

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T004 Strojírenská technologie – technologie
obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Podprogram pro hrubování zkosení rohu čelní frézou při pětiosém
obrábění

Autor: **Bc. Petr BOUŘIL**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří VYŠATA, Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

Zadání práce

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Jiřímu Vyšatovi, Ph.D. za ochotu, připomínky a cenné rady při vedení této diplomové práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bouřil	Jméno Petr		
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vyšata, Ph.D.	Jméno Jiří		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Podprogram pro hrubování zkosení rohu čelní frézou při pětiosém obrábění			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	67	TEXTOVÁ ČÁST	49	GRAFICKÁ ČÁST	18
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce se zabývá tvorbou podprogramu pro zkosení rohu vykloněnou čelní frézou. Úvodní kapitoly se zabývají programováním CNC strojů a analýzou současného stavu. Dále je vytvořen matematický model zkosení rohu a jsou navrženy strategie frézování. Pro dvě vybrané strategie jsou v řídicím systému Heidenhain vytvořeny podprogramy pomocí Q-parametrů. V závěru práce je uvedeno ověření funkčnosti obou podprogramů.
KLÍČOVÁ SLOVA	parametrické programování, podprogram, čelní fréza, pětiosé obrábění

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bouřil	Name Petr	
FIELD OF STUDY	2303T004 Manufacturing processes – Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Vyšata, Ph.D.	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Subprogram for roughing corner chamfer using the face mill during the five-axis machining		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Technology of Metal Cutting	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	-----------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	67	TEXT PART	49	GRAPHICAL PART	18
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis is focused on creation of subprogram for corner chamfer with the inclined face mill. Introductory chapters are focused on programming of CNC machines and analysis of the current situation. In the next chapter is created mathematical model of corner chamfer and then there are designed strategies of machining . For two selected strategies in the control system Heidenhain are created subprogrammes using the Q-parameters. In the conclusion of this work is stated verify the functionality of both subprogrammes.
KEY WORDS	parametric programming, subprogram, face mill, five-axis machining

Obsah

1. Úvod	9
1.2. Zadání	10
2. Obráběcí stroje a jejich programování.....	11
2.1. Ruční programování	11
2.2. Dílensky orientované programování	11
2.3. Využití CAM softwaru	12
2.4. Kinematika obráběcích strojů	13
2.4.1. Typ hlava-hlava.....	13
2.4.2. Typ stůl-hlava.....	14
2.4.3. Typ stůl-stůl.....	14
2.4.4. Typ stůl-stůl (kolíbka).....	15
2.5. Struktura programů řídicího systému iTNC	15
2.5.1. Využití podprogramů	16
2.5.2. Tvorba podprogramu.....	17
2.6. Parametrické programování.....	18
2.6.1. Umístění Q-parametrů.....	18
2.6.2. Práce s Q-parametry	18
3. Analýza současného stavu	21
3.1. Funkce plane	22
3.2. Cyklus 19.....	23
4. Strategie frézování	25
4.1. Strategie č. 1	25
4.2. Strategie č. 2	30
4.3. Strategie č. 3	33
4.4. Strategie č. 4	34
5. Matematický model	35
5.1. Transformace rohu zkosení R.....	35
5.1.1. Rotace okolo osy C	35
5.1.2. Naklopení okolo osy B.....	36
5.2. Výpočty souřadnic bodů zkosení.....	37
6. Tvorba podprogramu	42

6.1.	Definování parametrů	42
6.1.1.	Předobsazené parametry	42
6.1.2.	Parametry společné pro obě strategie	43
6.2.	Strategie č.1	45
6.3.	Strategie č.2	59
6.3.	Testování podprogramů	70
6.3.1.	Testování strategie č.1 (podprogram ZkosRoh1)	70
6.3.2.	Testování strategie č.2 (podprogram ZkosRoh2)	71
7.	Ekonomické hodnocení.....	73
8.	Závěr	74
	Použitá literatura.....	75
	Seznam použitých obrázků.....	76
	PŘÍLOHA č.1	78
	PŘÍLOHA č.2	80
	PŘÍLOHA č.3	83
	PŘÍLOHA č.4	90

1. Úvod

Ve strojírenské výrobě se téměř na všech vyráběných dílech z různých důvodů provádí zkosení hran či rohů. Výjimku tvoří součásti, u kterých je ostrá hrana důležitá pro správnou funkci výrobků, jako je tomu např. u rezných nástrojů.

Důvodů proč se zkosení hran a rohů u výrobků provádí, existuje několik:

- bezpečnost (z důvodů eliminace možnosti zranění o ostrou hranu či roh součásti)
- montáž (zkosení se provádí pro jednodušší montáž součástí)
- zkosená plocha slouží jako funkční plocha (např. lůžko VBD)

Nejjednodušší způsob, jak provést zkosení rohu součásti na CNC obráběcích strojích je použít např. úhlovou či tvarovou frézu. U pětiosého frézovacího centra lze použít úhlovou frézu nebo při naklopení roviny obrábění lze pro zkosení rohu použít čelní frézu. Tento druhý způsob má oproti použití úhlové frézy řadu výhod:

- úspora financí (odpádávají náklady potřebné na pořízení nástroje, ostření nástroje atd.)
- úspora času (čas potřebný pro seřizování nástroje, čas výměny nástroje atd.)
- libovolný úhel zkosení (úhlovou frézou vytvoříme zkosení, které je dáno tvarem frézy, čelní frézou v kombinaci s pětiosým polohováním lze vytvořit libovolný úhel zkosení)

Podle konstrukce obráběcího frézovacího centra se pětiosé obrábění realizuje buď pomocí otočného a naklápěcího upínacího, pomocí otočného stolu a naklápěcí hlavy nebo pomocí natočení hlavy vřetena okolo dvou rotačních os. Následné zkosení rohu lze naprogramovat v CAM softwaru nebo pomocí tzv. dílensky orientovaného programování.

Při naklopení roviny obrábění je ovšem velmi náročné naprogramovat zkosení rohu pomocí dílenského programování, jelikož obsluha musí zadat koncové body dráhy pohybu frézy. Souřadnice těchto bodů ovšem ve výrobním výkrese součásti nemusejí být zakótovány a obsluha by tyto body musela složitě dopočítávat.

Nabízí se tedy naprogramovat zkosení rohu v CAM softwaru, ovšem i toto řešení má řadu nevýhod – jak z ekonomického, tak i z technologického hlediska. Čas, který programátor potřebuje pro naprogramování daného zkosení, navyšuje celkové náklady na výrobu dané součásti. Zkosení na součásti může být definováno pomocí úhlů a délkových rozměrů. Dojde-li ke změně těchto vstupních parametrů, je nutné naprogramovat a vygenerovat nový NC program. Při změně vlastností materiálu polotovaru jako jsou obrobitelnost či houževnatost materiálu je nutné upravovat rezní podmínky obsluhou stroje. Např. při změně hloubky řezu či při změně korekcí nástroje je nutné upravit tyto hodnoty v CAM systému a poté vygenerovat nový NC program.

Podprogram, který by bylo možné používat opakovaně a u kterého by obsluha stroje měnila pouze hodnotu vstupních parametrů na základě technické dokumentace, by tak urychloval proces výroby součásti a umožňoval optimalizaci výroby změnou rezných podmínek.

Jak bylo uvedeno výše, využití podprogramu pro zkosení rohu čelní frézou by mělo při obrábění vliv na úsporu nákladů a na zkrácení času výroby, což jsou dnes hlavní požadavky všech odvětví průmyslu.

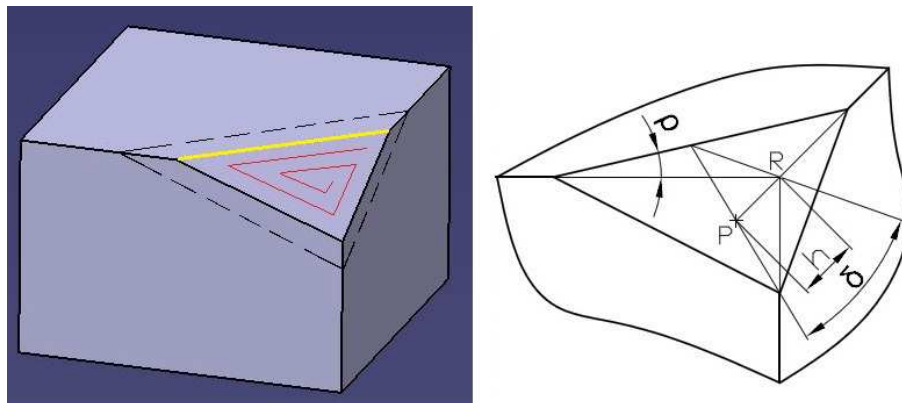
1.2. Zadání

Zkosení rohu pravouhlé součásti. Toto zkosení může být definováno buď pomocí tří bodů, které tvoří vrcholy zkosené plochy nebo jako v tomto případě může být zkosení definováno pomocí dvou prostorových úhlů a hloubky zkosení.

Definice vstupních parametrů zkosení (viz Obr. 1):

- *Bod R*: roh součásti, bod, ve kterém se protínají boční stěny obrobku s rovinou jeho povrchu, souřadnice tohoto bodu jsou $[x_R, y_R, z_R]$
- *Úhel ρ* (rotace kolem osy Z): úhel, který svírá *horní hrana zkosení* (na Obr. 1 je vyznačena žlutou barvou) s osou x (měřeno v rovině rovnoběžné s rovinou XY)
- *Úhel δ* (deklinace - naklonění okolo osy Y): úhel mezi rovinou rovnoběžnou s rovinou XY a zkosením (pro $\delta=0$ je rovina zkosení totožná s rovinou XY)
- *Hloubka h* : hloubka zkosení, normálová vzdálenost mezi bodem R a plochou zkosení

Bod P leží na zkosené ploše a vznikne průnikem této plochy s nakloněnou osou nástroje.



Obr. 1 Zkosení rohu

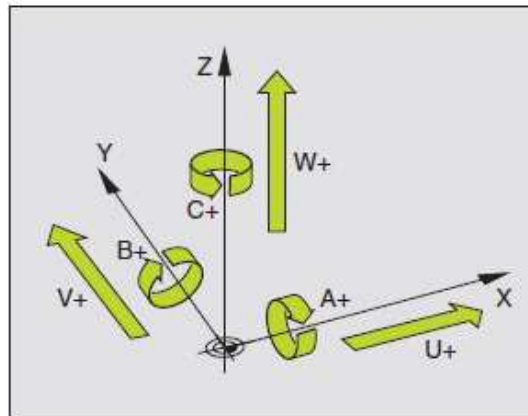
Na Obr. 1 vlevo lze vidět model zkosení v rohu pravouhlé součásti. Červená čára zobrazuje dráhu frézy při frézování, černá přerušovaná čára označuje zkosení vzniklé frézováním ve větší hloubce řezu.

V příloze práce je uveden výkres soustružnického nože, u kterého je zkosením rohu vytvořena plocha čela daného nože. Vstupním polotovarem pro výrobu tohoto nože je kvádr.

