Řídicí systémy nám také umožňují vytvářet NC programy, tak aby NC program nebyl pouze jednoúčelový pro jeden konkrétní typ obrobku, ale abychom ho mohli využít například pro tvarově podobné součásti. Tento způsob programování označujeme jako parametrické programování, které se stále častěji aplikuje a využívá.

1. PARAMETRICKÉ PROGRAMOVÁNÍ V SYSTÉMU SINUMERIK 810D

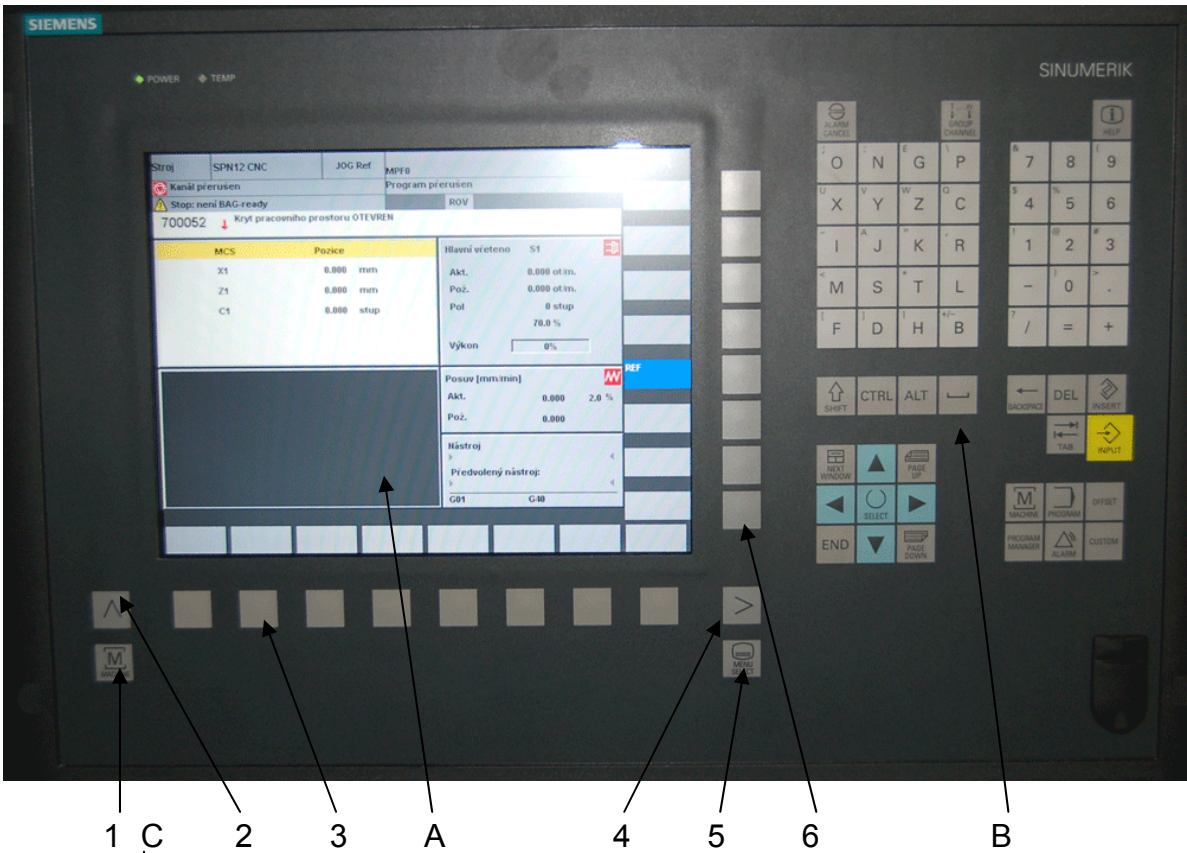
1.1 Popis obráběcího stroje SPN12 CNC

Soustružnický poloautomat SPN12 obr.1.1 od firmy Kovosvit n.p., Sezimovo Ústí byl firmou S.O.S. Difak spol. s r.o. se sídlem v Želeči u Tábora zmodernizován. Vzhledem k poměrně rychle postupujícímu vývoji a současným vysokým nárokům na obráběcí stroje se zachovala pouze kostra původního stroje. (2)



Obr.1.1 Soustružnický poloautomat SPN12 CNC

Řídicí systém Dapos S-3G byl nahrazen modernějším, veškeré kapaliny i pohony stroje vyměněny a nově zapojena elektroinstalace. Nynější poloautomatický soustruh SPN12 CNC s řídicím systémem (ŘS) Sinumerik 810D je vybaven obsluhovacím panelem OP 010 obr. 1.2 (2)



Obr. 1.2 Ovládací panel OP 010

Tab. 1.1 Popis hlavních částí ovládacího panelu OP 010 (2)

Označení oblastí dle obr. 1 -1:	Popis oblastí / význam tlačítka:
A	Displej
B	Alfanumerický blok, korekční / kurzorové klávesy
C	Ovládací panel stroje

Tab. 1.1 Popis hlavních částí ovládacího panelu OP 010 – pokračování (2)

Označení oblastí dle obr. 1 -1:	Popis oblastí / význam tlačítka:
1	Tlačítko oblasti stroje
5	Tlačítko návrat
3	Pruh horizontálních funkčních tlačítek
4	Tlačítko rozšíření menu
5	Tlačítko přepínání oblastí
6	Pruh vertikálních funkčních tlačítek

Stroj umožňuje plynulou změnu otáček a synchronizaci posunových pohonů. Souvislé řízení dráhy nástroje ve dvou souřadných osách a stálou polohovou zpětnou vazbou. Vysoká přesnost polohování je rovněž zajištěna použitím kuličkových šroubů s předepnutými kuličkovými maticemi.

Pro obrábění jsou k dispozici dva suporty. Horní suport se čtyřpolohovou nástrojovou hlavou je plně řízen systémem Sinumerik 810D v osách X a Z. Umožňuje např. výrobu válcových a kulových ploch, soustružení závitů a zápichů. Pohyby suportu jsou realizovány pomocí kuličkových šroubů. Dolní suport je řízen mechanicky s využitím zářezek, které určují např. délku zdvihu a zpomalení. Dolní suport lze pootočit o $\pm 45^\circ$ a umožňuje provádět pravoúhlé, kosodélníkové i zapichovací cykly. Tento suport je určen především pro hrubovací operace a jeho pohyby jsou vyvozeny působením hydraulické kapaliny.

ŘS stroje – řízení je realizováno pomocí počítačového programu. Ten je možno nainstalovat např. na PC s operačním systémem Windows XP. Tímto způsobem je umožněno programovat i simulovat obrábění součástí mimo výrobní stroj. Připravený program lze přenášet pomocí diskety, pevného disku, flash disku či propojovacím kabelem mezi počítači. Je zde možnost i posílání NC programů přes internet. (2)

ŘS Sinumerik 810D komunikuje s uživatelem mnoha jazyky např. Angličtina, Němčina, ale také Čeština. (3)

V průběhu používání je možná změna jazyků kdykoliv a je platná pro celý systém. Vztahuje se tedy na komunikaci s ŘS i na nápovědy a hlášení alarmů.

1.1.1 Technické údaje stroje

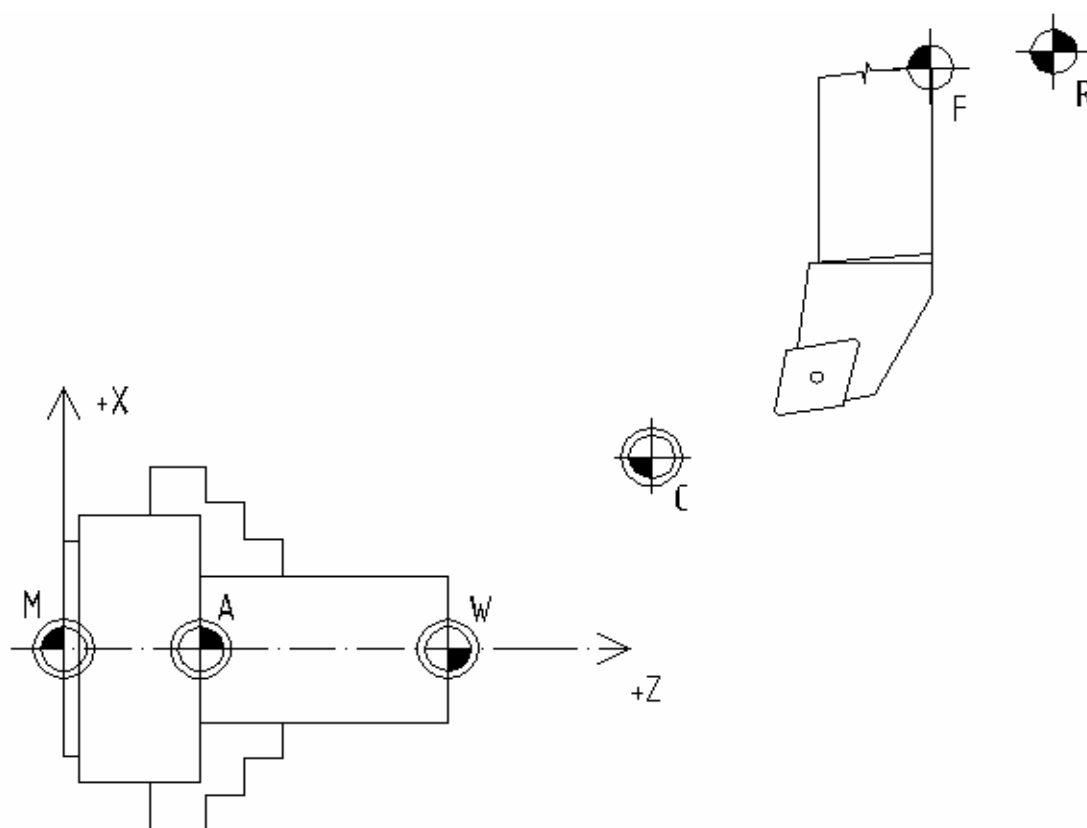
Technické údaje stroje stanovuje jeho výrobce, v našem případě je to firma S.O.S. Difak spol. s r. o., která stroj zmodernizovala. (2)

Tab. 1.2 Parametry stroje SPN12 CNC (2)

Obrobek	
Maximální hmotnost obrobku	44,5 kg
Maximální soustružená délka	500 mm
Maximální soustružený průměr	120 (140) mm
Maximální oběžný průměr nad ložem	280 mm
Vřeteník	
Rozsah otáček vřetene	0 ÷ 3500 min ⁻¹
Vrtání vřetene	48 mm
Kužel ve vřetenu	Morse 6
Přední konec vřetene	ČSN 20 1011
Výkon motoru	9/11 kW
Horní suport	
Rozsah posuvů	0 ÷ 10 m.min ⁻¹
Rychloposuv v podélném i příčném směru	10 m.min ⁻¹
Maximální průřez třísky	4 mm ²
(při $v_c=70\text{m.min}^{-1}$ a materiálu obrobku $R_m=600\text{ Mpa}$)	
Maximální příčný zdvih	70 mm
Maximální podélný zdvih	55 mm
Koník	
Průměr pinoly	100 mm
Zdvih pinoly	125 mm
Přítlačná síla hrotu	3000 ÷ 12000 N
Kužel pro hrot	Morse 4

1.1.2 Vztažné body CNC stroje

Jsou to body, které určují vzájemnou polohu jednotlivých částí soustavy S-N-O obr. 1.3. Dělí se do dvou skupin, a to na vztažné body souřadného systému, které jsou stanoveny výrobcem a jejich polohu nelze měnit a na body jejichž polohu volí programátor dle obráběné součásti. (2)



Obr. 1.3 Poloha vztažných bodů CNC stroje

Machine: 840D_Turn Auto: MPF0 Channel reset: Program aborted ROV SBL1

Work	Position	D.-to-go	Master spindle	S1
X	0.000 0mm	0.000	Act.	0.000 rpm
Z	0.000 mm	0.000	Set	0.000 rpm
C	0.000 deg	0.000	Pos.	0 deg.
WZ	0.000 deg	0.000	Power	100.0 %

Current block: M30

Feedrate [mm/min]: Act. 0.000 100.0 % Set 0.000

Tool: Preselected tool: G01

Power: 0%

Buttons: G fct.+transf., Auxiliary functions, Spindles, Axis feedrate, Program blocks, Zoom act.val., Act.val. MCS, Program levels, Over-store, DRF offset, Program control, Block search, Handwheel, Correct program, Program overview

Obr. 1.4 Základní obrazovka stroje po najetí do referenčního bodu

R – referenční bod stroje:

Na referenční bod se najíždí za účelem vynulování měřicího systému, na počátek souřadného systému stroje obvykle najet nelze. Řídicí systém tak nalezne svůj počáteční bod pro měření úseku dráhy. (5)

W – nulový bod obrobku:

Určuje a programuje ho technolog-programátor a může jej kdykoliv během NC programu měnit. Při programování a obrábění je základním (výchozím) bodem souřadnicového osového systému. (4)

C – výchozí bod programu:

Jeho poloha je stanovena programátorem mimo obrobek, aby mohla bez problémů proběhnout např. výměna nástroje nebo obrobku. Pozice bodu je zapsána v NC programu (bod pro výměnu nástroje). (2)

A – dorazový bod:

Jedná se o bod, na který dosedá součást např. v upínacím přípravku. (2)

F – nulový bod nástroje:

Slouží jako počátek pro určování délek nástrojů (délkových korekcí nástrojů). Nulový bod nástroje leží na vhodném místě systému upínače nástrojů a je určen výrobcem stroje. (4)

M – nulový bod stroje:

Z hlediska programátora se jedná o pevný bod, jehož polohu není možno měnit. Poloha je stanovena při montáži stroje a je fixována polohou měřících systémů (počátek souřadného systému). (2) Tento bod je zapsán v dokumentaci stroje. (4)

1.1.3 Korekce nástrojů

Při obrábění je nutno znát tvar a polohu špičky nástroje např. vzhledem k nulovému bodu obrobku. Z důvodů značných rozdílů ve tvarech a typech nástrojů jsou zavedeny nástrojové korekce. U soustružnických nožů se rozlišují dva druhy korekcí: (2)

• Korekce délkové:

Jedná se o zjištění délkových vzdáleností, měří se délky v jednotlivých souřadnicích. U soustružnického nože se měří v osách X, Z od nulového bodu nástroje F po špičku nástroje. Naměřené délky jednotlivých souřadnic musí znát řídicí systém, jelikož podle těchto údajů koriguje dráhy nástroje zapsané programátorem v jednotlivých blocích CNC programu. (5)

• Korekce rádiusové:

Vyrobená geometrie kontury se bude odchylovat od zadané, pokud nebudeme počítat s rádiusovou korekcí. U soustružnických nožů, se bere rádiusová korekce jako velikost rádiusu špičky nástroje. Při soustružení bod na rádiusu vytváří konturu obrobku a posunuje se v závislosti na tvaru kontury. U jednoduchých strojů, které v řídicím systému nemají funkce G41 G42 a G40, nelze použít rádiusové korekce, ale lze vypočítat ručně ekvidistantu, která koriguje dráhu nástroje a do programu ji zadat. (5)

Informace o nástroji jsou nezbytné nejen pro správné započítání korekcí, ale vychází se z nich i při obrábění. Při soustružení pomocí cyklů probíhá automatická kontrola tvaru nástroje a kontury. Zjišťuje se, zda je možné obrobení kontury zvoleným nástrojem (zda nedojde ke kolizi držáku s obrobkem). (2)

Pro vyšší přesnost vyráběných součástí je možno programovat i velikost opotřebení břitu nástroje. Této možnosti se využívá hlavně při výměně opotřebovaných břitů (otáčení VBD). (2)

Korekce (data) nástrojů jsou do ŘS zadávány pomocí tabulky nástrojů viz. obr. 1.6. Počet nabízených parametrů je dán typem nástroje. U soustružnických nožů je mimo délkových korekcí a parametrů popisujících tvar nutno definovat i polohu špičky nástroje obr. 1.7. (2)

V ŘS Sinumerik 810D se korekce délkové (i rádiusové) zapisují do tabulky nástrojů obr. 1.6. Nejpoužívanější způsob je ve tvaru T1 D1. T1 značí nástroj na první pozici. D1 značí, že nástroj T1 má skutečné korekce, které jsou uvedeny pod symbolem D1. To platí i pro další značení nástrojů T1 D2 atd. (5)