Pro frézování zkosení čelní frézou je nutné použít 5ti-osý obráběcí stroj. Tyto stroje se liší nejen svými výkonovými parametry, ale také maximálními rozměry obrobku, který lze na příslušném stroji obrobit. Maximální rozměry a váha obrobku jsou závislé na konstrukci použitého stroje. Pro naprogramování zkosení rohu lze také využít různé způsoby programování, dílenské programování či CAM software. Oba tyto způsoby a jejich výhody či nevýhody jsou popsány v následující kapitole.

2. Obráběcí stroje a jejich programování

Výrobní stroje používají kartézský systém souřadnic. Tento systém je pravotočivý, pravouhlý a je tvořen lineárními osami X, Y, Z. Rotační osy se označují A, B, C (viz Obr. 2). Vždy platí, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, přičemž kladný smysl je od obrobku k nástroji.



Obr. 2 souřadný systém[1]









Kartézský souřadnicový systém je nutný pro řízení drah nástroje, ten se pohybuje podle příkazů řídicího systému stroje. Řídicí systém iTNC 530 umožňuje řídit až 9 os. Jednotlivé příkazy pro pohyb nástroje lze zadávat prostřednictvím řídicího panelu stroje nebo podle příkazů uvedených v CNC programu. Podle potřeby lze souřadný systém posouvat či otáčet.[1],[2]

2.1. Ruční programování

Jedná se o nejstarší způsob programování, kdy programátor-obsluha stroje ručně píše jednotlivé věty NC programu v textovém editoru. Program obsahuje veškeré geometrické, technologické a pomocné informace. Pro tento způsob programování je nutná velmi dobrá znalost ISO kódu. Tento způsob je velmi zdlouhavý a neobejde se o chyby, které jsou způsobeny tzv. lidským faktorem.

2.2. Dílensky orientované programování

Jedná se o modernější způsob programování, který využívá interaktivní rozhraní mezi obsluhou stroje a řídicím systémem. Tento způsob programování je určený pro 2D a 2.5D programování. Obsluha stroje využívá grafickou podporu a program vytváří v tzv. popisném dialogu. Pro tvorbu a simulaci programu obsluha využívá jednoduché graficky znázorněné předdefinované zkratky a podle technického výkresu součásti zadává potřebné souřadnice. [2],[3]

Klávesa dráhové funkce	Pohyb nástroje	Požadovaná zadání
	Přímka	Souřadnice koncového bodu přímky
	Zkosení mezi dvěma přímkami	Délka zkosení hrany
	Žádný	Souřadnice středu kruhu, příp. pólu
	Kruhová dráha okolo středu kruhu CC do koncového bodu kruhového oblouku	Souřadnice koncového bodu kruhu, smysl otáčení
	Kruhová dráha s určeným poloměrem	Souřadnice koncového bodu kruhu, rádius kruhu, smysl otáčení
	Kruhová dráha s tangenciálním napojením na předchozí a následující prvek obrysu	Souřadnice koncového bodu kruhu
	Kruhová dráha s tangenciálním napojením na předchozí a následující prvek obrysu	Rohový rádius R
	Přímka nebo kruhová dráha s libovolným napojením na předchozí obrysový prvek	viz „Drahové pohyby – volné programování obrysů FK“, str. 233

Obr. 3 iTNC530-dráhové pohyby [1]

Výhody dílenského programování:

- optimalizace řezných podmínek přímo na stroji (obsluha může měnit různé parametry řezného procesu – např. hloubku řezu, hodnotu axiálního či radiálního přísuvu frézy, otáčky vřetene atd. bez nutnosti práce CAM programátora)
- nižší finanční náklady (odpadá práce programátora)
- obsluha nemusí mít rozsáhlé znalosti výpočetní techniky

Nevýhody dílenského programování:

- nutnost kvalifikovanější obsluhy
- vyšší pravděpodobnost kolize (v důsledku chyby způsobené lidským faktorem)
- při tvorbě programu obsluha stroje nesleduje probíhající řezný proces (tím se např. zvyšuje možnost kolize)

2.3. Využití CAM softwaru [8]

V současné době se téměř všechny konstrukční práce provádějí v CAD systémech, kdy konstruktér vytváří 3D model součásti, který je tvořen plochami a konturami. Na základě tohoto modelu pak programátor – technolog za pomoci CAM softwaru vytváří CNC program.

CAM systémy nabízejí možnost vytváření různých strategií při obrábění, možnost definice výchozího bodu obrábění a úpravu přejezdů mezi jednotlivými dráhami nástroje, což umožňuje optimalizaci výroby. Lze takto snižovat výrobní čas a zajistit požadovanou kvalitu při použití moderních nástrojů.

Výstupem z CAM softwaru jsou CL data, která obsahují geometrické informace o obrobku, polotovaru, nástroji, o jeho poloze, otáčkách vřetene, posuvech atd. Tyto data postprocessor následně převede do NC kódu podle řídicího systému použitého stroje. Programátor tak již nemusí znát ISO kód, musí však umět používat daný CAM software.

Výhody CAM programování:

- obrábění obecných tvarových ploch (forem, zápustek apod.)
- tvorba různých strategií obrábění – optimalizace procesu
- výpočet času obrábění
- simulace, verifikace

Úkolem CAM softwarů je kromě vytvoření NC programu také simulace a kontrola procesu obrábění. Programátor při simulaci odhalí možnou kolizi nástroje či upínače s prvky v pracovním prostoru stroje.

Verifikace neboli ověření znamená zjištění přesnosti procesu obrábění. CAM software na základě nastavených parametrů obrábění vypočítá a zobrazí uživateli dosaženou přesnost při obrábění. Lze takto na obrobku odhalit místa, kde ještě zbývá materiál či místa, kde došlo např. k podříznutí součásti.

Nevýhody CAM programování:

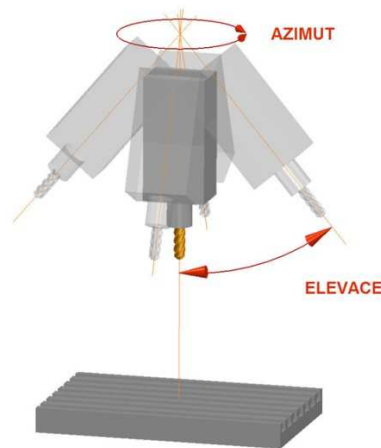
- nutnost vygenerovat nový NC program při změně geometrie součásti či při změně technologických parametrů (hloubka řezu a_p , šířka řezu a_e)

2.4. Kinematika obráběcích strojů

Pětiosé obrábění lze realizovat pouze na strojích, které umožňují souvislé řízení pohybu nástroje v příslušných lineárních a rotačních osách zároveň. Kinematikou stroje se rozumí, jak se jednotlivé části (upínací stůl a vřeteno) stroje pohybují. Podle toho, které části stroje se pohybují okolo rotačních os, existují různé konstrukční provedení obráběcích strojů. [9]

2.4.1. Typ hlava-hlava

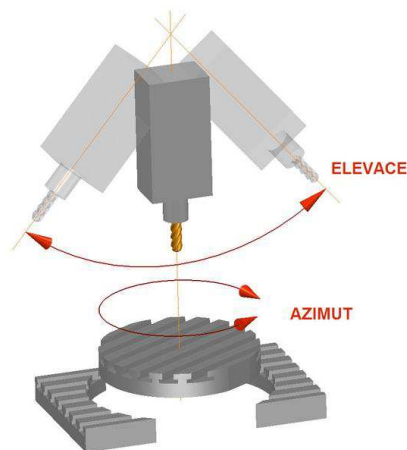
U strojů tohoto typu koná rotační pohyby pouze hlava stroje (vřeteno). Hlava koná rotační pohyb okolo rotační osy C (azimut) a zároveň naklápění okolo rotační osy B (elevace) viz Obr. 4. Tato koncepce se nejčastěji využívá u portálových obráběcích strojů a u strojů s velkými pojezdy. Díky naklápěcí hlavě je nevýhodou této konstrukce menší tuhost stroje. Při větších řezných silách nebo při velkém vyložení nástroje tak může dojít k vychýlení nástroje a ke snížení tvarové a rozměrové přesnosti obráběné součásti. Další nevýhodou je to, že některé stroje mají omezený úhel rotace pouze na hodnotu 360 stupňů, což neumožňuje např. obrábění po spirále (šroubová interpolace). Výhodou této koncepce stroje je možnost obrábění velkých dílců.[9]



Obr. 4 Typ hlava-hlava [9]

2.4.2. Typ stůl-hlava

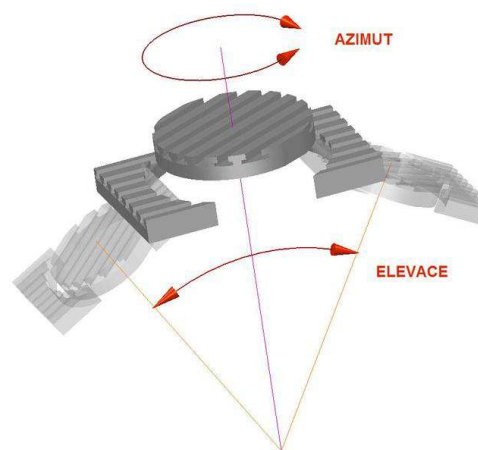
U strojů tohoto typu koná rotační pohyb okolo osy C (azimut) upínací stůl obráběcího stroje a naklápění okolo osy B (elevaci) vykonává hlava (vřeteno) stroje viz Obr. 5. Oproti konstrukci stroje typu hlava-hlava je výhodou tohoto typu konstrukce větší tuhost stroje. Díky neomezenému úhlu rotace upínacího stolu stroje lze při obrábění využít šroubovou interpolaci. [9]



Obr. 5 Typ stůl-hlava [9]

2.4.3. Typ stůl-stůl

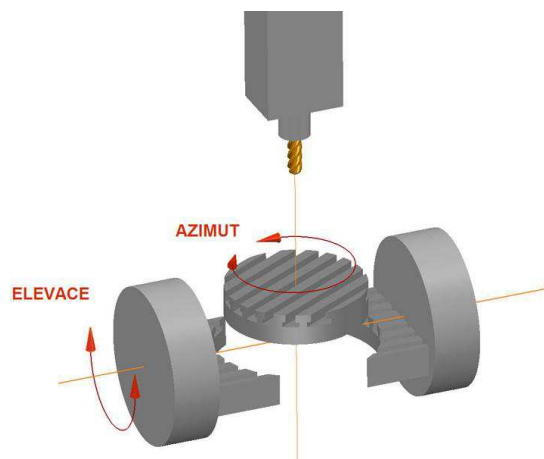
U strojů toho typu konstrukčního provedení jsou rotační pohyby zajišťovány rotačně sklopným upínacím stolem obráběcího stroje. Rotace (azimut) stolu se provádí okolo osy C, naklápění (elevace) stolu se provádí okolo osy B viz Obr. 6. Oproti konstrukci strojů s rotační či naklápěcí hlavou je výhodou této konstrukce větší tuhost stroje. Další výhodou také je snadný odjezd nástroje od obrobku v jakékoliv fázi obrábění, protože pohyb nástroje v ose Z je realizován vřetenem, které je vždy uloženo vertikálně. [9]



Obr. 6 Typ stůl-stůl [9]

2.4.4. Typ stůl-stůl (kolíbka)

Tato konstrukce stroje je velmi podobná jako předchozí typ, rozdíl je pouze v uchycení upínacího stolu obráběcího stroje, který je uchycen na obou koncích ve směru osy X. Naklápění stolu (elevace) se tak provádí okolo rotační osy A viz Obr. 7. [9]



Obr. 7 Typ stůl-stůl (kolíbka) [9]

2.5. Struktura programů řídicího systému iTNC [1]

Program obrábění se skládá z programových bloků. Tyto bloky se číslovají ve vzestupném pořadí. První blok je označen BEGIN PGM, jménem programu a měrovou jednotkou (mm pro milimetry nebo inch pro palce). Hned za názvem programu uživatel definuje velikost neobrobeného polotovaru pomocí příkazu BLK FORM. V iTNC má polotovar vždy tvar kvádru a je definován pomocí minimálního bodu o absolutních souřadnicích [x, y, z] a pomocí maximálního bodu o absolutních souřadnicích [x, y, z].