U všech nástrojů se zjišťují korekce jak délkové tak i rádiusové. Měření se provádí různými způsoby. (5)

• V měřicím přístroji mimo obráběcí CNC stroj

Změřené hodnoty se ručně zapíše k danému nástroji v řídicím systému stroje do tabulky korekcí. Nově se zavádějí v nástrojích čipy, do kterých se automatizovaně zapisují z měřicího přístroje tyto a další hodnoty potřebné pro práci s daným nástrojem. Nástroj při umístění do stroje předá tyto informace řídicímu systému stroje. (5)

• Přímě na stroji

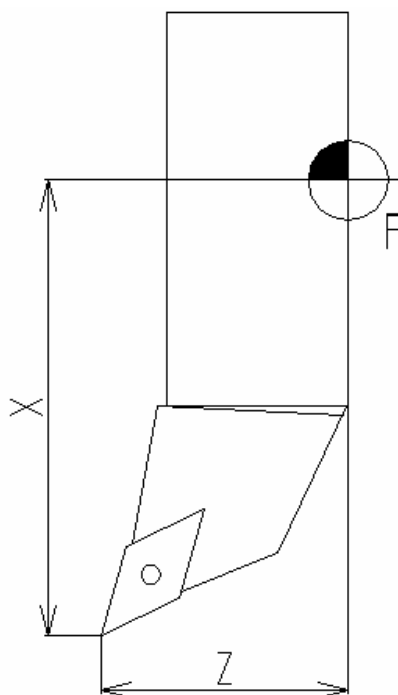
Kde můžeme využít více možností např.

a)

Na stroji je umístěn dotek (pro toto měření nastaví dotek do prostoru stroje obsluha), na který v ručním režimu najede seřizovač nástrojem. Po doteku se naměřené hodnoty automaticky zapíše do paměti k danému nástroji.

b)

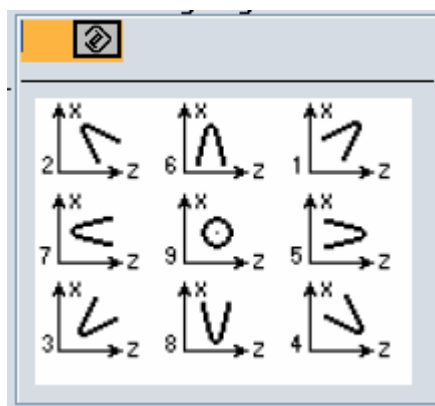
Méně přesněji lze korekce zjistit přímo na stroji dotekem („naškrábnutím“) obrobene plochy. Do téhož bodu je nutné najet dalšími nástroji. Délkový odpočet v osách se zjistí na obrazovce řídicího systému, který zapíšeme k danému nástroji. (5)



Obr. 1.5 Měření délkových korekcí nástroje

Parameter	840D__Turn	Auto	MPF0
Channel reset		Program aborted	
		ROV	SBL1
Tool offsets			
T number	2	D number	1
Tool type	500	Roughing tool	
C. edge pos.	3	No. of c.edges	1
Length comp.	Geometry	Wear	Base
Length 1	85.000	0.000	0.000 mm
Length 2	40.000	0.000	0.000 mm
Radius comp.			
Radius	0.800	0.000	mm
Technology			
Clear.angle	60.000	deg.	
DP25	res: 0.000		
>			
Tool compens.	R variables	Setting data	Work offset
		User data	Active W0 + compens.
Determine offset			

Obr. 1.6 Obrazovka pro zápis nástrojových korekcí



Obr. 1.7 Poloha špičky (hlavního břitu) nástroje

1.1.4 Upínání obrobků

Upínání obrobků je možno provést pomocí sklíčidla nebo upnutím mezi hroty s čelním unášením. Při obou variantách je upnutí provedeno pomocí hydraulické kapaliny. Použitím sklíčidla je navíc možno volit mezi dvěmi variantami. První možností je upnout obrobek čelistmi sklíčidla a poté jej podepřít hrotem. Druhá varianta umožňuje dotlačit obrobek hrotem na pevný doraz a následně upnout sklíčidlem. (2)

Problémy by mohly nastat při upínání „dlouhých štíhlých“ obrobků. Vlivem nadměrné přitlačné síly dochází u těchto součástí k průhybu (ke vzpěru). Tomuto lze předcházet regulací velikosti upínací síly.



Obr. 1.8 Čelní unášeč



Obr. 1.9 Sklíčidlo

1.1.5 Nástrojové vybavení CNC soustružnických strojů

Správná volba nástrojů (nástrojového systému), upínání, výměna, skladování, manipulace s nástroji má velký vliv na úspěšnost obrábění na jeho kvalitu a hospodárnost.

V dnešní době je mnoho nástrojových alternativ. Mezi dvě nejrozšířenější patří použití stopkových nástrojů nebo moderního modulárního systému. Použití nástrojového systému závisí na možnosti upnutí v revolverové hlavě.

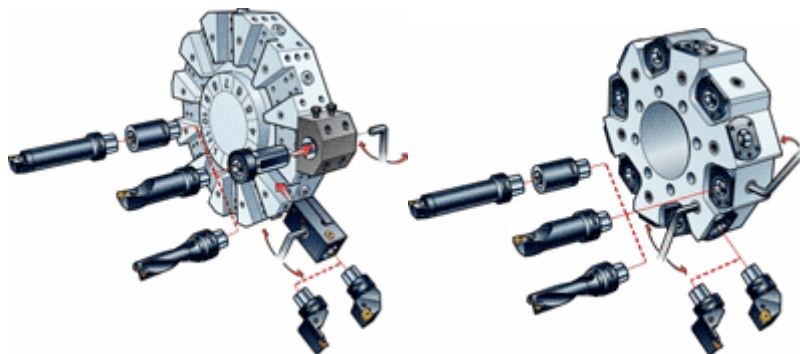
• Konvenční stopkové nástroje

Tyto nástroje jsou upnuty v revolverové hlavě přímo za svoji stopku. Používají se pro obráběcí stroje vyčleněné pro výrobu stále stejných součástek. Stopkové nástroje jsou důležitým doplňkem modulárních nástrojů v těch případech, kdy technické nebo funkční důvody neumožňují použít modulární provedení. Velkou nevýhodou toho nástrojového systému je zdlouhavá doba výměny nástroje.

• Modulární nástrojový systém

Při změnách výroby existuje požadavek na flexibilitu upínacího nástrojového systému, protože různé velikosti součástek často vedou k požadavku na proměnlivý dosah nástroje. Modulární nástroje umožňují sestavit správnou délku nástroje za účelem udržení maximální výkonnosti. (6)

Modulární systém nabízí podstatné snížení množství nezbytných nástrojů. Tento systém lze použít pro ruční, hydraulické a pneumatické upínání. Velkou výhodou je snížení času pro ruční výměnu nástrojů.



Obr. 1.10 Modulární nástrojový systém Coromant Capto (6)

1.2 Popis ŘS Sinumerik 810D

Pod názvem Sinumerik se skrývá skupina řídicích systémů CNC (Computerized Numerical Control). Každý produkt patřící do této skupiny komunikuje s uživatelem mnoha jazyky. Jednou z jazykových verzí je i čeština.

Řídicí systémy pro digitální pohony mají označení D base line a D. Systém D base line je určen pro řízení tří os (dvě digitální lineární osy a jedno digitální/analogové vřeteno), systém s označením D řídí pět os (čtyři digitální lineární osy a jedno digitální/analogové vřeteno). Řídicí systém Sinumerik 810D je kompaktní digitální systém CNC. Má integrovaný výkonový modul ve dvou provedeních – buď se dvěma nebo třemi výkonovými díly. (3)

1.2.1 Základní pojmy

- **Absolutní programování.** Při tomto způsobu zadávání polohy nástroje jsou souřadnice vztahovány k aktivnímu nulovému bodu.

- **Inkrementální (přírůstkové) programování.** Údaje o pozici nejsou vztahovány k nulovému bodu, ale k předcházejícímu bodu. Zadává se vzdálenost, o kterou je nutno přemístit nástroj v jednotlivých osách.

- **Blok (věta).** Jeden řádek programu. Blok je složený ze slov a měl by obsahovat všechny potřebné geometrické a technologické informace, které jsou vykonány v jednom kroku.

- **Cyklus.** V řízení pevně naprogramované pořadí jednotlivých kroků.

- **Interpolace.** Určování mezilehlých bodů mezi známými koncovými body křivky. Body jsou počítány pomocí matematických funkcí.

- **Parametr.** Proměnná v NC programu, jejíž hodnota je přiřazena pro konkrétní případ.

- **Part program.** Řídicí program obsahující informace o každé činnosti potřebné ke zhotovení součásti.

- **Podprogram.** Část programu stroje, která může být opakovaně volána různými řídicími programy.

- **Provoz blok po bloku.** Pracovní režim, ve kterém číslicově řízený stroj po spuštění obsluhou stroje pracuje v automatickém pracovním režimu pouze v rozsahu jednoho bloku řídicích dat.

- **Simulace.** Počítačový program umožňující zobrazovat skutečnou polohu nástroje vůči obrobku, která je zapsána v NC programu.

- **Slovo.** Skládá se z povelové části (písmeno) a z významové části (číslíce nebo skupina číslic). (2)

1.2.2 Základní funkce

Funkce a příkazy ŘS Sinumerik 810D jsou velice rozsáhlé proto jsou v tabulkách 3, 4 a 5 uvedeny pouze vybrané přípravné, pomocné funkce a adresové znaky.

Tab. 1.3 Přípravné funkce G (7)

Název	Význam
G0	Lineární interpolace rychloposuvem
G1	Lineární interpolace pracovním posuvem
G2	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G3	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G4	Časově předurčená prodleva
G18	Volba pracovní roviny Z/X
G25	Dolní omezení pracovního pole
G26	Horní omezení pracovního pole
G33	Řezání závitů s konstantním stoupáním
G40	Vypnutí korekce poloměru nástroje
G54	1. nastavitelné posunutí nulového bodu
G55	2. nastavitelné posunutí nulového bodu
G56	3. nastavitelné posunutí nulového bodu
G57	4. nastavitelné posunutí nulového bodu
G58	Osové programovatelné posunutí nulového bodu, absolutní
G59	Osové programovatelné posunutí nulového bodu, aditivní
G70	Zadávání dráhy v palcích
G71	Zadávání dráhy v mm
G74	Nájezd do referenčního bodu
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální programování
G94	Posuv F [min]

Tab. 1.3 Přípravné funkce G – pokračování (7)

G95	Posuv F [mm]
G96	Zapnutí konstantní řezné rychlosti
G97	Vypnutí konstantní řezné rychlosti (konstantní velikost otáček)

Tab. 1.4 Pomocné funkce M (7)

Název	Význam
M0	Programovatelný stop programu*
M1	Volitelný stop*
M2	Konec programu*
M3	Start vřetena ve směru hodinových ručiček
M4	Start vřetena proti směru hodinových ručiček
M5	Zastavení vřetena
M6	Výměna nástroje (při ruční výměně)
M8	Zapnutí chlazení
M9	Vypnutí chlazení
M17	Konec podprogramu*
M30	Konec programu a návrat na začátek programu*
M41	Převodový stupeň 1 (nižší řada otáček)
M42	Převodový stupeň 2 (vyšší řada otáček)

* tyto funkce neumožňují rozšířený formát adresového bloku

Tab. 1.5 Adresové znaky (2)

Název	Význam
F	Posuv
H	Přídavná funkce
I	Nastavitelný identifikátor adresy
J	Nastavitelný identifikátor adresy
K	Nastavitelný identifikátor adresy
L	Volání podprogramu
N	Číslo vedlejšího bloku
P	Počet opakování programu
R	Identifikátor proměnné
S	Velikost otáček vřetene
T	Číslo nástroje
X	Nastavitelný identifikátor adresy
Y	Nastavitelný identifikátor adresy
Z	Nastavitelný identifikátor adresy

Tab. 1.5 Adresové znaky – pokračování (2)

%	Znak začátku programu
:	Číslo hlavního bloku
/	Identifikátor vypuštění bloku
;	Textová poznámka

1.2.3 Podpůrné funkce – CYKLY

Programový editor v systému Sinumerik 810D nabízí programovací podporu ke generování, vyvolávání cyklů. (7)

Cykly jsou podpůrné prostředky pro obrobení nepoužívanějších prvků při obrábění např. při tvorbě odlehčovacích zápichů, řezání závitů, vrtání, vyvrtávání, frézování různých typů kapes, ale také pro odběr třísky podle kontury. (8)

Tab. 1.6 Soustružnické cykly

Název cyklu	Význam cyklu
CYCLE93	Cyklus zapichovací
CYCLE94	Cyklus odlehčovacího zápichu tvaru E a F podle DIN
CYCLE95	Cyklus řezání podle podprogramu (kontury)
CYCLE96	Cyklus odlehčovacího zápichu závitu tvaru A, B, C, D
CYCLE97	Cyklus řezání závitů
CYCLE98	Cyklus řetězení závitů

Cyklus zapichovací – CYCLE93

Cyklus zápichu umožňuje vytváření symetrických a asymetrických zápichů pro podélné a plošné opracování na libovolných přímých prvcích kontury. Realizovat se dají vnitřní a vnější zápichy. (7)

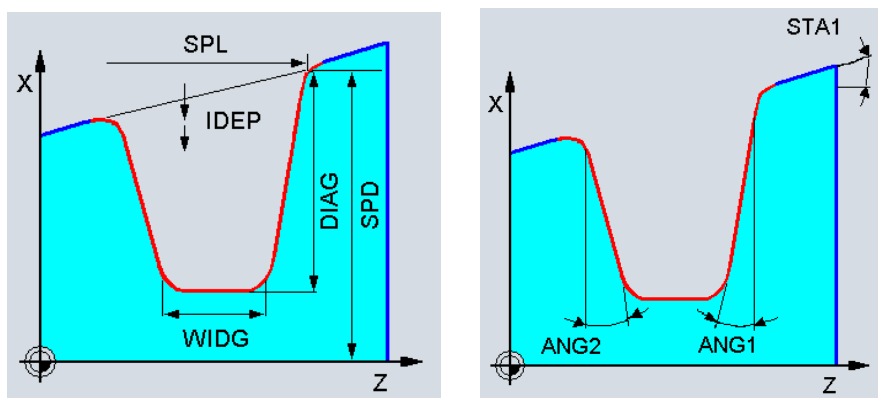
U zapichovacího nástroje je nutno odměřit obě špičky nástroje. Obě špičky musí být zadány v po sobě jdoucích číslech D. Je-li vyvolán pro zapichovací cyklus např. nástroj T2 D1, musí být druhé ostří zapsáno pod D2. Cyklus určí sám, která ze dvou korekcí musí být použita v právě prováděném pracovním kroku a sám ji aktivuje. (8)

Zápis parametrů cyklu v bloku

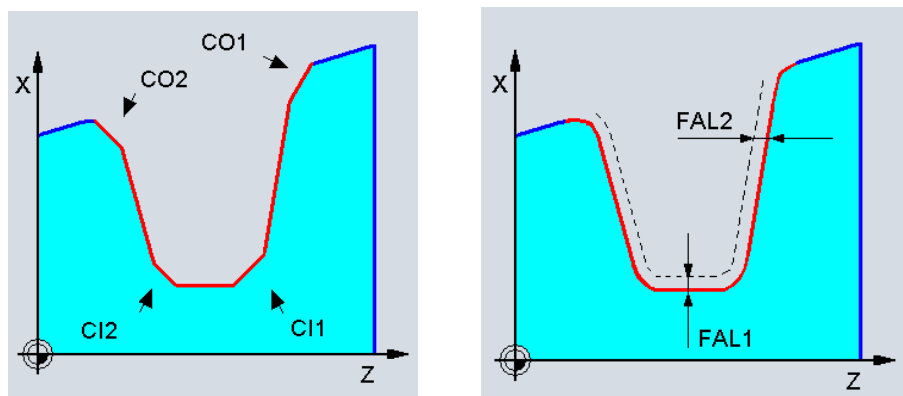
CYCLE93 (SPD, SPL, WIDG, DIAG, STA1, ANG1, ANG2, RCO1, RCO2, RCI1, RCI2, FAL1, FAL2, IDEP, DTB, VARI)

Tab. 1.7 Význam parametrů v cyklu zápich

Parametr	Význam parametru
SPD	Počáteční bod v příčné ose X (bez znaménka)
SPL	Počáteční bod v podélné ose Z
WIDG	Šířka zápichu (bez znaménka)
DIAG	Hloubka zápichu (bez znaménka)
STA1	Úhel mezi konturou a podélnou osou ($0^\circ \leq \text{STA1} \leq 180^\circ$)
ANG1	Úhel úkosu 1: na straně určené počátečním bodem zápichu (zadávat bez znaménka) ($0^\circ \leq \text{ANG1} \leq 89.999^\circ$)
ANG2	Úhel úkosu 2: na druhé straně (zadávat bez znaménka) ($0^\circ \leq \text{ANG2} \leq 89.999^\circ$)
RCO1	Zaoblení(+)/sražení(-) 1, vnější: na straně určené počátečním bodem
RCO2	Zaoblení(+)/sražení(-) 2, vnější
RCI1	Zaoblení(+)/sražení(-) 1, vnitřní: na straně určené počátečním bodem
RCI2	Zaoblení(+)/sražení(-) 2, vnitřní
FAL1	Přídavek na dokončení na dně zápichů
FAL2	Přídavek na dokončení na bocích
IDEP	Hloubka přísuvu (zadávat bez znaménka)
DTB	Časová prodleva na děn zápichu
VARI	Způsob opracování 1 ÷ 8 délka sražení (konturového rohu) CHF, 11 ÷ 18 délka sražení ve směru pohybu (konturového rohu) CHR



Obr. 1.11 Grafické znázornění parametrů v cyklu zápich



Obr. 1.11 Grafické znázornění parametrů v cyklu zápich - pokračování

Cyklus odlehčovacího zápichu – CYCLE94

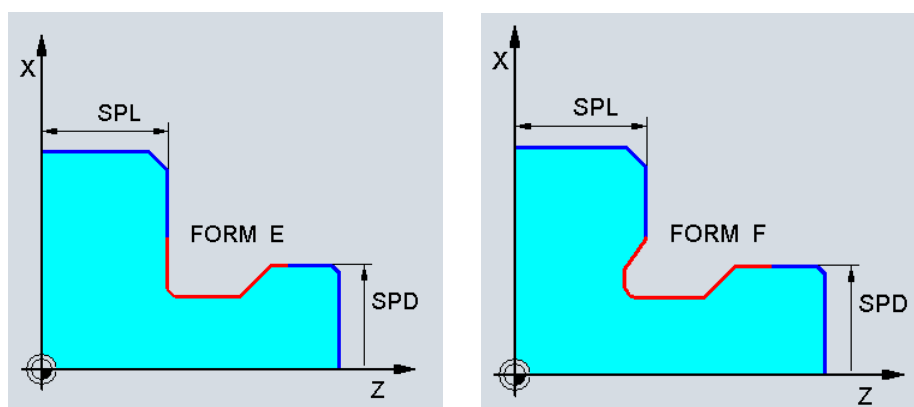
V tomto cyklu je možné provádět odlehčovací zápichy závitů podle DIN 509 ve formě E a F s běžným namáháním při průměru hotového dílu > 3 mm.

Zápis parametrů cyklu v bloku

CYCLE94 (SPD, SPL, FORM)

Tab. 1.8 Význam parametrů v cyklu odlehčovací zápich

Parametr	Význam parametru
SPD	Počáteční bod v příčné ose X (zadáva se bez znaménka)
SPL	Počáteční bod kontury/závitů v podélné ose Z
FORM	Definice formy zápichu (E nebo F)



Obr. 1.12 Grafické znázornění parametrů v cyklu odlehčovací zápich

Cyklus řezání – CYCLE95

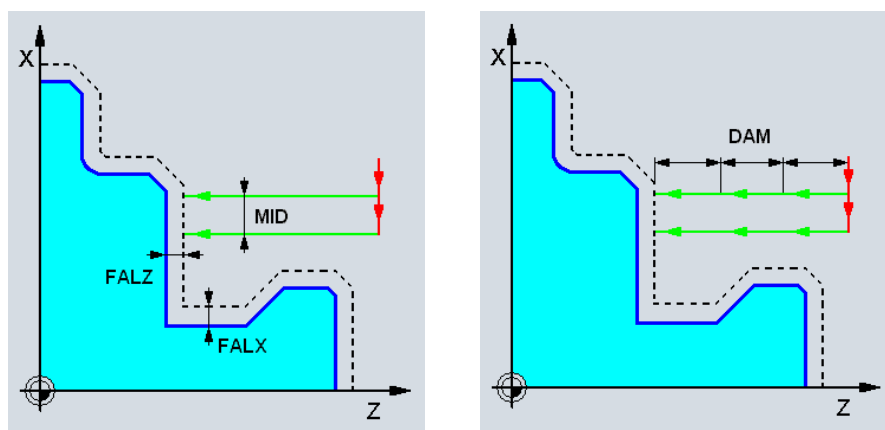
V cyklu řezání je možno opracovávat z hrubého dílu prostřednictvím k osám paralelního oddělování třísek konturu programovanou v podprogramu. Kontura může obsahovat prvky podřezání. (7)

Zápis parametrů cyklu v bloku

CYCLE95 (NPP, MID, FALZ, FALX, FAL, FF1, FF2, FF3, VARI, DT, DAM, VRT)

Tab. 1.9 Význam parametrů v cyklu řezání

Parametr	Význam parametru
NPP	Název konturového podprogramu
MID	Maximální hloubka přísluvu pro jeden přísluv (zadáva se bez znaménka)
FALZ	Čistý rozměr v podélné ose (bez znaménka)
FALX	Čistý rozměr v příčné ose (bez znaménka)
FAL	Kontuře odpovídající čistý rozměr (bez znaménka)
FF1	Posuv pro hrubování bez podříznutí
FF2	Posuv k ponoření do podřezávacích prvků
FF3	Posuv pro hlazení
VARI	Druh opracování ($1 \div 12$)
DT	Doba prodlení pro lámání třísek při hrubování
DAM	Délka dráhy, po které se každý krok hrubování přeruší k lámání třísky
VRT	Dráhu oddálení nástroje od kontury při hrubování zadávat inkrementálně bez znaménka



Obr. 1.13 Grafické znázornění parametrů v cyklu řezání

Cyklus odlehčovacího zápichu závitu – CYCLE96

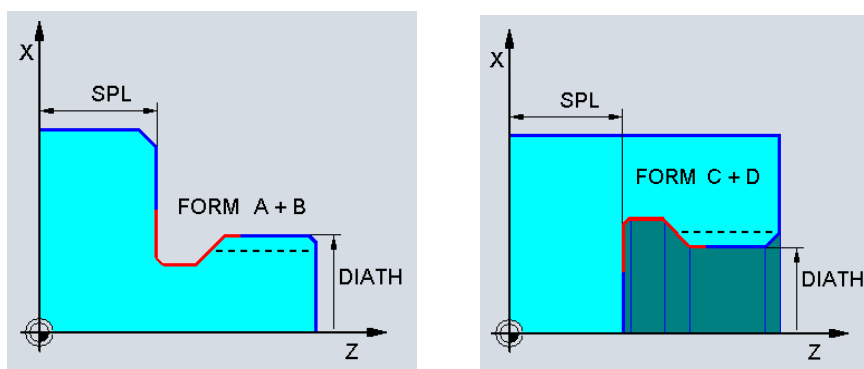
V tomto cyklu je možné provádět odlehčovací zápich závitu ve formách A, B, C, D podle DIN 13 pro díly s metrickým závitem ISO. (7)

Zápis parametrů cyklu v bloku

CYCLE96 (DIATH, SPL, FORM)

Tab. 1.10 Význam parametrů v cyklu odlehčovacího zápichu závitu

Parametr	Význam parametru
DIATH	Jmenovitý průměr, vnější průměr závitu
SPL	Počáteční bod kontury / závitu v podélné ose Z
FORM	Definice formy zápichu (A, B, C nebo D)



Obr. 1.14 Grafické znázornění parametrů v cyklu odlehčovací zápich závitu

Cyklus řezání závitů – CYCLE97

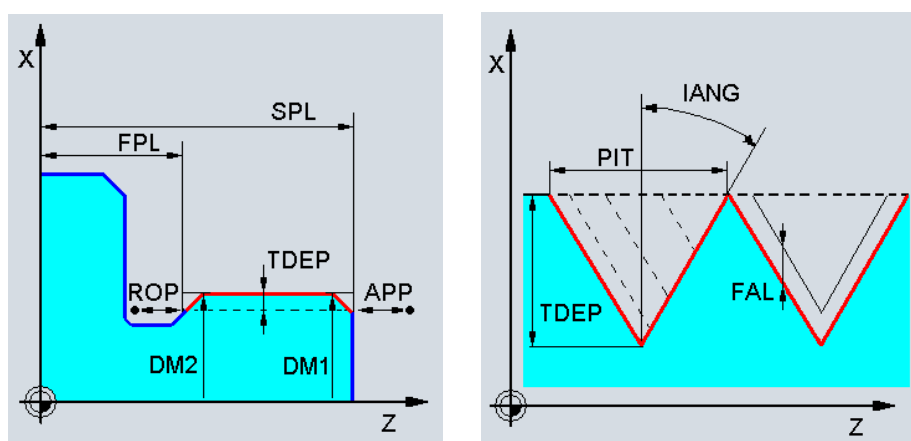
V cyklu řezání závitů je možno provádět válcové a kuželové vnější a vnitřní závity v podélném a plošném opracování (jednorázově nebo vícenásobně). Předpokladem pro použití tohoto cyklu je vřeteno s regulovaným počtem otáček v systému mění dráhy. U závitů s více otáčkami se jednotlivé otáčky opracovávají postupně. (7)

Zápis parametrů cyklu v bloku

CYCLE97 (PIT, MPIT, SPL, FPL, DM1, DM2, APP, ROP, TDEP, FAL, IANG, NSP, NRC, NID, VARI, NUMTH)

Tab. 1.11 Význam parametrů v cyklu řezání závitů

Parametr	Význam parametru
PIT	Stoupání závitu, rozsah hodnot: 0.001 - 2000.000 mm
MPIT	Stoupání závitu jako veličina závitu (M3 ÷ M60 => 3 ÷ 60)
SPL	Počáteční bod závitu v podélné ose Z
FPL	Koncový bod závitu v podélné ose Z
DM1	Průměr závitu v počátečním bodu
DM2	Průměr závitu v koncovém bodu
APP	Dráha vběhu (zadáva se bez znaménka)
ROP	Dráha výběhu (zadáva se bez znaménka)
TDEP	Hloubka závitu (zadáva se bez znaménka)
FAL	Přídavek na dokončení (zadáva se bez znaménka)
LANG	Úhel přísluvu: "+" pro boční přísluv na boku "-" pro alternující boční přísluv
NSP	Posunutí začátečního bodu pro první otočku závitu (zadáva se bez znaménka)
NRC	Počet hrubovacích kroků (zadáva se bez znaménka)
NID	Počet řezů na prázdno (zadáva se bez znaménka)
VARI	Druh opracování závitu (1 ÷ 4)
NUMTH	Počet chodů závitu (zadáva se bez znaménka)



Obr. 1.15 Grafické znázornění parametrů v cyklu řezání závitu

Cyklus řetězení závitů – CYCLE98

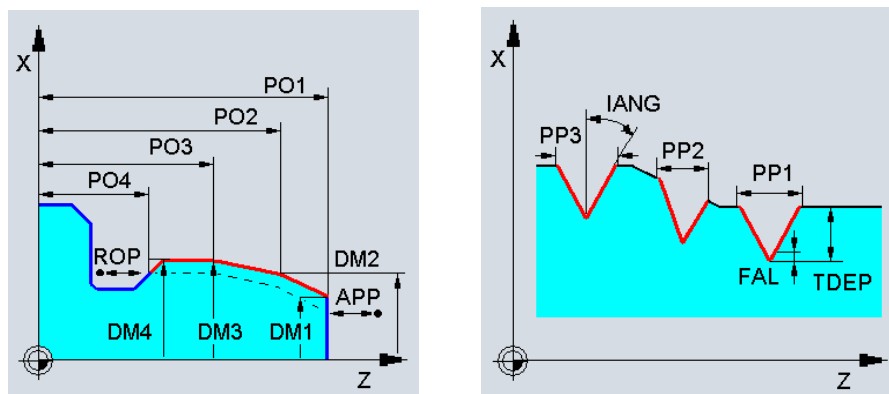
Cyklus umožňuje vytváření několika za sebou řazených válcových a kuželových závitů v podélném a plošném opracování, stoupání závitu při tom může být rozdílné. (7)

Zápis parametrů cyklu v bloku

CYCLE98 (PO1, DM1, PO2, DM2, PO3, DM3, PO4, DM4, APP, ROP, TDEP, FAL, IANG, NSP, NRC, NID, PP1, PP2, PP3, VARI, NUMTH)

Tab. 1.12 Význam parametrů v cyklu řetězení závitů

Parametr	Význam parametru
PO1	Počáteční bod závitu v podélné ose Z
DM1	Průměr závitu v počátečním bodě
PO2	První mezilehlý bod v podélné ose Z
DM2	Průměr v prvním mezilehlém bodě
PO3	Druhý mezilehlý bod
DM3	Průměr v druhém mezilehlém bodě
PO4	Koncový bod závitu v podélné ose Z
DM4	Průměr v koncovém bodě
APP	Dráha vběhu (zadáva se bez znaménka)
ROP	Dráha výběhu (zadáva se bez znaménka)
TDEP	Hloubka závitu (zadáva se bez znaménka)
FAL	Přídavek na dokončení (zadáva se bez znaménka)
IANG	Úhel přísluvu: "+" pro boční přísluv na boku "-" pro alternující boční přísluv
NSP	Posunutí počátečního bodu pro první chod závitu (zadáva se bez znaménka)
NRC	Počet hrubovacích kroků (zadáva se bez znaménka)
NID	Počet řezů na prázdno (zadáva se bez znaménka)
PP1	Stoupání závitu 1 jako hodnota (zadáva se bez znaménka)
PP2	Stoupání závitu 2 jako hodnota (zadáva se bez znaménka)
PP3	Stoupání závitu 3 jako hodnota (zadáva se bez znaménka)
VARI	Druh opracování závitu (1 ÷ 4)
NUMTH	Počet chodů závitu (zadáva se bez znaménka)



Obr. 1.16 Grafické znázornění parametrů v cyklu řetězení závitu

1.2.4 Tvorba NC programu

Směrnicí pro tvorbu programu součásti je DIN 66025. NC program součásti se skládá z posloupnosti NC bloků (tab. 1.13), které představují jednotlivé kroky programu. Blok obsahuje příkazy ve formě slov. Poslední blok v pořadí zpracování obsahuje speciální slovo konec programu M30 nebo M2. (1)

Tab. 1.13 Posloupnost NC bloků

Blok	Slovo	Slovo	Slovo	Slovo	; Komentář
Blok	N10	G0	X20	...	; 1. blok
Blok	N20	G2	Z37	...	; 2. blok
Blok	N30	G91	...	...	; 3. blok
Blok	N40	G1	X25	Z-10	...
Blok	N50	M30	...	...	; Konec programu (poslední blok)

Každý program má vlastní název, který lze při vytvoření programu a při dodržení následujících podmínek volně zvolit. (1)

Podmínky při tvorbě názvu programu:

- první dva znaky musí být písmena (možno je i písmeno s podtržítkem)
- jinak písmena, cifry

Příklady psaní názvů programů:

- Př. 1 HŘÍDEL.MPF ;název programu HŘÍDEL
- Př. 2 ŘEMENICE_2.MPF ;název programu ŘEMENICE_2
- ; koncovka "MPF" se používá jako koncovka hlavního programu

NC program se skládá z jednotlivých bloků a blok je obecně tvořen několika slovy. Blok by měl obsahovat všechna data nutná pro provedení jednoho pracovního kroku a jeho konec je ohraničen znakem LF, který není nutno psát, protože se generuje automaticky řádkováním. Aby struktura bloku byla přehledná, je vhodné uspořádat slova bloku viz. následující příklad. (1)

Příklad uspořádání pořadí slov v bloku:

N10 G... X... Y... Z... F... S... T... D... M... H...