V podprogramu pro zkosení rohu tento polotovar definovaný není, polotovar, na kterém se zkosení provádí je definovaný v hlavním programu, ze kterého uživatel tento podprogram volá pomocí příkazu PGM CALL.

Každý program či podprogram dále obsahuje:

- informace o geometrické poloze nástroje (např. je-li dráha nástroje tvořena přímkou, kruhovým obloukem apod.)
- technologické údaje (velikost posuvové rychlosti F či hodnota otáček vřetene S)
- pomocné funkce (označují se písmenem M a obsahují informace o stavu vřetena nebo o stavu programu – nepodmíněný stop či konec programu)

Je-li na konci bloku středník „;“ – můžeme pak za tento znak psát např. poznámky či komentáře. Informace napsané za středníkem řídicí systém nezpracovává.

Poslední blok je označen END PGM, jménem programu a měrovou jednotkou.

2.5.1. Využití podprogramů

Pro zpřehlednění hlavního programu či pro zjednodušení opakujících se činností při obrábění se používají cykly a podprogramy.

Cyklus je podprogram, který je pevně naprogramovaný dodavatelem řídicího systému. Cykly se často používají pro hrubování, vrtání děr, závitování, výrobu kapes apod.

Podprogramy se také používají pro obrábění opakujících se obrysů nebo určitých částí výrobního postupu, ovšem na rozdíl od cyklu, podprogram vytváří programátor.[2],[3]

Vlastnosti podprogramů: [1]

- podprogram obsahuje uzavřenou část programu, kterou je možné v hlavním programu opakovaně vyvolávat nebo použít v jiném programu
- podprogramy mají stejnou strukturu jako hlavní program (pouze pro ukončení podprogramu se nepoužívá příkaz M30, ale M17)
- podprogramy je možné vnořovat. To znamená, že jeden podprogram vyvolá další podprogram atd.
- v podprogramech lze využívat parametrizaci

V podprogramech lze využít přírůstkové programování. Celý popis opakujícího se tvaru je napsán přírůstkově, v hlavním programu se v absolutních souřadnicích najede na počátek geometrie tohoto tvaru a zavolá se podprogram, který zajistí obrobení. Po návratu z podprogramu do hlavního programu je možné opět najet absolutně na nové místo a znovu zavolat tentýž podprogram. [3]

Podle uložení podprogramu rozlišujeme: [1]

- Lokální podprogramy: jsou uloženy ve stejném souboru jako NC program. Pouze hlavní program může vyvolávat lokální podprogram.
- Externí podprogramy: jsou uloženy v samostatných souborech a lze je vyvolávat z libovolných hlavních NC programů nebo jiných NC podprogramů.

Připomínky pro programování podprogramů: [1]

- Hlavní program může obsahovat až 254 podprogramů
- Podprogramy lze vyvolávat libovolně často a v libovolném pořadí
- Podprogram nesmí vyvolávat sám sebe

Způsob provádění podprogramu: [1]

- řídicí systém provádí hlavní program obrábění až do vyvolání podprogramu pomocí PGM CALL
- od tohoto místa provádí řídicí systém podprogram až do konce podprogramu, který je označen blokem PGM END
- řídicí systém poté pokračuje v provádění hlavního programu blokem, který následuje za voláním podprogramu

2.5.2. Tvorba podprogramu

Klasický program pro CNC obráběcí stroj vychází ze známé geometrie obrobku. Na základě této geometrie se určí výrobní postup, technologie, nástroje, řezné podmínky. Poté je vytvořen program. Řídicí systém stroje provádí jednotlivé příkazy programu postupně, tedy podle výrobního postupu.

Na rozdíl od tohoto způsobu programování, podprogram, který je určený pro obrábění obecně definované součásti, je nutné použít specifické prostředky, které řídicí systém Heidenhain nabízí. Namísto čísel (tedy souřadnic bodů, rádiusů apod.) se využívají Q-parametry, pomocí Q-parametrů lze provádět i výpočty (viz kapitola 2.6). Je-li potřeba nějakou část programu opakovaně použít, je možné ji umístit za tzv. Label. Tímto způsobem dojde k vytvoření programovacích smyček. Pro ukončení smyček a pro skoky v podprogramu, které slouží k vyvolání určitého Labelu, se používá programování pomocí podmínek (když/pak).

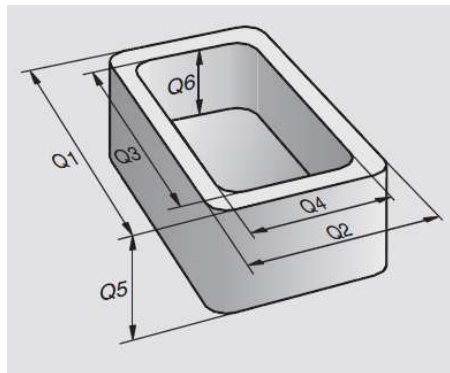
Label (LBL - angl. návěstí) je část programu kterou lze v programu použít jednou, ale i opakovaně. Znovu vyvolaný Label tak opět provede příkazy, výpočty či kroky, které jsou v něm naprogramovány. Labely lze označovat číslly od 1 do 999 nebo mohou mít vlastní název. Začátek Labelu se definuje pomocí příkazu LBL SET, konec se označuje příkazem LBL 0. Pro vyvolání určitého Labelu se používá příkaz LBL CALL. Od tohoto místa pak řídicí systém provádí příkazy naprogramované v příslušném Labelu až do jeho ukončení. Řídicí systém poté pokračuje blokem, který následuje za příkazem CALL LBL. Pro vyvolání určitého Labelu, nebo pro provedení skoku do Labelu umístěného jinde v programu lze také využít programování s využitím podmínek.[1]

Programování s využitím podmínek (když/pak):

Podstatou těchto podmínek je, že k realizaci určitých bloků dojde tehdy, je-li splněna stanovená podmínka. Při rozhodování když/pak porovnává řídicí systém jeden Q-parametr s jiným parametrem nebo s číselnou hodnotou. Pokud je podmínka splněna, pak řídicí systém provede skok v programu na Label, který je naprogramován za podmínkou. Není-li podmínka splněna, řídicí systém pokračuje v provádění následujícího bloku. Jedná se o tzv. podmíněné skoky (viz kapitola 2.6.2). Nepodmíněné skoky jsou skoky, jejichž podmínka je splněna vždy.[1]

2.6. Parametrické programování

Při obrábění součástí, které jsou tvarově stejné, ale rozměrově odlišné lze použít parametrické programování. Každou součást lze obecně definovat pomocí jednotlivých parametrů (viz Obr. 8). Jednotlivé kóty, rozměry součásti lze nahradit parametry. Řídicí systém Heidenhain pro označování parametrů používá písmeno Q a číslo. Výhoda parametrického programování spočívá v tom, že například při změně jednoho rozměru součásti nemusí programátor zasahovat a upravovat vytvořený program, stačí pouze, když přepíše hodnotu příslušného parametru.



Obr. 8 Využití parametrů [1]

Řídicí systém Heidenhain označuje parametry písmenem Q a číslicemi od 0 až do 9999. Tyto parametry lze rozdělit do tří základních oblastí: předobrozené parametry, volně použitelné parametry, parametry používané v cyklech. [1]

2.6.1. Umístění Q-parametrů [10]

Q-parametry je potřeba v programu definovat takovým způsobem, aby k načtení Q-parametru došlo před načtením bloku, ve kterém je daný Q-parametr použitý. Q-parametry lze definovat kdekoliv v programu:

- na začátku: Q-parametry jsou definovány na začátku programu. Toto umístění je vhodné, potřebuje-li obsluha stroje dané parametry měnit. Hned na začátku programu se obsluha s těmito Q-parametry seznámí a při jejich změně je nemusí v programu zdlouhavě hledat.
- před příslušným blokem: Q-parametry jsou definovány před příslušným blokem. Takto umísťovat parametry je vhodné v případě, že obsluha stroje nebude muset měnit hodnoty těchto parametrů.
- na konci: Q-parametry jsou definovány na konci programu. Takto umístěné parametry je vhodné opět používat pro parametry, které obsluha nebude muset při práci používat. Výhodou je, že programátor může tyto parametry v programu snadno najít a přepsat. Tyto parametry je vhodné umísťovat do podprogramů, které se vyvolají před načtením příslušného bloku.

2.6.2. Práce s Q-parametry [1]

Pro zadávání hodnot Q-parametrů lze použít číslo, Q-parametr i kombinaci čísel a Q-parametrů. Všechny Q-parametry i číselné hodnoty musejí mít příslušné znaménko (+ či -).

Při práci s parametry platí základní matematická pravidla:

- není možné dělit nulou
- není možné odmocnit ze záporné hodnoty čísla

Q-parametrické funkce lze rozdělit do několika oblastí:

1) Základní matematické funkce

Tyto funkce umožňují provádět operace:

- Přiřazení* – přímé přiřazení hodnoty Q-parametru.
Např: FN0: $Q5 = +60$ (parametru Q5 je přiřazena hodnota +60)
- Sčítání* – vytvoření a přiřazení součtu dvou hodnot.
Např: FN1: $Q1 = -Q2 + -5$ (parametru Q1 je přiřazen výsledek součtu dvou hodnot)
- Odčítání* – vytvoření a přiřazení rozdílu dvou hodnot.
- Násobení* – vytvoření a přiřazení součinu dvou hodnot.
- Dělení* – vytvoření a přiřazení podílu dvou hodnot.
- Odmocnina* – vytvoření a přiřazení druhé odmocniny z čísla.

2) Úhlové funkce

Tyto funkce umožňují provádět operace:

- Sinus* – určení a přiřazení sinusu ve stupních ($^{\circ}$).
Např: FN6: $Q20 = \text{SIN}-Q5$
- Kosinus* – určení a přiřazení kosinu ve stupních ($^{\circ}$).
- Úhel* – určení a přiřazení úhlu pomocí arctan ze dvou stran nebo pomocí sin a cos úhlu ($0 < \text{úhel} < 360^{\circ}$).
- Odmocnina ze součtu druhých mocnin* – určení a přiřazení délky ze dvou hodnot.