Tab. 1.14 Význam jednotlivých adres v bloku

Adresa	Význam
N	Adresa čísla bloku
10	Číslo bloku
G	Přípravná funkce
X, Y, Z	Informace o dráze
F	Posuv
S	Velikost otáček vřetene
T	Nástroj
D	Číslo korekce nástroje
M	Pomocné funkce
H	Přídavné funkce

Slova tvořící blok se skládají z adresové části a z významové části (cifra respektive sled cifer), představující aritmetickou hodnotu. Adresová část slova je většinou tvořena písmenem. Sled cifer může obsahovat znaménko a desetinou tečku, přičemž se znaménko vždy nachází mezi adresovým znakem a sledem cifer. Kladná znaménka (+) nemusí být psána. (1)

Tab. 1.15 Skládání slov z adresové a významové části

Blok					
G01 X-50 S2000					
Slovo		Slovo		Slovo	
Adresová část	Významová část	Adresová část	Významová část	Adresová část	Významová část
G	01	X	-50	S	2000

1.2.5 Tvorba a využití podprogramů

Tvorba podprogramu je v podstatě stejná jako výstavba programu součásti. Skládá se z NC bloků s pohybovými a spínacími instrukcemi. (1)

V podstatě není žádný rozdíl mezi hlavním programem a podprogramem. Podprogram obsahuje buď sledy pracovních operací nebo pracovní úseky, které mají být několikrát opakovány. Sledy pracovních operací, které se neustále opakují, se programují pouze jednou v podprogramu, například určité, neustále se vyskytující tvary kontury nebo i obráběcí cykly. (1)

Konec podprogramu se programuje pomocí funkce M17. Znamená to zde návrat k volající úrovni programu. Velkou výhodou je možnost opakovatelného využití (opakovatelného volání) v programu. Podprogramy umožňují využívat zápisu pomocí parametrů. (1)

Z hlavního programu se podprogram vyvolává buď pomocí adresy L a čísla podprogramu nebo udáváním názvu podprogramu. (1)

Příklady volání podprogramu:

Př. 1 N30 L100 ; volání podprogramu „L100.SPF“

Př. 2 N120 KONTURA ; volání podprogramu „KONTURA.SPF“

ŘS také umožňuje volání hlavního programu jako podprogramu. Z toho vyplývá, že není vhodné označovat stejným názvem program i podprogram (nestačí odlišení koncovkou *.MPF – koncovka hl. programu nebo *.SPF – koncovka podprogramu). (2)

Má-li být podprogram zpracováváný několikrát za sebou, můžeme v bloku s voláním podprogramu programovat pod adresou P žádaný počet opakování programu. Rozsah počtu opakování je P: 1 – 9999. (1)

Příklad volání podprogramu se zadaným počtem opakování:

N40 HRIDELA P3 ; volání podprogramu s opakováním

1.3 Parametrické programování a jeho využití

Jestliže vytváříme NC program, zjišťujeme, že pro obrobek definovaný technickým výkresem je vytvořen řídící program, který v jednotlivých blocích polohuje řezný nástroj na numericky definované souřadnice (např. N40 G1 X25 Z-10 F0.2). Jeden takto vytvořený NC program umožňuje vytvořit opět jen jeden typ součástky. (9)

Parametrické programování je založeno na nastavení proměnných parametrů (parametr můžeme kdykoliv změnit) na místo pevných hodnot, buď od tabulky parametrů nebo přímo do hlavního programu. Spuštěný NC program si pak načítá hodnoty předvolených parametrů, které rovnou aplikuje nebo přepočítává a následně využívá pro polohování řezného nástroje.

Použitím proměnných parametrů je možno flexibilně utvářet program nebo můžeme použitím proměnných jako požadované hodnoty tentýž program použít pro různé geometrie tzn. pro typy součástí, které mají tvarovou podobnost. Tohoto využívá řada strojírenských podniků například pro rychlé stanovení ceny zakázky, neboť při změně parametrů (např. změna parametrů rozměrů součásti) se nám změní čas obrábění, který má právě vliv na cenu zakázky. Další nezbytnou výhodou je zjednodušení NC programů a jejich universální využití. V podnicích kde si částečně programuje NC program obsluha stroje se snaží hlavní programátor těmito pracovníkům pomocí parametrického programování vytvořit takový program, kde obsluha stroje vyplní potřebný počet jasně stanovených parametrů aniž by musel zasahovat do struktury programu a dělat jakékoliv úpravy NC programu.

Parametrické programování otevírá dovednému programátorovi možnost založit si vysoce flexibilní archív programů a ušetřit si tak mnoho programovací práce. (10)

1.3.1 Tvorba parametrického NC programu

Při tvorbě parametrického programu, je několik možností kde nadefinovat proměnné R parametry. Řídící systém Sinumerik 810D má přímo pro definování proměnných parametrů tabulku (viz obr.1.17) kde jsou nadefinovány potřebné parametry například pohybové instrukce, které obvykle slouží pro polohování nástroje (X, Y, Z), ale taky ostatní druhy proměnných.

Další možností definování R parametrů je přímo v hlavním programu. Tato varianta má velkou výhodu, že zde je možnost za nadefinovaný parametr napsat textovou poznámku co daný parametr znamená a jeho využití. V hlavním programu se definují proměnné jako jsou například parametry cyklů, řezné rychlosti, posuvy atd., ale taky pohybové instrukce. Poslední variantou je kombinace obou předchozích možností. To znamená, že do tabulky parametrů se nadefinuje určitý typ proměnné a do hlavního programu všechny zbývající proměnné s kterými bude NC program pracovat.

Pokud jsou nadefinovány všechny potřebné R parametry, může se začít psát NC program. Tvorba parametrických programů je v podstatě stejná jako tvorba NC programu bez použití parametrů. Pohybovým instrukcím X, Y a Z musíme potřebný parametr přiřadit a to za pomoci přiřazovacího znaku “=”. Proměnné (výpočetní) parametry mohou být přiřazeny všem adresám s výjimkou adres N, G a L. Pokud je použito v NC programu cyklů, stačí v cyklu místo stávajícího parametru (např. FALX) doplnit nadefinovaný R parametr (např. R5 kde R5=0.5). V cyklech se nemusí používat přiřazovacího znaku “=”.

R variables channel-specific			
R0	0	R13	0
R1	0	R14	0
R2	0	R15	0
R3	0	R16	0
R4	0	R17	0
R5	0	R18	0
R6	0	R19	0
R7	0	R20	0
R8	0	R21	0
R9	0	R22	0
R10	0	R23	0
R11	0	R24	0
R12	0	R25	0

Obr. 1.17 Tabulka pro zápis proměnných R parametrů

1.3.2 Parametry R

Výpočetní parametr je speciální předdefinovaná proměnná, pro kterou je určena adresa R s následujícím číslem. Předdefinované výpočetní proměnné jsou typu REAL. (13) Řídicí systém Sinumerik 810D dává k dispozici maximálně 1000 výpočtových proměnných (0 – 999). Tato hodnota je závislá na používané verzi řídicího systému.

Výpočetním parametrům lze přiřadit číselné hodnoty v následujícím rozsahu $\pm (0.000\ 000\ 1 \dots 99\ 999\ 999)$ to znamená, že je k dispozici 8 desetinných míst, znaménko a desetinná tečka. Pokud bude použito celočíselných hodnot může se desetinná tečka vypustit a při používání kladného znaménka můžeme toto znaménko vždy vypustit. (1)

Pokud by nestačil předchozí rozsah hodnot, lze použít exponenciální zápis s rozšířeným číselným rozsahem $\pm (10^{-300} \dots 10^{+300})$. Celkový počet znaků je 10 včetně znaménka a desetinné tečky. Hodnotu exponentu se píše se znaky EX. (1)

Adresovému znaku R se přiřazují konkrétní číselné hodnoty, ale mohou být přiřazeny také výpočetní parametry nebo aritmetické výrazy tvořené přímo výpočetními parametry. Při použití aritmetických operací (funkcí) je nutno dodržovat obvyklý matematický zápis. Pořadí operací lze nastavit pomocí kulatých závorek, jinak platí násobení a dělení před sčítáním a odčítáním. Pro goniometrické funkce platí stupňovitý údaj. (1)

Příklady zadávání hodnot parametrů:

$$R0 = 2.35689$$

$$R1 = -0.6894$$

$$R2 = 285749$$

$$R3 = -0.1 \text{ EX } -9$$

$$R4 = 5.1 \text{ EX } 6$$

$$R6 = R0 + 0.1$$

$$R7 = R2 + R0$$

$$R8 = R4 - R2$$

$$R9 = R7 / R2$$

$$R10 = R5 * R0$$

$$R14 = R11 + R13 / R2$$

$$R25 = \text{SQRT} (\text{POT} (R23) + \text{POT} (R24))$$

(Pythagorova věta)

$$R28 = \text{SIN} (25.3) \quad (\sin 25^\circ 3')$$

...

$$N50 \text{ G1 X} = R28 \text{ Z} = - R29 \text{ F}0.3$$

$$N120 \text{ G1 X } 25 \text{ Z} = - R25 \text{ F} = R30$$

atd.

1.3.3 Nepodmíněné programové skoky

Naprogramované instrukce vykonávají hlavní programy, podprogramy podle pořadí bloků jak jdou po sobě. Nepodmíněné skoky se využívají všude tam, kde je potřeba měnit pořadí čtených programových bloků. Jsou-li obraceňeny dva druhy součástí kde ta druhá se liší od první například pouze tím, že má navíc drážku. Nemusí se psát pro obě součásti zvlášť program, ale jednoduše do programu je dopsán skok, který bude u součásti, která nemá drážku přeskakovat bloky, které jsou určeny pro obraceňování drážky.

Podle potřeby, je využíván skok vpřed GOTOF VPRED, který přeskakuje následující programové bloky až na cíl skoku pod názvem VPRED, jedná se tedy o skok ke konci NC programu nebo skok vzad GOTOB VZAD, který přeskakuje programové bloky až na cíl skoku pod názvem VZAD, jedná se tedy o skok směrem k začátku programu. Program pak pokračuje ve zpracování instrukcí, které bezprostředně následují za cílem skoku. Je dobré upozornit, že u programů s nepodmíněnými skoky nemusí být konec programu M30 nebo M2 povinně na konci programu.

Příklad programování nepodmíněných skoků:

N10 G90 G54	;začátek NC programu
. . . .	
N40 GOTOF SKOK_VPRED	;skok směrem ke konci NC programu
N50 SKOK_VZAD:	;cíl druhého skoku
N60 G0 X25 Z1	;rychloposuv
N70 M30	;konec NC programu
N80 SKOK_VPRED:	;cíl prvního skoku
N90 G1 X30 Z-5 F0.3	;lineární interpolace
. . . .	
N100 GOTOB SKOK_VZAD	;skok směrem k začátku programu

1.3.4 Podmíněné programové skoky

V podmíněném programovém skoku se používá příkazu IF pomocí kterého se formuluje podmínka skoku. Je-li podmínka skoku splněna tak se provádí skok na programovaný cíl. Není-li podmínka splněna program pokračuje v následujících blocích. Skok lze provádět směrem ke konci NC programu IF "PODMÍNKA" GOTOF nebo k začátku programu IF "PODMÍNKA" GOTOB.

Příklad programování podmíněných skoků

```

N10 G54 G90                                ;začátek NC programu
...
N40 R1=30 R2=60 R3=10 R4=11                ;přiřazení počátečních hodnot
N50 R5=50 R6=20                            ;přiřazení počátečních hodnot
...
→ N80 SKOK_VZ:                             ;cíl skoku vzad
    N90 G0 X=R2*COS(R1)+R5                 ;výpočet a přiřazení osově adrese
        Y=R2*SIN(R1)+R6                   ;výpočet a přiřazení osově adrese
    N100 R1 = R1 + R3 R4 = R4 – 1          ;přiřazení nových hodnot
    N110 IF R4>0 GOTOB SKOK_VZ             ;podmíněný skok vzad
N120 M30                                    ;konec programu

```

Kombinací parametrického programování a podmíněných skoků lze vytvořit NC program, který připočítává zvolenou hodnotu k parametru. Tento parametr je vložen do rovnice, jejíž výsledná hodnota je dosazena do bloku pro lineární interpolaci. Po uskutečnění pohybu na vypočtené souřadnice je kontrolována podmínka a v případě že nebylo doposud přičteno dostatečné množství inkrementů, je proveden skok zpět na návěští před krok připočtení hodnoty. Následuje opětovný přepočet rovnice, dosazení pohyb nástroje na vypočtené souřadnice a opětovná kontrola. Toho to způsobu programování se dá využít pro součástí nebo jejich části, které mají tvar matematicky definované křivky. Programování pohybů po matematicky definované křivce se zjednodušuje na výpočet elementárních lineárních kroků. Příkladem může být např. elipsa, hyperbola, parabola, sinusovka nebo Archimedova spirála. (9)

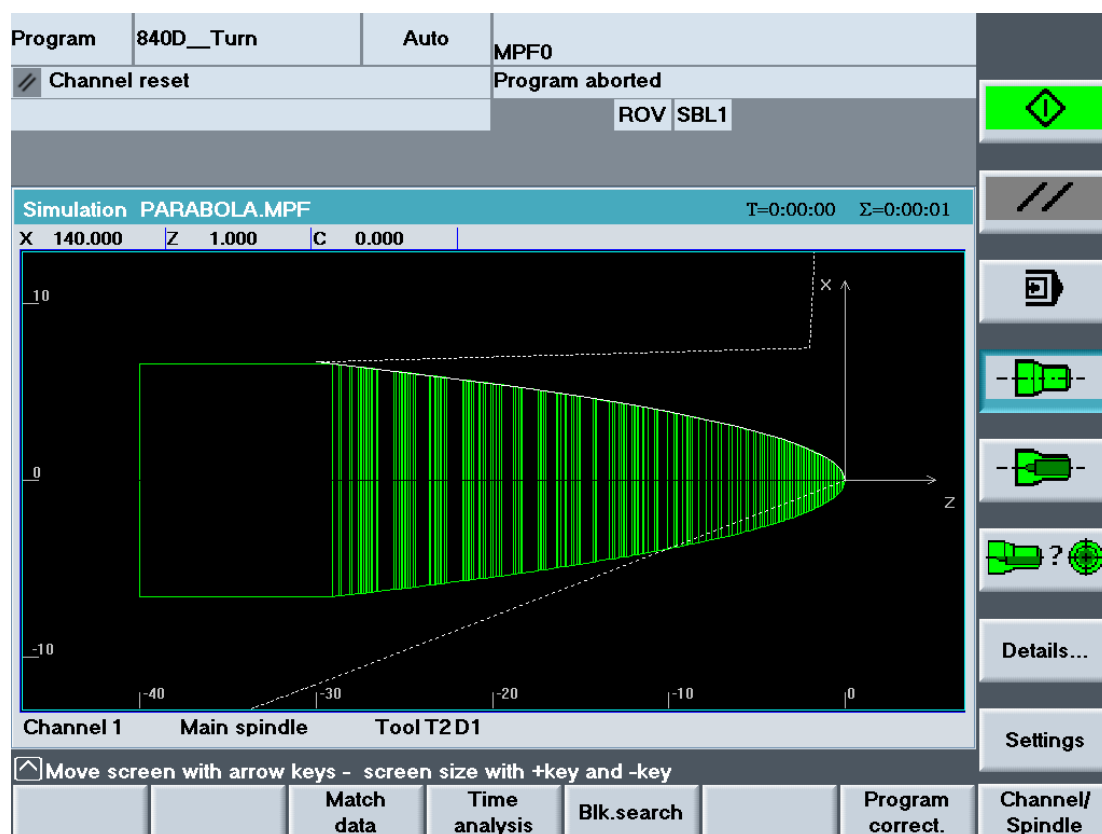
Například projektil náboje má tvar paraboloidu. Parabola je definovaná rovnicí $y^2 = \pm 2px$.