3) Funkce pro výpočet kruhu

Tyto funkce umožňují provádět operace:

Zjištění dat kruhu ze tří bodů kruhu

Zjištění dat kruhu ze čtyř bodů kruhu

Funkce pro výpočet kruhu se používají pro výpočet středu kruhu a velikosti jeho rádiusu. Výpočet kruhu ze čtyř bodů je přesnější.

Tyto funkce lze využít např. tehdy, chce-li obsluha stroje pomocí snímání určit polohu a velikost díry či roztečné kružnice.

4) Rozhodování když/pak (skoky)

Při rozhodování když/pak porovnává řídicí systém jeden Q-parametr s jiným Q-parametrem nebo číselnou hodnotou. Pokud je podmínka splněna, provede řídicí systém skok na Label (návěstí), který je za touto podmínkou naprogramován. Není-li podmínka splněna, řídicí systém provede následující blok. Řídicí systém využívá tyto rozhodovací podmínky:

- Je-li rovno, potom skok* – Jsou-li si obě hodnoty nebo oba parametry rovny, řídicí systém pak provede skok na zadané návěstí.
Např: FN9: IF +Q1 EQU +Q3 GOTO LBL 25¹
- Není-li rovno, potom skok* – Jestliže se obě hodnoty či oba parametry nerovnají, řídicí systém pak provede skok na zadané návěstí.
- Je-li větší, potom skok* – Je-li první hodnota nebo parametr větší než druhá hodnota či parametr, řídicí systém pak provede skok na zadané návěstí.
- Je-li menší, potom skok* – Je-li první hodnota nebo parametr menší než druhá hodnota či parametr, řídicí systém pak provede skok na zadané návěstí.

5) Přímé zadávání vzorců (postup)

Pomocí následujících funkcí lze vytvořit Q-parametr, který bude definován jako matematický vzorec. Tento vzorec může být kombinace několika matematických operací, což může být výhodnější než použití základních matematických funkcí. Při zadávání postupu platí základní matematická pravidla. Při zadávání postupu lze využít tyto operace:

<i>Sčítání</i>	<i>Arkus-tangens</i>
<i>Odečítání</i>	<i>Umocňování hodnot</i>
<i>Násobení</i>	<i>Konstanta PI (3,14159)</i>
<i>Dělení</i>	<i>Vytvoření přirozeného logaritmu čísla</i>
<i>Úvodní závorka</i>	<i>Vytvoření logaritmu čísla, základ 10</i>
<i>Koncová závorka</i>	<i>Exponenciální funkce, 2,7183 na n-tou</i>
<i>Druhá mocnina</i>	<i>Negace hodnoty (vynásobení číslem -1)</i>
<i>Druhá odmocnina</i>	<i>Oříznutí desetinných míst (vytvoření celého čísla)</i>
<i>Sinus úhlu</i>	<i>Vytvoření absolutní hodnoty čísla</i>
<i>Kosinu úhlu</i>	<i>Odříznutí míst před desetinnou čárkou (vytvoří zlomek)</i>
<i>Tangens úhlu</i>	<i>Test znaménka čísla</i>
<i>Arkus-sinus</i>	<i>Výpočet modulové hodnoty (zbytku dělení)</i>
<i>Arkus-kosinus</i>	

Např: $Q20 = ((Q7 * 8) + Q30) / SQ + Q5$

¹ Použité zkratky:

IF (angl.): když EQU (angl. equal): rovno
GOTO (angl. go to): přejdi na

3. Analýza současného stavu

Tato kapitola se zabývá různými způsoby, jak lze zkosení v rohu pravoúhlé součásti vytvořit. Pro frézování rohu lze použít různé nástroje, stroje i způsoby programování.

Jako nejjednodušší možnost pro vytvoření zkosení je použití kuželové frézy. Výhoda tohoto způsobu je možnost vytvořit zkosení za použití tříosého obráběcího stroje. Ovšem tvar tohoto zkosení je závislý na tvaru použité frézy. Pro každý úhel δ (viz Obr. 1) je nutné mít speciální nástroj, což je ekonomicky velmi nevýhodné. Uplatnění tohoto způsobu, tedy použití speciálního nástroje a tříosého obráběcího stroje by mohlo být vhodné např. pro sériovou či velkosériovou výrobu.

Vlastní-li daný podnik pětiosý obráběcí stroj, pak je výhodnější v kusové i malosériové výrobě použít tento stroj a naklonění roviny obrábění.

Při naklonění roviny obrábění lze zkosení provést čelem frézy či bokem frézy. Nevýhodou druhého způsobu je menší tuhost systému stroj-nástroj-obrobek. Může tak dojít k vychýlení frézy, což má vliv na kvalitu obrobeneho povrchu. Dále může dojít ke vzniku nežádoucích vibrací, ty mají zejména nepříznivý vliv na trvanlivost břitů nástroje a celkovou stabilitu procesu obrábění. Z pohledu celkové tuhosti je tedy výhodnější obrábění čelem frézy.

I když se zkosení rohu provádí na pětiosém obráběcím stroji, nejedná se o pětiosé obrábění, ale o takzvané indexované 3+2 obrábění. Při pětiosém obrábění dochází k souvislému řízení nástroje ve všech pěti osách najednou (3 lineární + 2 rotační osy). Indexované obrábění znamená, že osa nástroje se pomocí 2 rotačních os nastaví do požadované polohy vůči obrobku, v této pozici se 2 rotační osy „zafixují“ a poté dochází k řízení pohybu nástroje již jen ve 3 lineárních osách. Prostřednictvím lineárních os se nástroj polohuje v pracovním prostoru, pomocí rotačních os se mění naklonění roviny obrábění. Naklonění nástroje či obrobku záleží na kinematice stroje. Pomocí 3 lineárních a 2 rotačních os je tedy teoreticky možné napolohovat řezný nástroj do jakéhokoli bodu s požadovanou orientací.[2],[3]

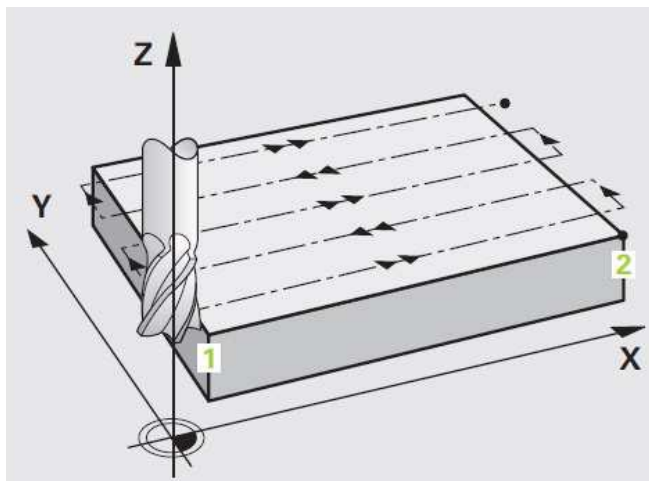
Pro naklonění roviny obrábění jsou v řídicím systému iTNC530 k dispozici 3 funkce: [1]

- *ruční naklápění* prostřednictvím softklávesy² 3D-ROT v ručním režimu stroje
- funkce *plane* – řízené naklápění, viz kapitola 3.1.
- cyklus 19, *rovina obrábění* – řízené naklápění, viz kapitola 3.2.

Po naklonění roviny obrábění se programování provádí běžně jako při obrábění v hlavní rovině (např. v rovině X/Y), avšak obrábění se provede v té rovině, která byla vůči hlavní rovině naklopena.

Ve stavu naklonění lze pro vytvoření zkosení rohu také použít např. řádkovací cyklus (viz Obr. 9), který řídicí systém iTNC530 nabízí. Při zadávání řádkovacího cyklu se definuje výchozí bod frézování a délky dvou stran tvořící obráběnou plochu, která má tvar čtverce či obdélníku. Řádkovací cyklus tak není vhodný pro zkosení rohu součásti, jelikož výsledná plocha zkosení rohu má tvar trojúhelníku. Při použití řádkovacího cyklu tak vzniknou zbytečné přejezdy nástroje, kdy fréza pohybující se pracovním posuvem neodebírá žádnou třísku a dochází ke snižování produktivity výrobního procesu.








² Softklávesy – grafické symboly vyjadřující funkce řídicího systému, ke každé softklávese náleží tlačítko, pomocí těchto tlačítek lze volit funkce zobrazené na ovládacím panelu stroje



Obr. 9 Řádkovací cyklus [1]

3.1. Funkce plane [1]

Funkce *plane* (anglicky plane = rovina) umožňuje definovat rovinu naklonění různými způsoby (viz Obr. 10).

Funkce	Požadované parametry	Softklávesa
SPATIAL	Tři prostorové úhly SPA , SPB , SPC	
PROJECTED	Dva průmětové úhly PROPR a PROMIN a jeden rotační úhel ROT	
EULER	Tři Eulerovy úhly precese (EULPR), nutace (EULNU) a rotace (EULROT)	
VEKTOR	Vektor normály k definování roviny a vektor základny k definování směru nakloněné osy X	
POINTS	Souřadnice tří libovolných bodů naklápěné roviny	
RELATIV	Jednotlivý, inkrementálně působící prostorový úhel	
RESET	Zrušení funkce PLANE	

Obr. 10 Funkce Plane [1]

Jelikož zkosení rohu je definováno pomocí dvou úhlů a hloubky zkosení, z nabízených možností funkce *plane* lze využít funkci *plane spacial*. Tato funkce umožňuje zadat natočení pomocí tří prostorových úhlů. SPA odpovídá natočení osy A, SPB natočení osy B a SPC natočení osy C.

3.2. Cyklus 19 [1]

Cyklus 19 definuje rovinu obrábění – polohu osy nástroje vztaženou k pevnému souřadnému systému stroje naklopením okolo aktivního nulového bodu. Poloha osy nástroje se definuje zadáním úhlů naklopení. Polohu roviny obrábění lze definovat dvěma způsoby:

- přímo zadat polohu naklopených os
- popsat rovinu obrábění až třemi natočeními (prostorovými úhly) pevného souřadného systému stroje. Každá libovolná poloha nástroje v prostoru je ovšem jednoznačně definována již dvěma prostorovými úhly.