Obr. 1.18 Grafický 3D model Projektilu

Ukázka NC programu – obrábění projektilu náboje

G54	;nastavení nulového bodu
G90 DIAMON G18 M4	;absolutní zadávání souřadnic, volba roviny
G0 X140 Z1	;souřadnice výměny nástroje
H1 T10 D1	;výměna nástroje
R0=0	;programové nastavení počátečních hodnot
R3=3	;nastavení parametru paraboly p
G0 X0 Z0	;počáteční souřadnice paraboly
G96 S200	;nastavení konstantní řezné rychlosti
SKOK:	;cíl skoku
R1=R0 + 0.1	;připočtení zvoleného kroku
R2=SQRT(2*R3*R1)	;výpočet rovnice paraboly
R0=R1	;přiřazení vypočteného parametru
G1 X=R2 Z=-1*R1 F0.3	;lineární interpolace na vypočtené souřadnice
IF R1 < 30 GOTOB SKOK	;podmíněný skok
G0 X15 Z-2	;odjezd nástroje mimo obrobek
G0 X140 Z1	;souřadnice výměny nástroje
M30	;konec programu



Obr. 1.19 Simulace programu PROJEKTIL

2. ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE PRO ZVOLENÉ SOUČÁSTI

Při zpracování technické dokumentace, se začalo namodelováním 3D modelů pro jednotlivé součásti (Řemenice, Šroub a Pastorek). Výhodou 3D modelu je, že dává úplnou představu jak bude součást vypadat ve skutečnosti s danými rozměry. Snadnou modifikací rozměrů se může model upravovat podle potřeby. Po tvorbě 3D modelu následovalo zpracování 2D dokumentace tzn. technické výkresy dané součásti s konkrétními rozměry. U součástí jako například řemenice nebo šroub, které jsou normalizovány bylo využíváno příslušné normy.

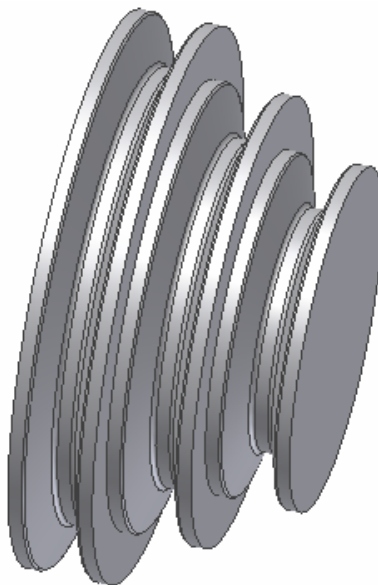
Aby bylo možno využívat parametrického programování pro urychlení předběžného výpočtu výrobních nákladů i vlastní výroby soustružením, je potřeba dané normy a výkresovou dokumentaci přetvořit s obecnými parametry v našem případě R-parametry. Pouhá změna parametrů mění charakter vyráběné součásti. Snadno je určena cena zakázky, čas obrábění atd. Tvorba výkresové dokumentace s R-parametry má významný vliv na tvorbu parametrického NC programu. Čím lépe se zpracuje výkres s R-parametry tím se ulehčí další práce při tvorbě parametrického programu.

Charakter vyráběné součásti závisí na změně hodnot rozměrů ve výkresové dokumentaci součásti. Těmito rozměry mohou být průměry děr, délky osazení, hloubka zápichu, drážek, ale taky průměry závitů. Je-li známo, které rozměry na výkrese součásti se takto mění, je vhodné tyto rozměry nahradit R-parametry přednostně. Důvod proč je přikládán těmto parametrům největší důraz je ten, že změnou těchto parametrů se mění rozměry případně tvar vyráběné součásti a to je podstatou parametrického programování.

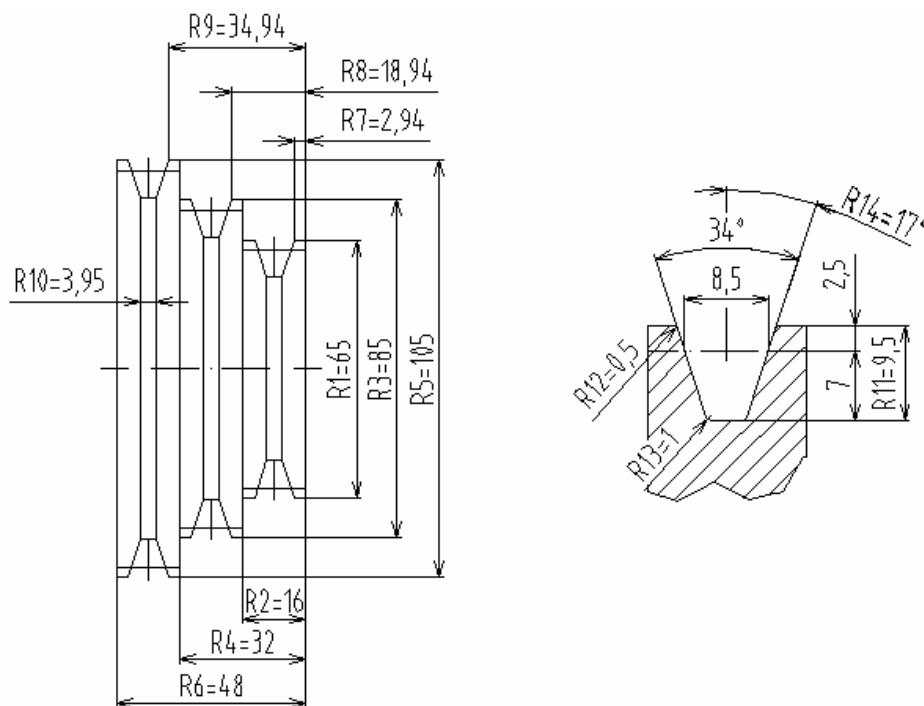
Pokud NC program bude obsahovat cykly, může se místo stávajících parametrů cyklu např. FALX, FALZ atd. nadefinovat R-parametry v úvodu NC programu s komentářem co daný R-parametr znamená, a takto vytvořený program se stává universálním pro součástky, které se programují pomocí cyklů.

2.1 Součást Řemenice

Řemenice je jedna z mnoha součástí kde se dá aplikovat parametrické programování. Mění se často průměry řemenice, rozměry drážek atd..

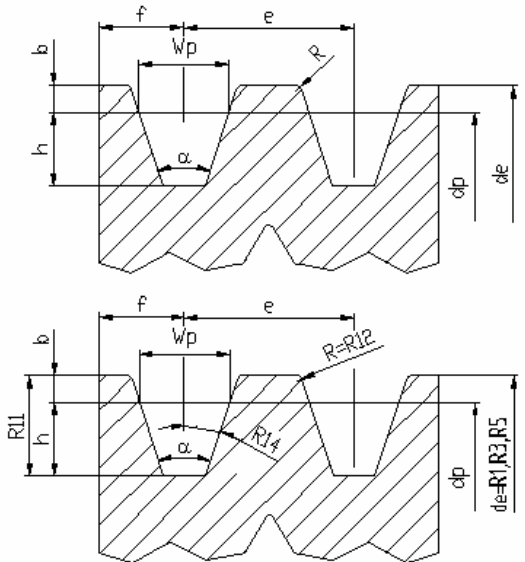


Obr. 2.1 Grafický 3D model součásti Řemenice



Obr. 2.2 Řemenice s R parametry potřebnými pro tvorbu NC programu

Tab. 2.1 Norma pro řemenice s R parametry potřebné pro NC program

Řemenice pro hnací klínové řemeny klasických průřezů. Základní parametry, rozměry		Podle ČSN 02 3179	
		W_p - výpočtová šířka řemenice b - hloubka drážky nad výpočtovou šířkou d_p - výpočtový průměr řemenice h - hloubka drážky pod výpočtovou šířkou e - vzdálenost mezi osami drážek f - vzdálenost mezi osou krajní drážky a nejbližší čelní stranou řemenice α - úhel drážky d_e - vnější průměr řemenice R - poloměr zaoblení hrany drážky řemenice M - šířka řemenice	
R parametry potřebné pro parametrický NC program			
R1, R3, R5 = d_e - vnější průměr řemenice		$R14 = \alpha / 2$ - úhel drážky / 2	
R11 = $h + b$ - výška drážky řemenice		$R12 = R$ - poloměr zaoblení hrany řemenice	
Rozměry v mm			
Výpočtový průměr řemenice d_p	Výpočtový průměr řemenice d_p	Výpočtový průměr řemenice d_p	Výpočtový průměr řemenice d_p
50	(150)	450	(1320)
(53)	160	(475)	1400
56	(170)	500	(1500)
(60)	180	(530)	1600
63	(190)	560	(1700)
(67)	200	(600)	1800
71	(212)	630	(1900)
(75)	224	(670)	2000
80	(236)	710	(2120)
(85)	250	(750)	2240
90	(265)	800	(2360)
(95)	280	(850)	2500
100	(300)	900	(2650)
(106)	315	(950)	2800
112	(335)	1000	(3000)
(118)	355	(1060)	3150

Tab. 2.1 Norma pro řemenice s R parametry potřebné pro NC program - pokračování

Pokračování ČSN 02 3179							
Rozměry v mm							
Průřez řemene	W_p	b_{min}	h_{min}	e jmenovitý	e - mezní úchytky	f jmenovitý	f - mezní úchytky
Z	8,5	2,5	7	12	$\pm 0,3$	8	± 1
A	11	3,3	8,7	15	$\pm 0,3$	10	+2 -1
B	14	4,2	10,8	19	$\pm 0,4$	12,5	+2 -1
C	19	5,7	14,3	25,5	$\pm 0,5$	17	+2 -1
D	27	8,1	19,9	37	$\pm 0,6$	24	+3 -1
E	32	9,6	23,4	44,5	$\pm 0,7$	19	+4 -1
Průřez řemene	R	d_p					
		34°	36°	38°	40°		
Z	0,5	50 až 71	80 až 100	112 až 160	180		
A	1	75 až 112	125 až 160	180 až 400	450		
B	1	125 až 160	180 až 224	250 až 500	560		
C	1,5	-	200 až 315	355 až 630	710		
D	2	-	315 až 450	500 až 900	1000		
E	2	-	500 až 560	630 až 1120	1250		

Ostrý přechod na dně drážky řemenice je koncentrátorem napětí a při zatížení by se vněm iniciovaly trhlinky. V tomto místě je vhodné udělat rádius, aby se předešlo následným komplikacím. Norma ČSN 02 3179 tento rádius neuvádí. Rádius je označen parametrem R13 viz. obr. 2.2

Je-li vytvořena výkresová dokumentace s R-parametry součásti viz. obr. 2.2 a bylo by potřeba změnit některý z rozměrů Řemenice, např. výšku drážky, musí se postupovat následovně:

- Vybere se rozměr součásti s přiřazeným R-parametrem, který je potřeba změnit. Není-li rozměr normalizovaný lze ho jednoduše změnit.
- Je-li však rozměr (R-parametr) normalizovaný je zapotřebí se podívat do příslušné normy, která byla upravena podle výkresu řemenice s

R-parametry viz. tab. 2.1. V normě se najde příslušný parametr, jeho rozměry a jeho význam.

Je třeba pamatovat, že některé parametry souvisí s jinými R-parametry (např. při změně parametru průměru součásti se musí změnit i parametr nájezdu na tento průměr), závisí to na tom jak je daný parametrický NC program zpracován.

Výpočet složek celkové řezné síly při hrubování součásti Řemenice:

Výpočet tangenciální síly F_c ve směru hlavního řezného pohybu:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} = 2130 \cdot 2^{1,01} \cdot 0,4^{0,78} = 2099 \text{ N} \quad (2.1)$$

Výpočet radiální síly F_p ve směru přísuvu:

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} = 900 \cdot 2^{0,57} \cdot 0,4^{0,69} = 709,98 \text{ N} \quad (2.2)$$

Výpočet axiální síly F_f ve směru posuvu:

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} = 369 \cdot 2^{1,43} \cdot 0,4^{0,19} = 835,39 \text{ N} \quad (2.3)$$

Konstanty C_{Fc} , C_{Fp} , C_{Ff} a exponenty x_{Fc} , x_{Fp} , x_{Ff} , y_{Fc} , y_{Fp} , y_{Ff} jsou pro dané podmínky řezného procesu empiricky stanoveny. Pro tyto podmínky byly zvoleny hodnoty konstant a exponentů z literatury (11).

Výpočet řezného výkonu P_c při hrubování součásti Řemenice:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60} = \frac{2099 \cdot 210}{60} = 7346,5 \text{ W} = 7,35 \text{ kW} \quad (2.4)$$

Kontrolní výpočet potřebného výkonu elektromotoru P_m při hrubování součásti Řemenice:

Obvykle se u obráběcích strojů uvádí mechanická účinnost $\eta_m = 0,75 - 0,85$. Pro poloautomatický soustruh SPN 12 CNC byla zvolena mechanická účinnost $\eta_m = 0,83$.

Výkon hnacího elektromotoru P_m se stanoví:

$$P_m = \frac{P_c}{\eta_m} = \frac{7,35}{0,83} = 8,85 \text{ kW} \quad (2.5)$$

Výrobce poloautomatického soustruhu SPN 12 CNC uvádí hodnotu výkonu elektromotoru 9 – 11 kW, to znamená, že vypočtený výkon elektromotoru $P_m = 8,85 \text{ kW}$ je menší než hodnota výkonu udávaná výrobcem. Součást řemenici je možno při zvolených parametrech vyrobit.

Zvolené řezné podmínky pro součást Řemenice:

Řezná rychlost, posuv a šířka záběru byla zvolena dle doporučených řezných podmínek vyměnitelné břitové destičky a možností stroje. Podrobnější informace o nástrojích a řezných podmínkách jsou uvedeny v příloze 1.3.

Volba řezné rychlosti:

- řezná rychlost pro hrubování: $v_c = 210 \text{ m/min}$
- řezná rychlost pro dokončování: $v_c = 230 \text{ m/min}$
- řezná rychlost při zapichování: $v_c = 130 \text{ m/min}$

Volba posuvů:

- posuv pro hrubování: $f = 0,4 \text{ mm}$
- posuv pro dokončování: $f = 0,15 \text{ mm}$
- posuv pro zapichování: $f = 0,1 \text{ mm}$

Volba šířky záběru (velikost přířuvu)

- šířka záběru při hrubování: $a_p = 2 \text{ mm}$
- šířka záběru dokončování: $a_p = 0,5 \text{ mm}$
- velikost přířuvu při zapichování: $a_p = 0,4 \text{ mm}$

Přípravná funkce G96 v NC programu způsobí, že zvolená řezná rychlost bude konstantní po celou dobu obrábění nebo až po změnu řezné rychlosti. Pokud tedy řezná rychlost bude konstantní, bude se, se změnou průměru obrobku měnit velikost otáček. Velikost otáček může být limitována příkazem "LIMS". Je známo že poloautomatický soustruh SPN 12 CNC má maximální velikost otáček 3500 ot/min, proto raději bude proveden kontrolní výpočet otáček pro jednotlivé průměry řemenice zda by nepřekročili maximální velikost otáček stroje. Pokud by tomu tak nastalo, použil by se příkaz LIMS který by otáčky omezil na zvolenou velikost. Výpočet bude proveden jen pro dokončovací operace, neboť při nich jsou používány velké řezné rychlosti. Při obrábění zápichu není potřeba dělat kontrolu otáček a to z důvodu malé řezné rychlosti.

Kontrolní výpočet otáček při dokončování součásti Řemenice

Výpočet otáček pro průměr Řemenice R1 = 65 mm:

$$n_{R1} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 230}{\pi \cdot 65} = 1126 \text{ min}^{-1} \quad (2.6)$$

Výpočet otáček pro průměr Řemenice R3 = 85 mm:

$$n_{R3} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 230}{\pi \cdot 85} = 861 \text{ min}^{-1} \quad (2.6)$$

Výpočet otáček pro průměr Řemenice R5 = 105 mm:

$$n_{R5} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 230}{\pi \cdot 105} = 697 \text{ min}^{-1} \quad (2.6)$$

Žádné z vypočtených otáček nepřesahují limitní hodnotu otáček stroje.

Výpočet drsnosti povrchu Řemenice

Při soustružení je drsnost obrobeného povrchu přímo závislá na kombinaci poloměru špičky břitové destičky a posuvu. Hodnotu maximální výšky nerovností určuje přibližně vztah:

$$R_{\max} = \frac{f_n^2}{8 \cdot r_\epsilon} \cdot 1000 \quad \text{kde: } f_n - \text{posuv}$$

r_ϵ – poloměr špičky nástroje

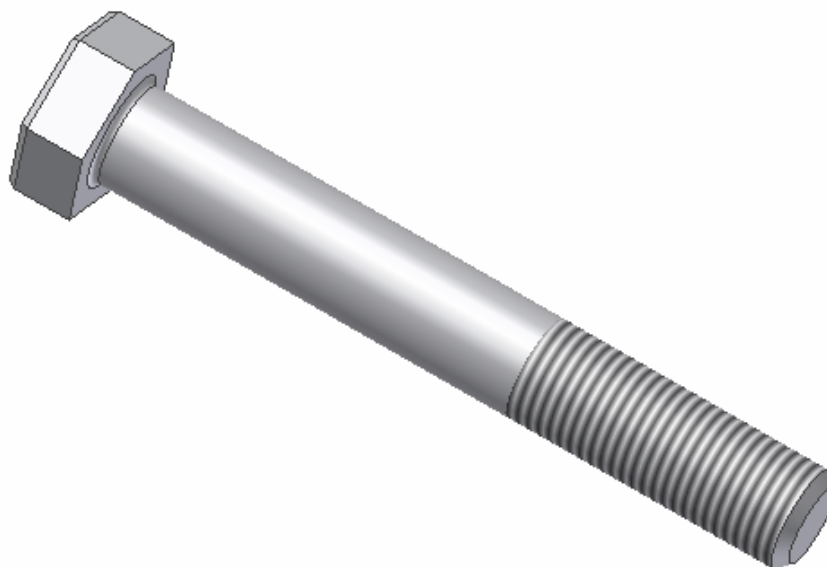
Teoretická maximální výška profilu $R_{\max}$ (maximální drsnost) je přibližná očekávaná hodnota drsnosti povrchu, kterou lze porovnat s nároky na obráběnou součást.

Teoretická maximální výška profilu $R_{\max}$ při dokončování Řemenice:

$$R_{\max} = \frac{f_n^2}{8 \cdot r_\epsilon} \cdot 1000 = \frac{0,15^2}{8 \cdot 0,8} \cdot 1000 = 3,5 \text{ } \mu\text{m} \quad (2.7)$$

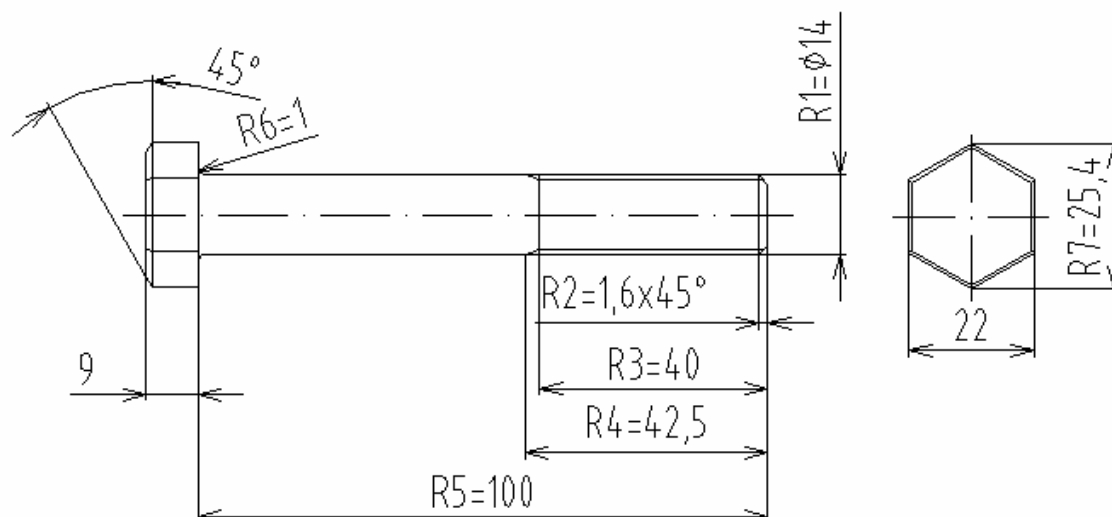
2.2 Součást Šroub

Výrobu šroubů za pomoci parametrického programování lze snadno modifikovat pouhou změnou parametrů. Nejčastěji se měnící parametry jsou délka závitu šroubu a velikost osazení dříku šroubu dále zaoblení, sražení atd.



Obr. 2.3 Grafický 3D model součásti Šroub

Šroub je normalizovaná součást, proto po vytvoření 2D výkresu s R parametry se bude muset zavedené parametry zakomponovat do normy, a to tak aby bylo jasné jaké rozměry šroubu jsou přiřazeny R parametrům.



Obr. 2.4 Šroub s R parametry potřebnými pro tvorbu NC programu

Tab. 2.2 Výběr z norem ČSN 02 1031 a ČSN 02 1033

Výběr z normy ČSN 02 1031		Výběr z normy ČSN 02 1033	
Ukončení šroubů metrickým závitem		Výběhy vnějšího metrického závitu	
Závit d	Sražení závitu z	Závit d	Vnější výběh závitu x
M4	0,5	M4	0,9
M5	1	M5	1
M6	1	M6	1,25
M8	1,4	M8	1,6
M10	1,6	M10	1,9
M12	1,6	M12	2,2
M14	1,6	M14	2,5
M16	2	M16	2,5
M20	2,5	M20	3,2
M24	2,5	M24	3,8
M30	2,5	M30	4,5

Sražení závitu z je na výkrese s R parametry přiřazen parametr R2. Vnější výběh závitu je začleněn do parametru R4 spolu s délkou závitu viz. následující tabulka 2.3.

Tab. 2.3 Norma pro šrouby s R parametry potřebné pro NC program

Přesné šrouby se šestihranou hlavou					Podle ČSN 02 1101				
R parametry potřebné pro parametrický NC program									
R1 = d - průměr závitu					R2 = z - sražení závitu				
R3 = b - délka závitu					R4 = b + x - délka závitu s výběhem				
R5 = l - délka díku šroubu					R6 = R - rádius šroubu				
R7 = e - rozměr hlavy šroubu									
Rozměry v mm									
Závit d	M4	M5	M6	M8, M8x1	M10, M10x1,25	M12, M12x1,25	(M14), (M14x1,5)	M16, M16x1,25	
b	14	16	18	22	26 32	30 36	34 40	38 44	
e	8,1	9,2	11,5	15	19,6	21,9	25,4	27,7	
k	2,8	3,5	4	5,5	7	8	9	10	
R	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	1	1	1,2	
s	7	8	10	13	17	19	22	24	
Délka l v mm									
18	20	22	25	28	30	35	40	45	
50	55	60	65	70	75	80	90	100	
110	120	130	140	150	160	170			
Rozměry v mm									
Závit d	M20, M20x1,5	M24, M24x2	M30, M30x2	M36x3	M42x3	M48x3	M56x4	M64x4	
b	46	54	66	78	90	102	118	140	
	52	60	72	84	96	108	124		
e	34,6	41,6	53,1	63,5	75,1	86,6	98,2	110	
k	13	15	19	23	26	30	35	40	
R	1,2	1,6	1,6	1,8	1,8	2	2	2	
s	30	36	46	55	65	75	85	95	
Délka l v mm									
60	65	70	75	80	90	100	110	120	
130	140	150	160	170	180	190	200	220	

Zvolené řezné podmínky pro součást Šroub:

Volba řezné rychlosti pro hrubování/dokončování:

- řezná rychlost pro hrubování: $v_c = 140 \text{ m/min}$
- řezná rychlost pro dokončování: $v_c = 150 \text{ m/min}$

Volba posuvů pro hrubování/dokončování:

- posuv pro hrubování: $f = 0,4 \text{ mm}$
- posuv pro dokončování: $f = 0,15 \text{ mm}$

Volba šířky záběru (velikost přísluvu) pro hrubování/dokončování:

- šířka záběru při hrubování: $a_p = 2 \text{ mm}$
- šířka záběru dokončování: $a_p = 0,5 \text{ mm}$

Podrobnější informace o nástrojích a řezných podmínkách jsou uvedeny v příloze 2.3.

Pro závit M14 se stoupáním 1,5 je celková hodnota přísluvu $a_p = 0,812 \text{ mm}$. Vybraná destička má maximální hodnotu $a_p = 0,94$ což v tomto případě vyhovuje. Řezná destička neobrábí celkovou hodnotu a_p najednou, ale provede řadu řezů (průchodů). Rozdělením celkové hloubky závitu do řady malých řezů se zaručuje, že nedojde k přetížení citlivého závitořezného hrotu. Typickou (doporučenou) hodnotou přísluvu na jeden průchod je $0,15 \text{ mm}$. Celkový počet průchodů n_p tedy je: $n_p = 0,812 / 0,15 = 5,4 = 6$ průchodů. Počet průchodů pro jednotlivé destičky uvádí výrobce ve svém katalogu destiček. (12)

Řezné podmínky pro řezání závitu Šroubu:

- řezná rychlost $v_c = 125 \text{ m/min}$
- celková hodnota přísluvu $a_p = 0,812 \text{ mm}$
- počet průchodů $n_p = 6$
- posuv $f = 1,5 \text{ mm/ot}$

Výpočet složek celkové řezné síly při hrubování součásti Šroub:

Výpočet tangenciální síly F_c ve směru hlavního řezného pohybu:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} = 2130 \cdot 2^{1,01} \cdot 0,4^{0,78} = 2099 \text{ N} \quad (2.1)$$

Výpočet radiální síly F_p ve směru přísuvu:

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} = 900 \cdot 2^{0,57} \cdot 0,4^{0,69} = 709,98 \text{ N} \quad (2.2)$$

Výpočet axiální síly F_f ve směru posuvu:

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} = 369 \cdot 2^{1,43} \cdot 0,4^{0,19} = 835,39 \text{ N} \quad (2.3)$$

Konstanty C_{Fc} , C_{Fp} , C_{Ff} a exponenty x_{Fc} , x_{Fp} , x_{Ff} , y_{Fc} , y_{Fp} , y_{Ff} jsou pro dané podmínky řezného procesu empiricky stanoveny. Pro tyto podmínky byly zvoleny hodnoty konstant a exponentů z literatury (11).

Výpočet řezného výkonu P_c při hrubování součásti Šroub:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60} = \frac{2099 \cdot 140}{60} = 4898 \text{ W} = 4,89 \text{ kW} \quad (2.4)$$

Kontrolní výpočet potřebného výkonu elektromotoru P_m při hrubování součásti Šroub:

Obvykle se u obráběcích strojů uvádí mechanická účinnost $\eta_m = 0,75 - 0,85$. Pro poloautomatický soustruh SPN 12 CNC byla zvolena mechanická účinnost $\eta_m = 0,83$.

Výkon hnacího elektromotoru P_m se stanoví:

$$P_m = \frac{P_c}{\eta_m} = \frac{4,89}{0,83} = 5,89 \text{ kW} \quad (2.5)$$

Výrobce poloautomatického soustruhu SPN 12 CNC uvádí hodnotu výkonu elektromotoru 9 – 11 kW, to znamená, že vypočtený výkon elektromotoru $P_m = 5,89$ kW je menší než hodnota výkonu udávaná výrobcem. Součást šroub je možno při zvolených parametrech vyrobit.

Kontrolní výpočet otáček při dokončování součásti Šroub

Výpočet otáček pro průměr Šroubu $R1 = 14$ mm:

$$n_{R1} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 150}{\pi \cdot 14} = 3400 \text{ min}^{-1} \quad (2.6)$$

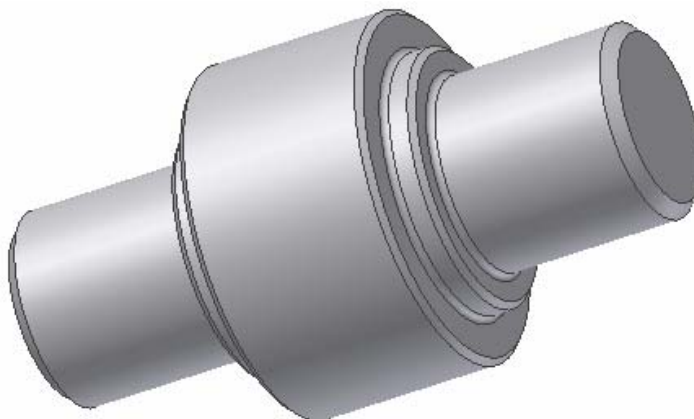
Výpočet drsnosti povrchu Šroubu

Teoretická maximální výška profilu $R_{\max}$ při dokončování Šroubu:

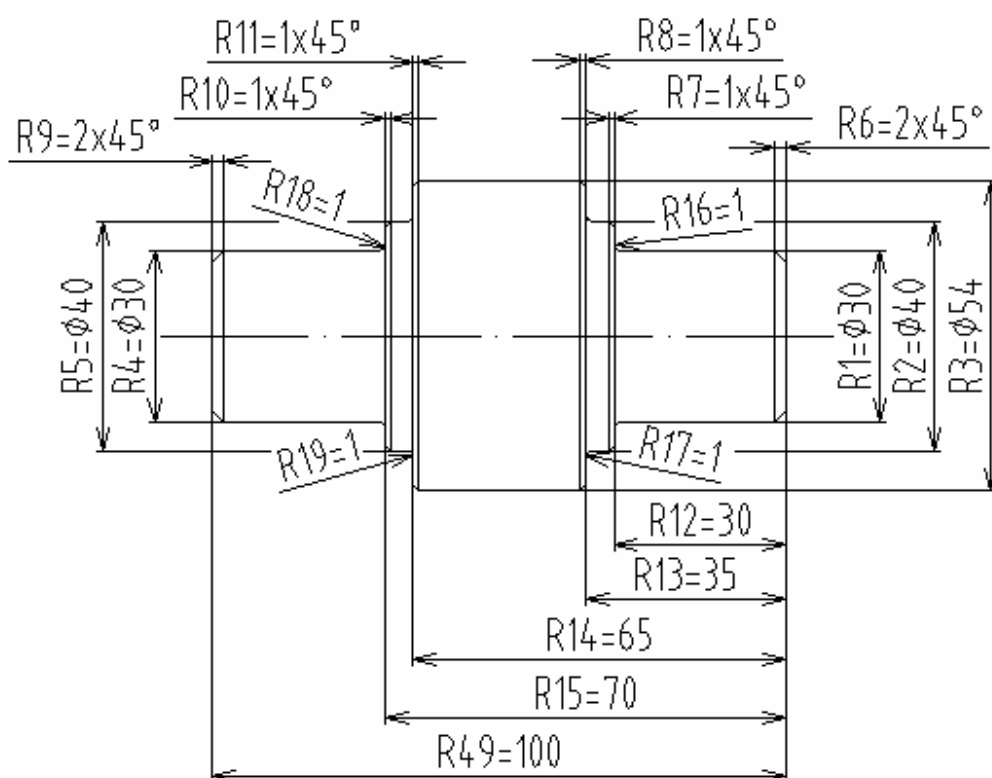
$$R_{\max} = \frac{f_n^2}{8 \cdot r_\epsilon} \cdot 1000 = \frac{0,15^2}{8 \cdot 0,8} \cdot 1000 = 3,5 \text{ } \mu\text{m} \quad (2.7)$$

2.3 Součást Pastorek

Pro tuto součást je typické, že se často mění průměry pastorku a délky osazení jednotlivých průměrů. Pastorek je oboustranně osazená součást vhodná pro parametrické programování.



Obr. 2.5 Grafický 3D model Pastorku



Obr. 2.6 Pastorek s R parametry potřebnými pro tvorbu NC programu

Zvolené řezné podmínky pro součást Pastorek:

Volba řezné rychlosti:

- řezná rychlost pro hrubování: $v_c = 210 \text{ m/min}$
- řezná rychlost pro dokončování: $v_c = 230 \text{ m/min}$

Volba posuvů:

- posuv pro hrubování: $f = 0,4 \text{ mm}$
- posuv pro dokončování: $f = 0,15 \text{ mm}$

Volba šířky záběru (velikost přířuvu)

- šířka záběru při hrubování: $a_p = 2 \text{ mm}$
- šířka záběru dokončování: $a_p = 0,5 \text{ mm}$

Podrobnější informace o nástrojích a řezných podmínkách jsou uvedeny v příloze 3.3.