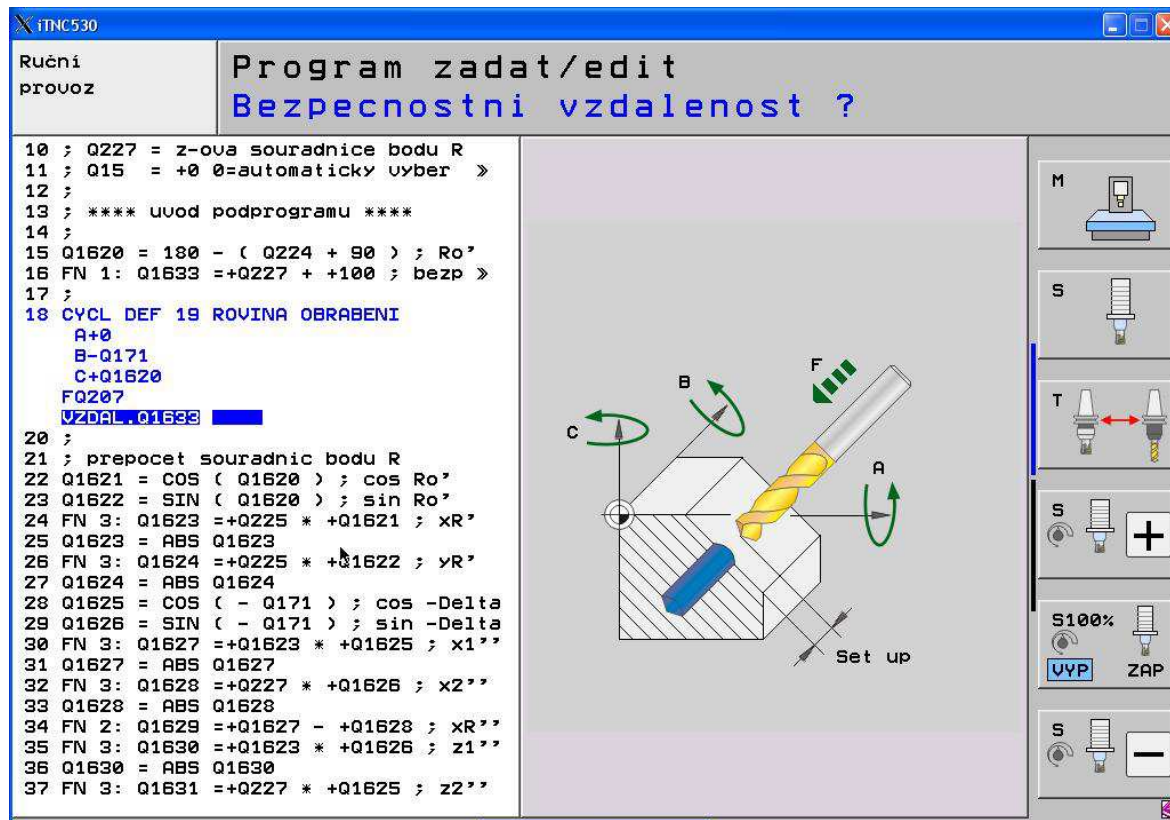
Úhlová nastavení jednotlivých naklopených os se uloží v parametrech Q120 (osa A) až Q122 (osa C). Definování naklopení okolo příslušné osy a úhel natočení se programuje pomocí softkláves. Pořadí natáčení pro výpočet polohy roviny je stanoveno: nejdříve řídicí systém natočí osu A, poté osu B a nakonec osu C. Toto pořadí se ovšem týká geometrických transformací – tedy výpočtů. Je-li programován pohyb rotačních os, vykonává se ve všech programovaných osách současně.

Cyklus 19 je účinný od své definice v programu. Jakmile dojde k pohybu některé osy v naklopeném systému, dojde k aktivaci korekce pro tuto osu. Má-li se započítat korekce ve všech osách, musí se tak popojet všemi osami.

Při definici cyklu 19 se kromě úhlů naklopení zadává ještě bezpečnostní vzdálenost mezi nástrojem a obrobkem a posuv, kterým se naklápění provádí.

Nepolohuje-li cyklus 19 rotační osy stroje automaticky, je nutné ještě zadat toto polohování např. pomocí L bloků. Chování cyklu na konkrétních strojích je totiž dáno PLC programem, což je mezičlen mezi řídicím systémem stroje a jeho kontrolními a akčními členy. Každý stroj proto může mít odlišné chování při použití cyklu 19, ale i při použití dalších příkazů a funkcí řídicího systému.

Pro zrušení cyklu 19 je nutné se pro všechny rotační osy zadat úhel natočení 0°.[1]



Obr. 11 Cyklus 19

Podle definice vstupních parametrů je možné pro tvorbu podprogramu použít funkci Plane spatial nebo cyklus 19. V podprogramu je použitý cyklus 19, protože řídicí systém stroje Hermle společnosti Pilsen Tools, na kterém bylo testování prováděno neumožňuje používat funkce Plane.

4. Strategie frézování

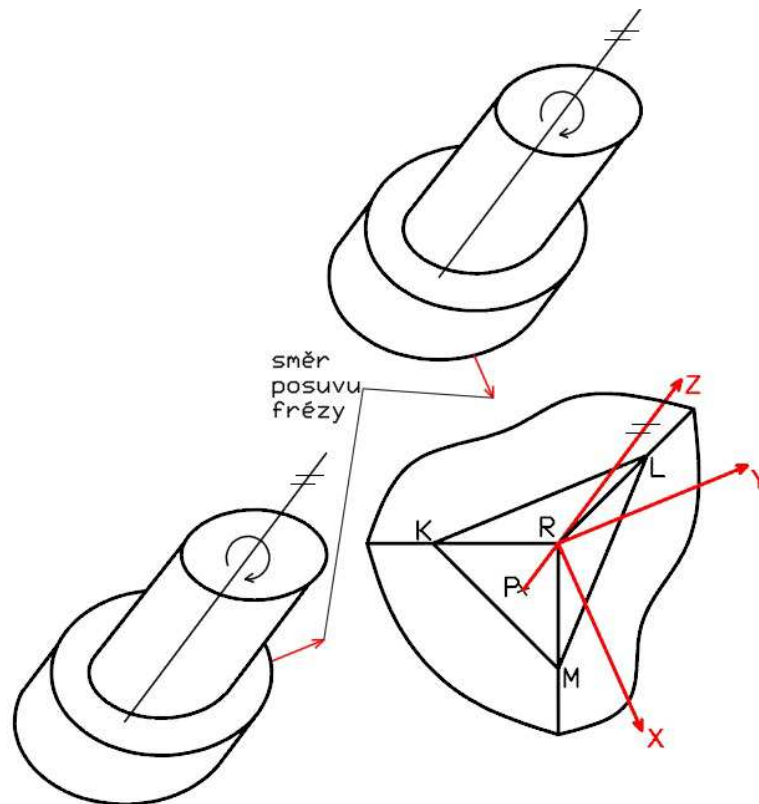
Frézovací strategie se neustále vyvíjejí a jejich úkolem je co nejefektivněji obrobit danou plochu. Optimalizací frézovacích strategií lze například zajistit lepší kvalitu obrobené plochy, snížit časovou náročnost výroby či snížit opotřebení nástroje. Z těchto důvodů je tvorba nových strategií a vhodná aplikace stávajících strategií velmi důležitá a má vliv na produktivitu výroby. Nové strategie také reflektují vývoj v oblasti konstrukce obráběcích nástrojů jako je např. plundrování či HFC obrábění.[4]

Při obrábění se dráha nástroje obvykle skládá ze tří typů pohybů. První typ pohybu je pracovní, tedy ten, při kterém dochází k řezání, k oddělování třísky. Tento pohyb se provádí pracovním posuvem a jeho hodnota je závislá na použitém nástroji, na obráběném materiálu a charakteru operace (hrubování či dokončování). Druhý typ pohybu takový, při kterém se nástroj pohybuje pracovním posuvem, ale nedochází k oddělování materiálu. Tento pohyb nastává například při najíždění nástroje do řezu. Při třetím typu pohybu se nástroj často pohybuje rychloposuvem. Tento pohyb se používá například při pohybu nástroje mezi jednotlivými oblastmi, ve kterých se provádí obrábění nebo při odjíždění či přijíždění nástroje z místa, ve kterém se provádí výměna nástroje.[4]

Z hlediska použití lze strategie při obrábění dělit na hrubovací a dokončovací. Úkolem hrubovací strategie je dosažení maximálního úběru materiálu za minimální čas, kdežto úkolem dokončovací strategie je dosažení požadované kvality povrchu.

4.1. Strategie č. 1

Strategie č.1 využívá velký průměr frézy, ten musí být větší, než je největší rozměr zkosení (např. vzdálenost mezi body K a L). Fréza tak koná přísuvy v axiálním směru, hodnota přísuvu v radiálním směru se nemění. Počet přísuvů v axiálním směru je dán hloubkou řezu a_p , tedy hodnotou kterou určuje uživatel podprogramu (CNC programátor či obsluha stroje). Při použití velkého průměru frézy lze směr posuvu nástroje konat buď ve směru osy $+x$ nakloněného souřadného systému nebo ve směru osy $+y$ (viz Obr. 12). Směr frézování volí obsluha pomocí parametru Q15.



Obr. 12 Strategie č.1

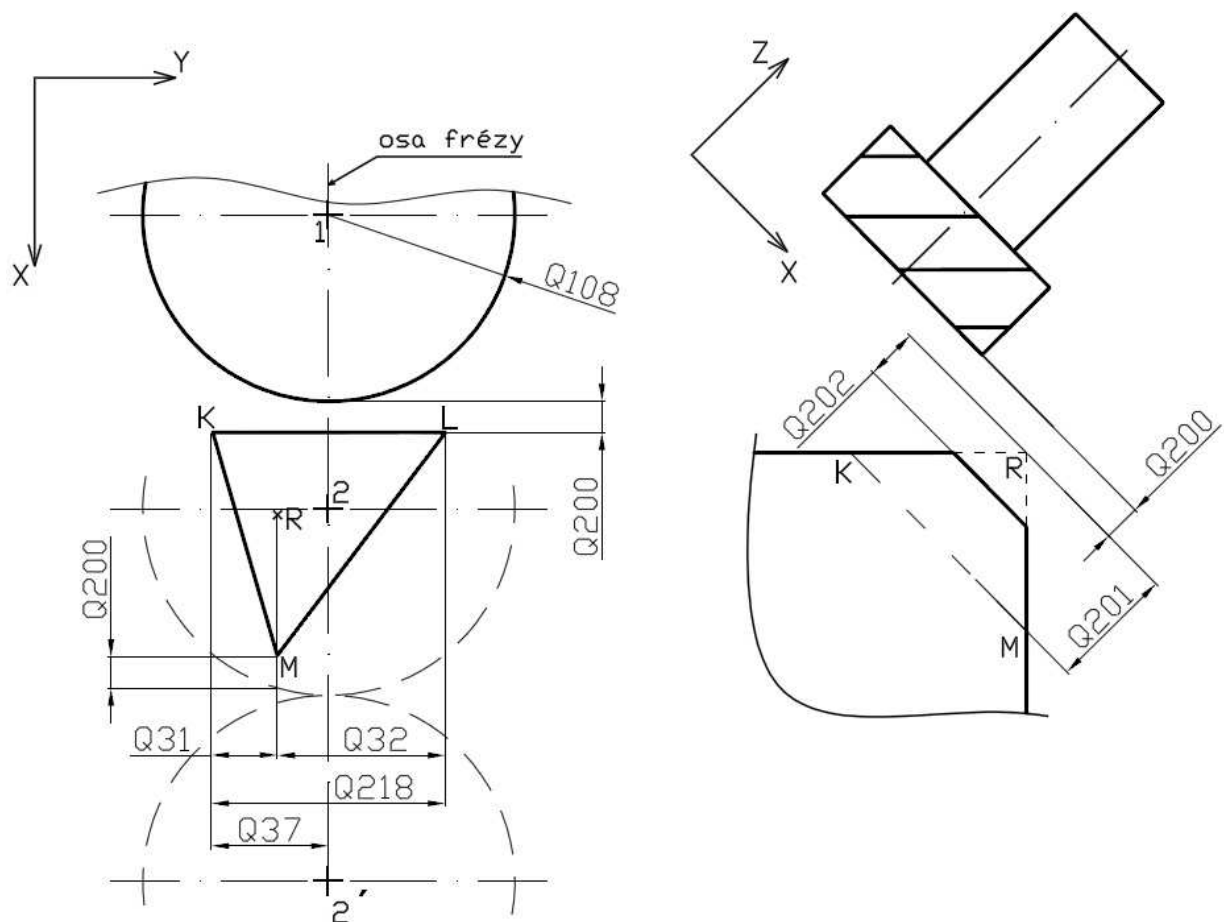
Vstupní parametry strategie č.1:

- Q171 – úhel naklopení δ
- Q224 – úhel rotace ρ
- Q200 – bezpečná vzdálenost, vzdálenost nástroje od povrchu obrobku, uživatel zadává kladnou hodnotu
- Q201 – hloubka zkosení h , kolmá vzdálenost mezi rohem zkosení a povrchem zkosení, uživatel zadává zápornou hodnotu
- Q202 – hloubka řezu a_p (axiální přísuv frézy), uživatel zadává zápornou hodnotu
- Q204 – 2. bezpečná vzdálenost, vzdálenost, ve které nemůže dojít ke kolizi mezi nástrojem a obrobkem
- Q207 – frézovací posuv v mm/min
- Q225 – souřadnice bodu R ve směru osy x
- Q226 – souřadnice bodu R ve směru osy y
- Q227 – souřadnice bodu R ve směru osy z
- Q15 – volba směru frézování (uživatel zadává číslo 0/1/2)

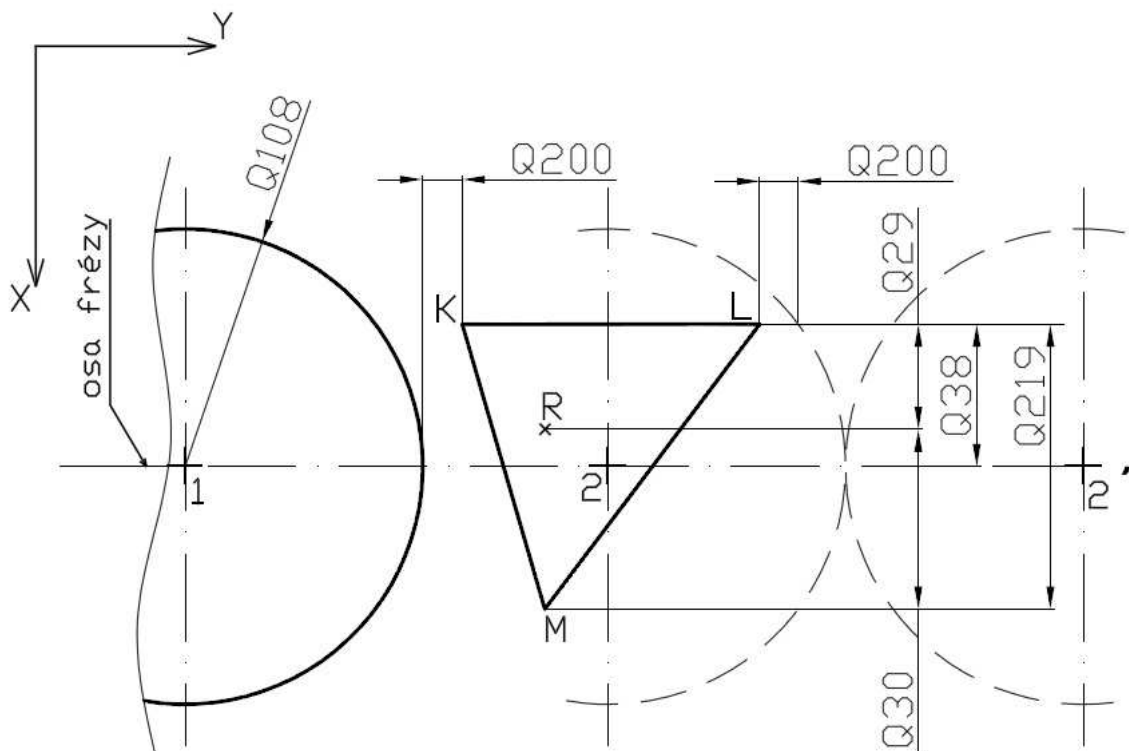
Hodnotou parametru Q15 volí uživatel směr frézování. Hodnota 0 slouží pro automatický výběr směru, hodnotou 1 volí uživatel směr frézování ve směru osy $+x$ (viz Obr. 13), hodnotou 2 volí uživatel směr frézování ve směru osy $+y$ (viz Obr. 14). Detailnější popis automatického výběru směru pro hodnotu 0 je uveden v kapitole 6.2.

Popis strategie:

- 1) Příjezd frézy rychloposuvem do výchozího bodu. Tento bod je vzdálenosti určené hodnotou 2. bezpečné vzdálenosti ($Q204$) ve směru všech souřadnicových os od rohu zkosení R .
- 2) Pomocí cyklu 19 dojde k napolohování osy vřetena a obrobku.
- 3) Příjezd frézy do výchozího bodu frézování – bod 1 (viz Obr. 13 a Obr. 14). Fréza je v bezpečné vzdálenosti od povrchu obrobku.
- 4) Frézování z výchozího bodu 1 ve zvoleném směru do koncového bodu 2 tak, aby fréza přejela bod zkosení M či L o hodnotu bezpečné vzdálenosti. Frézování do koncového bodu 2 se provádí pro různé hloubky řezu do té doby, dokud fréza nedosáhne hloubky zkosení h .
- 5) V poslední hloubce řezu (v hloubce h) dojde k frézování z výchozího bodu 1 do koncového bodu 2'. Fréza tak přejede celým svým průměrem bod M či L o hodnotu bezpečné vzdálenosti. Tímto přejezdem se dosáhne vyšší kvality obrobku povrchu.
- 6) Odjezd frézy rychloposuvem ve směru osy z do roviny 2. bezpečné vzdálenosti na rohem zkosení R . Zrušení cyklu 19.

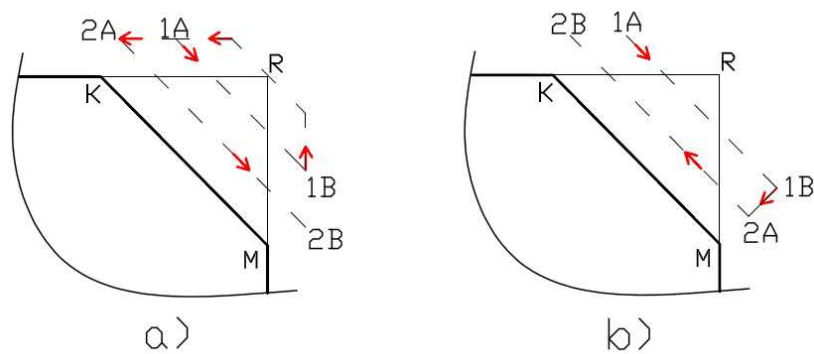


Obr. 13 Strategie č.1- směr +x



Obr. 14 Strategie č.1- směr +y

Přísuv frézy v axiálním směru lze provést 2 způsoby. Tyto dva způsoby se od sebe liší přejezdy mezi jednotlivými rovinami (viz Obr. 15). Jednotlivé roviny jsou v obrázku označeny číslicemi 1,2. Písmeno A označuje počáteční bod dráhy a písmeno B označuje koncový bod dráhy nástroje v každé rovině obrábění. Červené šipky značí směr pohybu nástroje. Počet těchto rovin je závislý na celkové hloubce zkosení h (parametr Q201) a na velikosti axiálního přísluvu a_p (parametr Q202).



Obr. 15 Přejezdy frézy

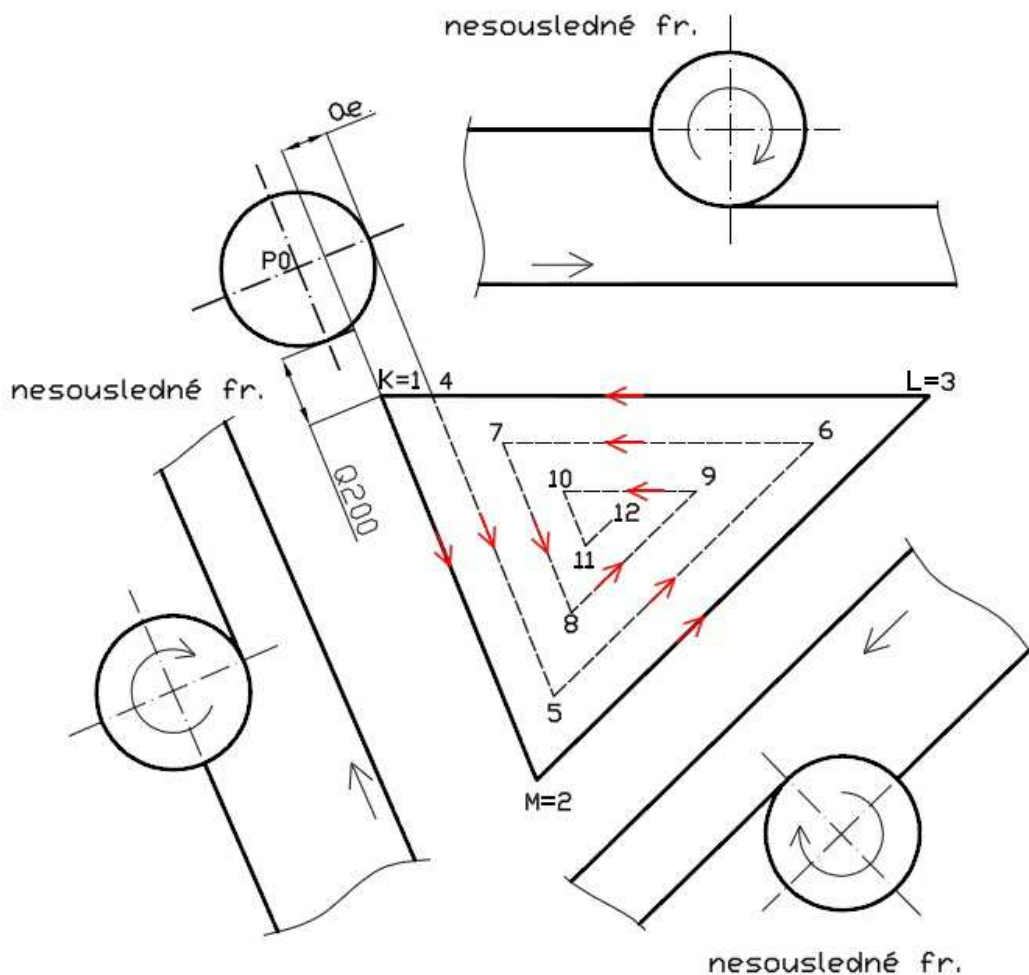
První způsob přejezdů nástroje je vyznačený na Obr. 15a). Při tomto způsobu dochází k obrábění pouze v přímém posuvovém pohybu nástroje do koncového bodu dráhy. V tomto bodě dochází k odjetí nástroje ve směru osy z do bezpečné vzdálenosti od obrobku, poté fréza vykoná zpětný pohyb rychloposuvem a následuje opět najetí frézy v axiálním směru do výchozího bodu další roviny obrábění. Druhý způsob přejezdů nástroje mezi jednotlivými rovinami obrábění je vyznačený na Obr. 15b). Na konci dráhy nástroje v každé rovině obrábění tento způsob využívá přísuv nástroje v axiálním směru o hodnotu a_p . K obrábění dochází jak v přímém posuvovém pohybu, tak i ve zpětném pohybu nástroje mezi jednotlivými koncovými body drah nástroje. K přísuvu frézy o hodnotu a_p může docházet mimo obráběný materiál, kdy je fréza „ve vzduchu“, nebo k němu může docházet v bodě, který je uvnitř či na hraně obráběné plochy.