Výpočet složek celkové řezné síly při hrubování součásti Pastorek:

Výpočet tangenciální síly F_c ve směru hlavního řezného pohybu:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} = 2130 \cdot 2^{1,01} \cdot 0,4^{0,78} = 2099 \text{ N} \quad (2.1)$$

Výpočet radiální síly F_p ve směru přísuvu:

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} = 900 \cdot 2^{0,57} \cdot 0,4^{0,69} = 709,98 \text{ N} \quad (2.2)$$

Výpočet axiální síly F_f ve směru posuvu:

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} = 369 \cdot 2^{1,43} \cdot 0,4^{0,19} = 835,39 \text{ N} \quad (2.3)$$

Konstanty C_{Fc} , C_{Fp} , C_{Ff} a exponenty x_{Fc} , x_{Fp} , x_{Ff} , y_{Fc} , y_{Fp} , y_{Ff} jsou pro dané podmínky řezného procesu empiricky stanoveny. Pro tyto podmínky byly zvoleny hodnoty konstant a exponentů z literatury (11).

Výpočet řezného výkonu P_c při hrubování součásti Pastorek:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60} = \frac{2099 \cdot 210}{60} = 7346,5 \text{ W} = 7,35 \text{ kW} \quad (2.4)$$

Kontrolní výpočet potřebného výkonu elektromotoru P_m při hrubování součásti Pastorek:

Obvykle se u obráběcích strojů uvádí mechanická účinnost $\eta_m = 0,75 - 0,85$. Pro poloautomatický soustruh SPN 12 CNC byla zvolena mechanická účinnost $\eta_m = 0,83$.

Výkon hnacího elektromotoru P_m se stanoví:

$$P_m = \frac{P_c}{\eta_m} = \frac{7,35}{0,83} = 8,85 \text{ kW} \quad (2.5)$$

Výrobce poloautomatického soustruhu SPN 12 CNC uvádí hodnotu výkonu elektromotoru 9 – 11 kW, to znamená, že vypočtený výkon elektromotoru $P_m = 8,85$ kW je menší než hodnota výkonu udávaná výrobcem. Součást pastorek je možno při zvolených parametrech vyrobit.

Kontrolní výpočet otáček při dokončování součásti Pastorek

Výpočet otáček pro průměr Pastorku R1 = 30 mm:

$$n_{R1} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 230}{\pi \cdot 30} = 2440 \text{ min}^{-1} \quad (2.6)$$

Výpočet otáček pro průměr Pastorku R2 = 40 mm:

$$n_{R3} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 230}{\pi \cdot 40} = 1830 \text{ min}^{-1} \quad (2.6)$$

Výpočet otáček pro průměr Pastorku R3 = 54 mm:

$$n_{R5} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 230}{\pi \cdot 54} = 1355 \text{ min}^{-1} \quad (2.6)$$

Žádné z vypočtených otáček nepřesahují maximální hodnotu otáček stroje.

Výpočet drsnosti povrchu Pastorku

Teoretická maximální výška profilu $R_{\max}$ při dokončování Pastorku:

$$R_{\max} = \frac{f_n^2}{8 \cdot r_\varepsilon} \cdot 1000 = \frac{0,15^2}{8 \cdot 0,8} \cdot 1000 = 3,5 \text{ } \mu\text{m} \quad (2.7)$$

3. ZPRACOVÁNÍ A EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NC PROGRAMŮ

Při tvorbě parametrických NC programu se vycházelo z výkresů, které jsou zakótovány s R parametry. Byla zvolena varianta při které se všechny potřebné R parametry nadefinovali v hlavním programu s koncovkou "MPF". Tato varianta byla zvolena z důvodu, že je prokazatelně přehlednější a snadno se v ní orientuje. Popis ostatních variant viz. kapitola 1.3.1. Po nadefinování všech proměnných parametrů bylo zahájeno vlastní programování zvolených součástí.

Ověření NC programů se uskutečnilo ve výukovém programu Sinutrain, jehož výhody jsou:

- instalace přímo na počítači v kanceláři nebo učebně
- testování NC programů pomocí grafické simulace
- výběr z několika možností programování: ISO kódem nebo v prostředí dílenského programování ShopTurn

Po dokončení programu a jeho simulace viz obr. 3.1, která proběhla bez komplikací, je program připraven k přenosu do řídicího systému stroje SPN 12 CNC. Řídicím systémem stroje je již několikrát zmiňovaný Sinumerik 810D. Pro přenos programu ŘEMENICE byl použit flash disk USB 1.0 a to z důvodu, že hardware stroje nepodporoval USB 2.0. Po přenosu, byla znovu provedena simulace, zda-li při přenosu ze softwaru Sinutrain do řídicího systému Sinumerik 810D nedošlo k nějaké chybě. Byla provedena ruční výměna nástrojů podle požadavků technologického postupu a následné zapsání čísla nožového držáku do NC programu.

Poslední nutností před vlastní výrobou řemenice, bylo nastavení délkových a rádiusových korekcí jednotlivých nástrojů a nastavení nulového bodu obrobku. Vlastní obrábění proběhlo bez problému.

3.1 Zpracování a ověření NC programu součásti Řemenice

N10 MSG ("REMENICE") ;textová poznámka, název součásti
 N20 G54 ;posunutí nulového bodu obrobku
 N30 G90 DIAMON G18 G95 ;absolutní programování, rovina XZ, f [mm]
 N40 G0 X140 Z1 ;nájezd nástroje do bodu výměny nástroje
 N50 H1 T2 D1 ;výměna nástroje
 ; nastavení R parametrů a jejich význam
 R0 = 1 ;startovací bod kontury v ose Z
 R1 = 65 ;průměr první řemenice, SPD – počáteční bod v ose X
 R2 = -16 ;délka osazení první řemenice
 R3 = 85 ;průměr druhé řemenice, SPD – počáteční bod v ose X
 R4 = -32 ;délka osazení druhé řemenice
 R5 = 105 ;průměr třetí řemenice, SPD – počáteční bod v ose X
 R6 = -48 ;délka osazení třetí řemenice
 R7 = -2,94 ;SPL – počáteční bod drážky první řemenice v ose Z
 R8 = -18,94 ;SPL – počáteční bod drážky druhé řemenice v ose Z
 R9 = -34,94 ;SPL – počáteční bod drážky třetí řemenice v ose Z
 R10 = 3,95 ;WIDG – šířka zápichu
 R11 = 9,5 ;DIAG – výška drážky řemenice (hloubka zápichu)
 R12 = 0,5 ;RCO1, RCO2 – vnější zaoblení drážek řemenice
 R13 = 1 ;RCI1, RCI2 – vnitřní zaoblení drážek řemenice
 R14 = 17 ;ANG1, ANG2 – vrcholový úhel zápichu

 R32 = 107 ;nájezd nástroje k třetí drážce řemenice v ose X
 ;pokračování NC programu
 N60 G0 X = R16 Z = R17 ;nájezd nástroje k polotovaru obrobku
 N70 G96 S180 M4 M8 ;konst. řezná rychlost, otáčky vřetene CCW,
 ;zapnutí chlazení
 N80 CYCLE95("KONTURA",R18, R19, R20, 0, R21, R22, R26, 1, 0, 0, 1)
 ;soustružnický cyklus CYCLE95 - hrubování

N90 G0 X = R16	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N100 Z = R17	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N110 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N120 H2 T4 D1	;výměna nástroje
N130 G0 X = R16 Z = R17	;nájezd nástroje před obrobek
N140 G96 S200	;konstantní řezná rychlost
N150 CYCLE95 ("KONTURA",R23, R24, R25, 0, R21, R22, R26, 5, 0, 0, 1)	;soustružnický cyklus CYCLE95 – na čisto
N160 G0 X = R16	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N170 Z = R17	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N180 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N190 H3 T3 D2	;výměna nástroje
N200 G0 X = R16 Z = R17	;nájezd nástroje před obrobek
N210 G96 S120 F0,06	;konstantní řezná rychlost, posuv
N220 CYCLE93 (R1, R7, R10, R11, R27, R14, R14, R12, R12, R13, R13, R28, R29, R30, 0, 5, 0)	;cyklus zápich u první řemenice
N230 G0 X = R31	;nájezd před druhou řemenici v ose X
N240 Z = R2	;nájezd před druhou řemenici v ose Z
N250 CYCLE93 (R3, R8, R10, R11, R27, R14, R14, R12, R12, R13, R13, R28, R29, R30, 0, 5, 0)	;cyklus zápich u druhé řemenice
N260 G0 X = R32	;nájezd před třetí řemenici v ose X
N270 Z = R4	;nájezd před třetí řemenici v ose Z
N280 CYCLE93 (R5, R9, R10, R11, R27, R14, R14, R12, R12, R13, R13, R28, R29, R30, 0, 5, 0)	;cyklus zápich u třetí řemenice
N290 G0 X = R16	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N300 Z = R17	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N310 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N320 M30	;konec programu

Podprogram KONTURA programu ŘEMENICE:

N10 MSG ("KONTURA")	;textová poznámka, název podprogramu
N20 G18 G90 DIAMON	;absolutní programování, rovina XZ
N30 G0 X = R1 Z = R0	;startovací bod kontury
N40 G1 Z = R2	} jednotlivé body kontury
N50 X = R3	
N60 Z = R4	
N70 X = R5	
N80 Z = R15	
N90 M17	;konec podprogramu a návrat do hlavního programu

Úplná verze řídicího NC programu pro zpracovanou součást s názvem Řemenice je uvedena v příloze 1.4.



Obr. 3.1 Simulace programu ŘEMENICE

3.2 Zpracování a ověření NC programu součásti Šroub

N10 MSG ("ŠROUB") ;textová poznámka, název součásti
 N20 G54 ;posunutí nulového bodu obrobku
 N30 G90 DIAMON G18 G95 ;absolutní programování, rovina XZ, f [mm]
 N40 G0 X140 Z1 ;najíždí rychlopos. do bodu výměny nástroje
 N50 H1 T2 D1 ;výměna nástroje
 ;nastavení R parametrů a jejich význam
 R0 = 27 ;nájezd k polotovaru součásti v ose X
 R1 = 14 ;průměr závitu šroubu dle výkresu součásti
 R2 = -1,6 ;sražení závitu na cele závitu šroubu
 R3 = -40 ;délka závitu bez výběhu, PO2 – první mezilehlý bod v ose Z
 R4 = -42,5 ;délka závitu s výběhem, PO1 – počáteční bod závitu v ose Z
 R5 = -100 ;délka celého dřívku šroubu dle výkresu součásti
 R6 = 1 ;rádius (zaoblení) dle výkresu šroubu
 R7 = 25,4 ;průměr hlavy šroubu
 R8 = 2 ;nájezd k polotovaru v ose Z
 R9 = 8,8 ;startovací bod kontury v ose X
 R10 = 1 ;startovací bod kontury v ose Z
 R11 = 27 ;vyjetí z kontury v ose X

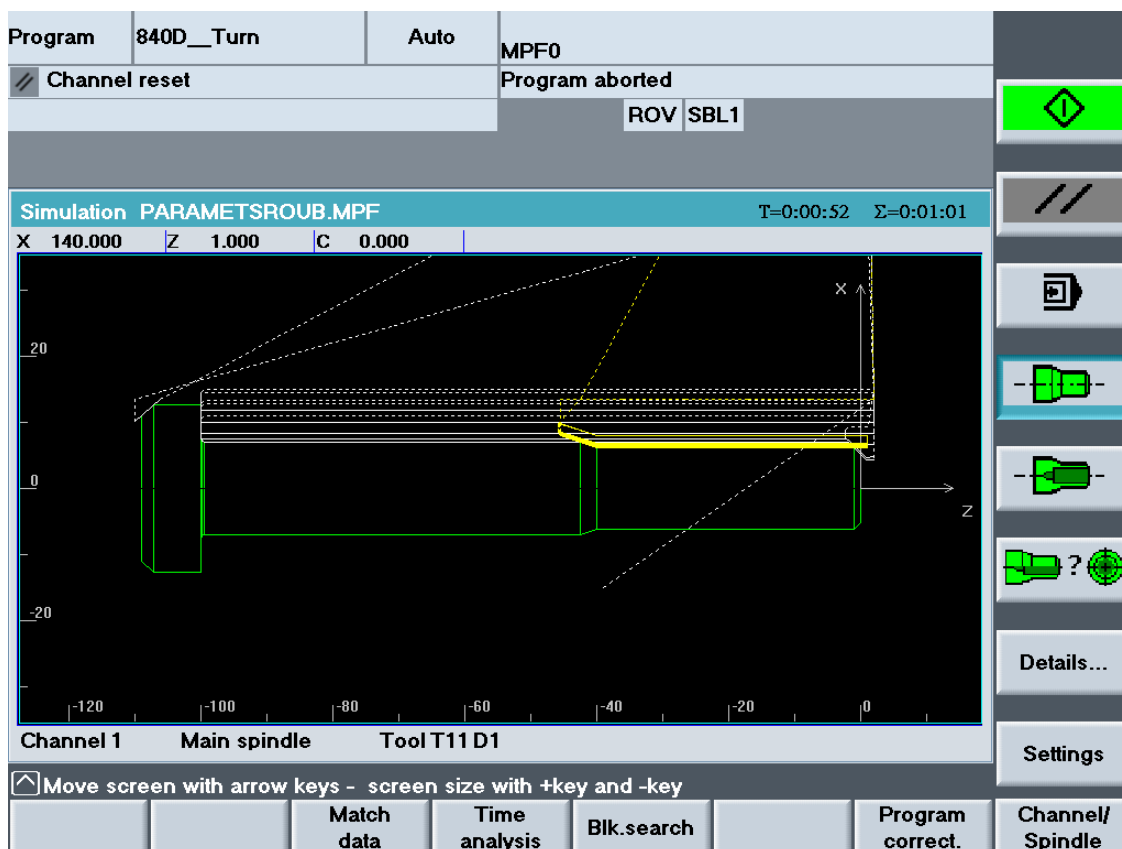
 R38 = 27 ; výjezd ze sražení v ose X
 R39 = -106,1 ;výjezd ze sražení v ose Z
 ;pokračování NC programu
 N60 G0 X = R0 Z = R8 ;nájezd nástroje k polotovaru obrobku
 N70 G96 S200 M4 M8 ;konst. řezná rychlost, otáčky vřetene CCW,
 ;zapnutí chlazení
 N80 LIMS=2500 ;omezení otáček na $n_{\max} = 2500 \text{ min}^{-1}$
 N90 CYCLE95 ("KONTURA", R12, R13, R14, 0, R15, R16, R20, 1, 0, 0, 1)
 ;soustružnický cyklus CYCLE95 - hrubování
 N100 G0 X = R0 ;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
 N110 Z = R8 ;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury

N120 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N130 H2 T4 D1	;výměna nástroje
N140 G0 X = R0 Z = R8	;nájezd nástroje před obrobek
N150 G96 S200	;konstantní řezná rychlost
N160 CYCLE95 ("KONTURA", R17, R18, R19, 0, R15, R16, R20, 5, 0, 0, 1)	;soustružnický cyklus CYCLE95 – na čisto
N170 G0 X = R0	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N180 Z = R8	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N190 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N200 H3 T15 D1	;výměna nástroje
N210 G0 X = R0 Z = R4	;nájezd nástroje před obrobek
N220 G96 S125 F1,5	;konstantní řezná rychlost, posuv
N230 CYCLE98 (R4, R21, R3, R22, R23, R24, R25, R24, R26, R27, R28, R29, R30, 1, R32, R33, R34, 1, R35, 0)	;cyklus řetězení závitů
N240 G0 X = R0	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N250 Z = R8	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N260 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N270 H4 T11 D1	;výměna nástroje
N280 G0 X = R0 Z = R36	;nájezd nástroje před sražení
N290 G0 X = R37	;nájezd nástroje před sražení
N300 G1 X = R38 Z = R39 S180 F0,3	;soustružení sražení, prac. posuvem
N310 G0 X140 Z1	;odjetí nástroje do bodu výměny nástroje
N320 M30	;konec programu

Podprogram KONTURA programu ŠROUB:

N10 MSG ("KONTURA")	;textová poznámka, název podprogramu
N20 G18 G90 DIAMON	;absolutní programování, rovina XZ
N30 G0 X = R9 Z = R10	;startovací bod kontury
N40 G1 X = R1 Z = R2	} jednotlivé body kontury
N50 Z = R5 RND = R6	
N70 X = R7	
N80 G0 X = R11	;vyjetí z kontury
N90 M17	;konec podprogramu a návrat do hlavního programu

Úplná verze řídicího NC programu pro zpracovanou součást s názvem Šroub je uvedena v příloze 2.4.