Podprogram, který je vytvořený na základě této strategie využívá přejezdy nástroje vyznačené na Obr. 15a).

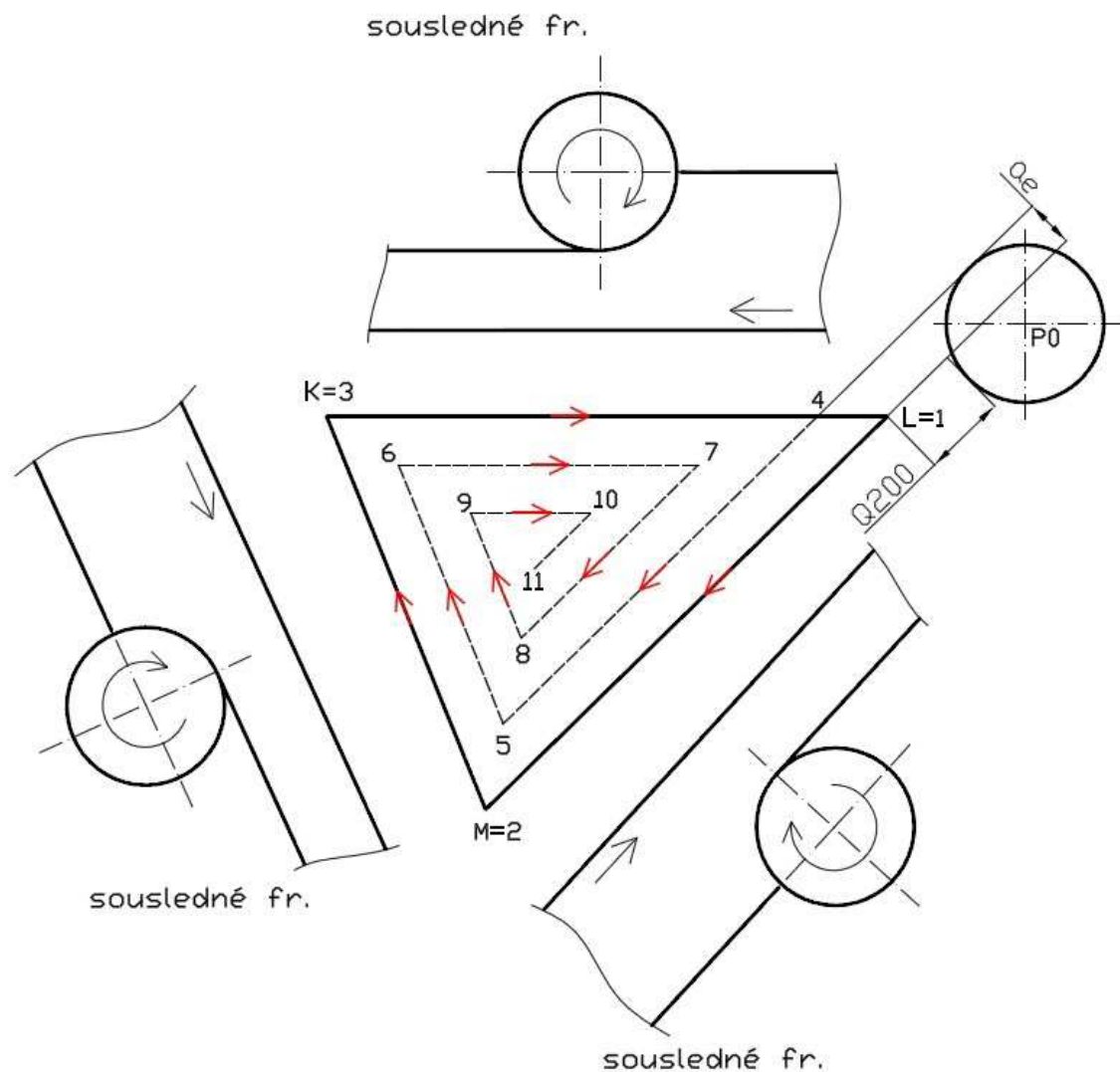
4.2. Strategie č. 2

Strategie č.2 používá frézu, jejíž průměr je menší než největší rozměr zkosení. Plochu zkosení tak nelze obrobit posuvem frézy pouze v jednom směru. Výsledné pohyby dráhy frézy v každé rovině obrábění mají tvar trojúhelníků (viz Obr. 16 a Obr. 17). Při zadávání vstupních parametrů této strategie uživatel podprogramu zadává hodnotu překrytí dráhy nástroje. Na základě této hodnoty a poloměru zvolené frézy se vypočítá šířka řezu a_e . Postupným frézováním se tak v každé rovině řezu zmenšuje výchozí trojúhelník K, L, M do doby, kdy je veškerý materiál v dané rovině řezu odfrézován. Počet rovin řezu je opět závislý na hloubce zkosení h a na hodnotě axiálního přířuvu a_p .

Dráhu nástroje, tedy posuvový pohyb nástroje lze naprogramovat dvěma způsoby (viz Obr. 16 a Obr. 17). Jednotlivé pohyby frézy jsou vzestupně číslovány od 1, směr pohybu je naznačen červenými šipkami. Při posuvovém pohybu pravořezné frézy podle Obr. 16 dochází k nesouslednému frézování, při pohybu nástroje podle Obr. 17 dochází k souslednému frézování.



Obr. 16 Strategie č.2-nesousledné frézování



Obr. 17 Strategie č.2-sousedné frézování

Z předchozích dvou obrázků je vidět, že pro přesné určení dráhy nástroje je nutné vypočítat souřadnice dalších bodů. Popis těchto bodů a jejich výpočtů je uveden v kapitole 6.3. Pro výpočty je nutná základní znalost analytické geometrie:

- 1) směrový vektor \vec{u} (u_1, u_2) přímky AB je vektor, který směřuje od bodu A $[a_1, a_2]$ do bodu B $[b_1, b_2]$, kde: $u_1 = b_1 - a_1$
 $u_2 = b_2 - a_2$
- 2) velikost vektoru $|\vec{u}|$ neboli délka úsečky $|AB| = \sqrt{(b_1 - a_1)^2 + (b_2 - a_2)^2}$
- 3) jednotkový vektor je vektor, jehož velikost je rovna 1 a vypočte se podle vzorce: $i = \frac{\vec{u}}{|\vec{u}|}$
- 4) dále je potřeba určit vektor, který je kolmý na směrový vektor, souřadnice tohoto vektoru se určí prohozením souřadnic směrového vektoru, kdy u jedné souřadnice se změní znaménko, takto určený vektor se dále v této práci nazývá normálový a jeho souřadnice jsou: $\vec{n} (-u_2, u_1)$

Vstupní parametry strategie č.2:

- Q171 – úhel naklopení δ
- Q224 – úhel rotace ρ
- Q200 – bezpečná vzdálenost, vzdálenost nástroje od povrchu obrobku, uživatel zadává kladnou hodnotu
- Q201 – hloubka zkosení h , kolmá vzdálenost mezi rohem zkosení a povrchem zkosení, uživatel zadává zápornou hodnotu
- Q202 – hloubka řezu a_p (axiální přísuv frézy), uživatel zadává zápornou hodnotu
- Q204 – 2. bezpečná vzdálenost, vzdálenost, ve které nemůže dojít ke kolizi mezi nástrojem a obrobkem
- Q207 – frézovací posuv v mm/min
- Q225 – souřadnice bodu R ve směru osy x
- Q226 – souřadnice bodu R ve směru osy y
- Q227 – souřadnice bodu R ve směru osy z
- Q370 – překrytí dráhy nástroje
- Q15 – volba směru frézování (uživatel zadává číslo +1/-1)

Parametr Q370 může nabývat hodnot $\langle 0;2 \rangle$ a uživatel tímto parametrem v závislosti na poloměru použité frézy definuje radiální šířku řezu a_e .

Pomocí parametru Q15 volí uživatel strategii frézování. Zadá-li uživatel jako hodnotu parametru Q15 číslo +1, fréza pak pojede sousledným způsobem (viz Obr. 17). Zadá-li uživatel číslo -1, fréza pak pojede nesousledným způsobem (viz Obr. 16).