Obr. 3.2 Simulace programu ŠROUB

3.3 Zpracování a ověření NC programu součásti Pastorek

N10 MSG ("PASTOREK")	;textová poznámka, název součásti
N20 G54	;posunutí nulového bodu obrobku
N30 G90 DIAMON G18 G95	;absolutní programování, rovina XZ, f [mm]
N40 G0 X140 Z1	;njetí. rychlopos. do bodu výměny nástroje
N50 H1 T2 D1	;výměna nástroje
;nastavení R parametrů a jejich význam	
R0 = 56	;nájezd před součást v ose X
R1 = 30	;malý průměr pastorku na pravé straně součásti
R2 = 40	;střední průměr pastorku na pravé straně součásti
R3 = 54	;velký průměr pastorku na pravé straně součásti

R4 = 30 ;malý průměr pastorku na levé straně součásti
 R5 = 40 ;střední průměr pastorku na levé straně součásti
 R6 = 2 ;sražení malého průměru pastorku na pravé straně součásti
 R7 = 1 ;sražení středního průměru pastorku na pravé straně součásti
 R8 = 1 ;sražení velkého průměru pastorku na pravé straně součásti
 R9 = 2 ;sražení malého průměru pastorku na levé straně součásti
 R10 = 1 ;sražení středního průměru pastorku na levé straně součásti
 R11 = 1 ;sražení velkého průměru pastorku na levé straně součásti
 R12 = 30 ;bod konce osazení malého průměru na pravé straně pastorku
 R13 = 35 ;bod konce osazení středního průměru na pravé straně pastor.
 R14 = -65 ;bod konce osazení středního průměru na levé straně pastorku
 R15 = -70 ;bod konce osazení malého průměru na levé straně pastorku
 R16 = 1 ;rádius na malém průměru pravé strany pastorku
 R17 = 1 ;rádius na středním průměru pravé strany pastorku
 R18 = 1 ;rádius na malém průměru levé strany pastorku
 R19 = 1 ;rádius na středním průměru levé strany pastorku

 R49 = 100 ;celková délka pastorku
 R50 = -R49 + R9 ;výpočet bodu sražení v ose Z malého průměru pastorku

;pokračování NC programu

N60 G0 X = R0 Z = R20 ;nájezd nástroje před polotovar součásti
 N70 G0 X = R3 ;nájezd nástroje rychloposuvem na velký $\varnothing$
 N80 G1 Z = -R30 F0,4 ;lineární interpolace, definování velikosti f
 N90 G0 X = R0 ;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
 N100 Z = R20 ;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
 N110 G96 S200 M4 M8 ;konst. řezná rychlost, otáčky vřetene CCW,
 ;zapnutí chlazení
 N120 CYCLE95 ("KONTURA1", R31, R32, R33, 0, R34, R35, R39, 1, 0, 0, 1)
 ;soustružnický cyklus CYCLE95 - hrubování
 N130 G0 X = R0 ;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
 N140 Z = R20 ;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury

N150 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N160 H2 T4 D1	;výměna nástroje
N170 G0 X = R0 Z = R20	;nájezd nástroje před obrobek
N180 G96 S180	;konstantní řezná rychlost
N190 CYCLE95 ("KONTURA1", R36, R37, R38, 0, R34, R35, R39, 5, 0, 0, 1)	;soustružnický cyklus CYCLE95 – na čisto
N200 G0 X = R0	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N210 Z = R20	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N220 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N230 H3 T10 D1	;výměna nástroje
N240 G0 X = R0 Z = -R25	;njetí nástroje před obrobek z levé strany
N250 G96 S200	;konstantní řezná rychlost
N260 CYCLE95 ("KONTURA2", R40, R41, R42, 0, R43, R44, R48, 1, 0, 0, 1)	;soustružnický cyklus CYCLE95 - hrubování
N270 G0 X = R0	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N280 Z = R20	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N290 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N300 H4 T11 D1	;výměna nástroje
N310 G0 X = R0 Z = -R25	;njetí nástroje před obrobek z levé strany
N320 G96 S180	;konstantní řezná rychlost
N330 CYCLE95 ("KONTURA2", R45, R46, R47, 0, R43, R44, R48, 5, 0, 0, 1)	;soustružnický cyklus CYCLE95 – na čisto
N340 G0 X = R0	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N350 Z = R20	;odjetí nástroje rychloposuvem od kontury
N360 G0 X140 Z1	;njetí rychlopos. do bodu výměny nástroje
N350 M30	;konec programu

Podprogram KONTURA1 programu PASTOREK:

N10 MSG ("KONTURA1")	;textová poznámka, název podprogramu
N20 G18 G90 DIAMON	;absolutní programování, rovina XZ
N30 G0 X = R21 Z = R22	;startovací bod kontury

N40 G1 X = R1 Z = -R6	}	jednotlivé body kontury, radiusi a sražení
N50 Z = -R12 RND = R16		
N60 X = R2 CHR = R7		
N70 Z = -R13 RND = R17		
N80 X = R3 CHR = R8		
N100 X = R23 Z = -R24	;vyjetí z kontury	
N110 M17	;konec podprogramu a návrat do hlavního programu	

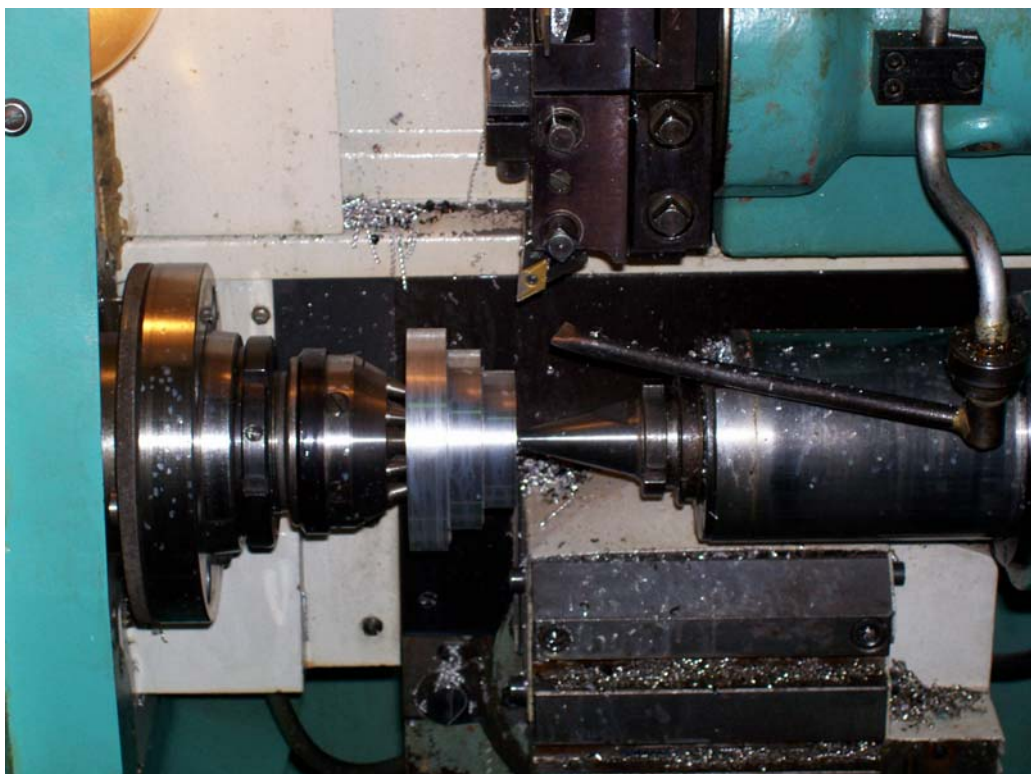
Podprogram KONTURA2 programu PASTOREK:

N10 MSG ("KONTURA2")	;textová poznámka, název podprogramu	
N20 G18 G90 DIAMON	;absolutní programování, rovina XZ	
N30 G0 X = R26 Z = R27	;startovací bod kontury	
N40 G1 X = R4 Z = R50	}	jednotlivé body kontury, rádiusi a sražení
N50 Z = R15 RND = R18		
N60 X = R5 CHR = R10		
N70 Z = R14 RND = R19		
N80 X = R3 CHR = R11		
N90 X = R28 Z = R29	;vyjetí z kontury	
N100 M17	;konec podprogramu a návrat do hlavního programu	

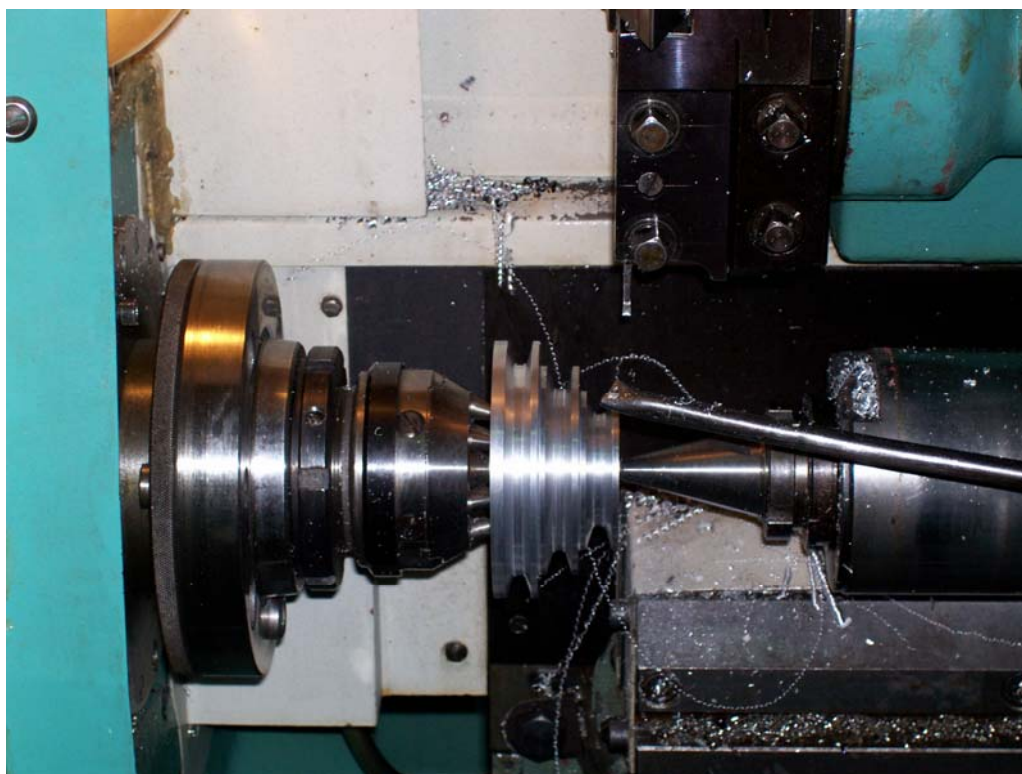
Úplná verze řídicího NC programu pro zpracovanou součást s názvem Pastorek je uvedena v příloze 3.4.



Obr. 3.3 Simulace programu PASTOREK



Obr. 3.4 Ukázka výroby součásti ŘEMENICE



Obr. 3.5 Ukázka výroby součásti ŘEMENICE



Obr. 3.6 Hotová součást ŘEMENICE



Obr. 3.7 Hotová součást ŘEMENICE

ZÁVĚR

Problematika programování CNC strojů je značně široká a neustále se vyvíjí. Tato práce se zaměřením na parametrické programování CNC strojů ukazuje jednu z cest, kudy se dnešní moderní programování CNC strojů vydává. Přesto, že ukázky programování byly programovány v konkrétním řídicím systému Sinumerik 810D, práce obsahuje obecné poznatky využití parametrického programování ve strojírenské praxi.

Použitím parametrického programování lze ukázat, že možnosti CNC programování ještě nejsou zcela vyčerpány. Jedním z cílů této práce je aby odborná veřejnost pochopila smysl tohoto stylu programování a poznali jaké variability lze tímto programováním docílit. Universálnost parametricky psaného programu má velkou výhodu v šetření času programátora, který nemusí psát nový program pro tvarově podobnou součást, ale pouhou změnou parametrů se mění charakter vyráběné součásti. Práce obsahuje obecný návod jak postupovat při tvorbě parametrických programů od tvorby modelů přes tvorbu 2D výkresů s R parametry až po parametrický NC program.

Práce obsahuje konkrétní příklady součástí, ke kterým je zpracována kompletní technická dokumentace včetně NC programů. Takto zpracovaná diplomová práce poslouží jako studijní podklady pro další generaci studentů, ale i těm, kteří si potřebují zvýšit kvalifikaci v oblasti CNC programování.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SIEMENS a.s. Návod k programování: Základy. 4. vyd. Erlangen: SIEMENS, 2000. 456 s.
2. PÍŠKA, Miroslav, POLZER, Aleš. *Popis poloautomatického soustruhu SPN 12 CNC s řídicím systémem Sinumerik 810D*. Výukový text v oboru „Strojírenská technologie – obrábění“ [CD-ROM]. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie.
3. KURKA, Jiří. *Řídicí systémy, pohony a motory pro obráběcí stroje společnosti Siemens*. [online]. [cit. 2000-03-08]. Dostupné z <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=984>>.
4. ADAMEC, Jaromír. *Programování CNC systémů Sinumerik 810D/840D – frézování*. 1. vyd. 2006. 148 s.
5. ŠTULPA, Miroslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. 2006. 128 s. ISBN 80-7300-207-8.
6. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. *Technická příručka obrábění*. 1. vyd. 2005. 554 s.
7. SIEMENS AG a.s. *Stručný návod: Programování*. 10. vyd. Erlangen: SIEMENS, 2000. 100 s.
8. HILL, Michal. *EMCO WinNC SINUMERIC 840D soustružení*. Uživatelská příručka. [online]. [cit. 2000-03-08]. Dostupné z <http://www.2.sps-jia.cz/~hill/sin_t_prirucka.pdf>.
9. POLZER, Aleš. *Parametrické programování a skoky v NC programech*. [online]. [cit. 2000-03-08] Dostupné z <http://www.techtydenik.cz/priklad_4.pdf>.
10. SIEMENS AG a.s. *Příručka k programování: Pro pokročilé*. 03.04 vyd. Erlangen: SIEMENS, 2004.
11. HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
12. CoroKey: Příručka pro volbu nástrojů. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. 4. vyd. 1998. C-2903;4-CZE.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CNC		počítačem číslicově řízený (<i>computer numeric control</i>)
ŘS		řídící systém
NC		číslíkově řízený (<i>numeric kontrol</i>)
VBD		vyměnitelná břitová destička
S-N-O		stroj-nástroj-obrobek
R		výpočetní parametr, předdefinovaná proměnná
κ_r	[°]	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
κ_r'	[°]	nástrojová úhel nastavení vedlejšího ostří
r_ϵ	[mm]	poloměr zaoblení špičky nástroje
v_c	[m·min ⁻¹]	řezná rychlost
f	[mm]	posuv
f_n	[mm]	posuv na otáčku
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
F_c	[N]	tangenciální síla ve směru hlavního řezného procesu
F_p	[N]	radiální síla ve směru přísmu
F_f	[N]	axiální síla ve směru posuvu
C_{Fc}, C_{Fp}, C_{Ff}	[-]	Konstanty, vyjadřující vliv obráběného materiálu
X_{Fc}, X_{Fp}, X_{Ff}	[-]	exponenty, vyjadřující vliv hloubky řezu
Y_{Fc}, Y_{Fp}, Y_{Ff}	[-]	exponenty, vyjadřující vliv posunu na otáčku
P_c	[kW]	řezný výkon
η_m	[-]	mechanická účinnost
P_m	[kW]	výkon hnacího elektromotoru
n	[min ⁻¹]	otáčky obrobku
D	[mm]	průměr obrobku
R_{max}	[μm]	maximální drsnost povrchu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Technický výkres součásti Řemenice
- Příloha 2 Technologický postup součásti Řemenice
- Příloha 3 Soustružnické nástroje a řezné podmínky pro součást Řemenice
- Příloha 4 Řídící program součásti Řemenice
- Příloha 5 Technický výkres součásti Šroub
- Příloha 6 Technologický postup součásti Šroub
- Příloha 7 Soustružnické nástroje a řezné podmínky pro součást Šroub
- Příloha 8 Řídící program součásti Šroub
- Příloha 9 Technický výkres součásti Pastorek
- Příloha 10 Technologický postup součásti Pastorek
- Příloha 11 Soustružnické nástroje a řezné podmínky pro součást Pastorek
- Příloha 12 Řídící program součásti Pastorek