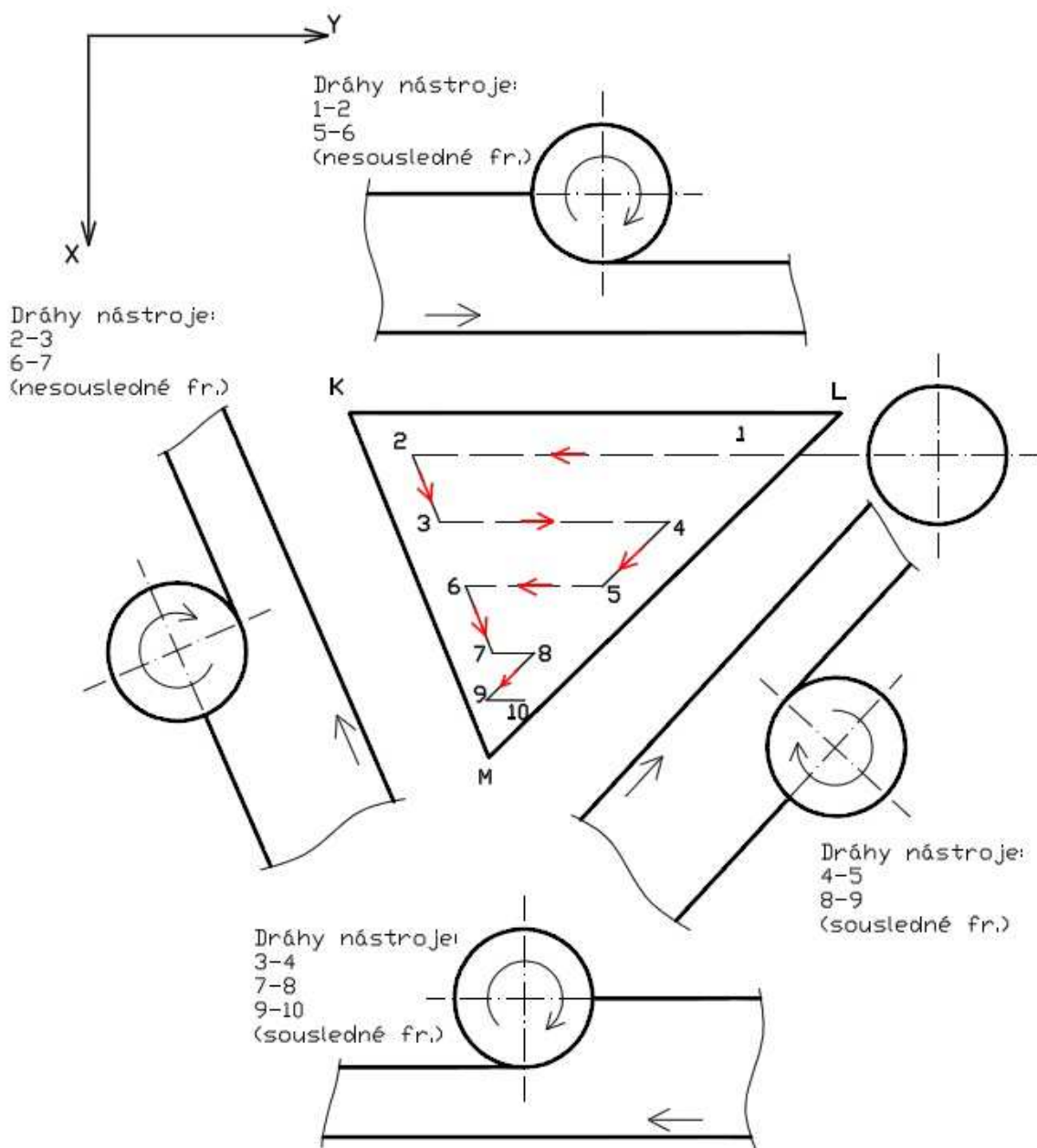
Popis strategie:

- 1) Příjezd frézy rychloposuvem do výchozího bodu. Tento bod je vzdálenosti určené hodnotou 2. bezpečné vzdálenosti (Q204) ve směru všech souřadnicových os od rohu zkosení R .
- 2) Pomocí cyklu 19 dojde k napolohování osy vřetena a obrobku.
- 3) Příjezd frézy do výchozího bodu frézování P0 (viz Obr. 16 a Obr. 17). Fréza je v bezpečné vzdálenosti od povrchu obrobku.
- 4) Podle hodnoty parametru Q15 dochází k souslednému či nesouslednému frézování pro každou rovinu řezu.
- 6) Odjezd frézy rychloposuvem ve směru osy z do roviny 2. bezpečné vzdálenosti na rohem zkosení R . Zrušení cyklu 19.

V této práci jsou více rozpracovány a naprogramovány strategie č.1 a strategie č.2. Pro obě strategie jsou v řídicím systému Heidenhain vytvořeny podprogramy, algoritmus těchto podprogramů je detailně popsán v kapitole 6. Další dvě navržené strategie, tedy strategie č. 3 a strategie č. 4 nejsou v této práci dále rozpracovány. Tyto strategie je možné naprogramovat a využívat v praxi, v této práci jsou však uvedeny pouze jako další dvě alternativy, jak lze dané zkosení rohu vytvořit.

4.3. Strategie č. 3

Strategie č.3 opět využívá frézu, jejíž průměr je menší než největší rozměr zkosení. Fréza pohybující se mezi jednotlivými koncovými body vytváří tzv. meandr (viz Obr. 18). Nevýhodou této strategie je, že dochází ke střídání sousledného a nesousledného frézování.

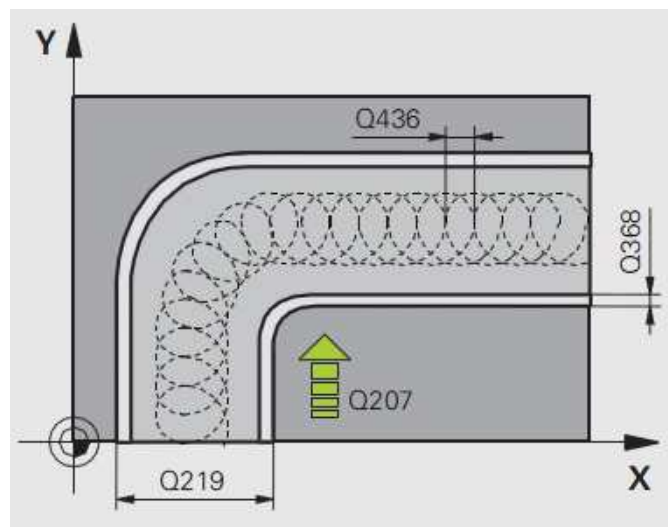


Obr. 18 Meandr

4.4. Strategie č. 4

Strategie č.4 využívá opět frézu, jejíž průměr je menší než největší rozměr zkosení. Strategie využívá tzv. trochoidní frézování. Při trochoidním frézování je dráha nástroje tvořena složeným pohybem po kružnici s pohybem po přímce. Výhoda trochoidního frézování oproti normálnímu způsobu, kdy se nástroj pohybuje např. po přímkách či kružnicích je možnost zvýšení řezných podmínek a tudíž zvýšení produktivity obrábění. [5]

Řídicí systém iTNC530 nabízí cyklus 275, což je obrábění trochoidní drážky. Tento cyklus lze využít např. u strategie č.1 či 2 tak, že namísto přímkových dráhových pohybů se použije cyklus 275, což umožní vytvořit zkosení rohu trochoidním způsobem frézování.



Obr. 19 Trochoidní drážka[1]

Pro vytvoření podprogramu je nutné znát body, po kterých se nástroj při obrábění bude pohybovat. Zadané parametry – hloubka zkosení h , úhel rotace ρ a úhel deklinace δ ovšem o těchto bodech nepodávají žádné informace a proto je nutné souřadnice těchto bodů dopočítat. K tomu je nutné vytvořit matematický model zkosení, který zadané parametry obsahuje.

5. Matematický model

Matematický model slouží pro výpočet jednotlivých bodů zkosení. Jak již bylo uvedeno dříve, tyto body jsou důležité pro stanovení drah nástroje. Tyto dráhy jsou různé a závisí na zvolené strategii frézování.

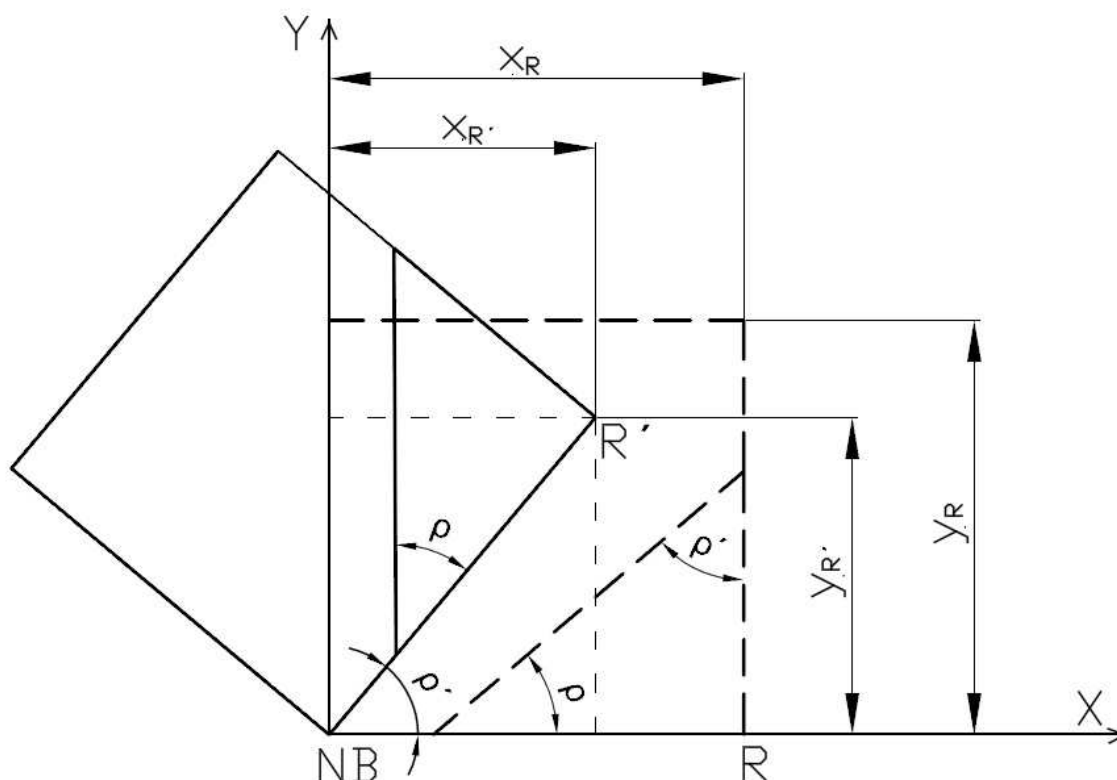
Při využití cyklu 19 dojde k natočení obrobku vůči souřadnému systému stroje tak, že *horní hrana zkosení* bude rovnoběžná s osou y a *plocha zkosení* bude kolmo k ose vřetená z . *Plocha zkosení* je plocha, která vznikne odfrézováním rohu součásti. *Horní hrana zkosení* (označena žlutě na Obr. 1) je definována jako průsečnice *plochy zkosení* a horní strany obrobku, která je před natočením rovnoběžná s rovinou XY . Při transformaci dojde k natočení obrobku o úhel ρ' kolem rotační osy C (viz Obr. 20) a k natočení souřadného systému o úhel δ kolem rotační osy B (viz Obr. 21).

5.1. Transformace rohu zkosení R

S využitím funkce naklonění roviny obrábění dojde ke změně polohy obrobku vůči souřadnému systému stroje a je tedy nutné vypočítat nové souřadnice rohu zkosení R . Transformace se provádí okolo aktivního nulového bodu.

5.1.1. Rotace okolo osy C

V prvním kroku transformace (viz Obr. 20) se provede rotace o úhel ρ' , kdy $\rho' = 90^\circ - \rho$.



Obr. 20 Rotace

NB – nulový bod – počátek souřadného systému obrobku.

R – roh zkosení před natočením o úhel ρ' .

R' – roh zkosení po natočení o úhel ρ' .

Poloha bodu $R = [x_R, y_R, z_R]$ se změní do bodu R' o souřadnicích $[x_{R'}, y_{R'}, z_{R'}]$ dle rovnic 1 a 2. Souřadnice bodu R se v ose z v tomto kroku transformace nemění.

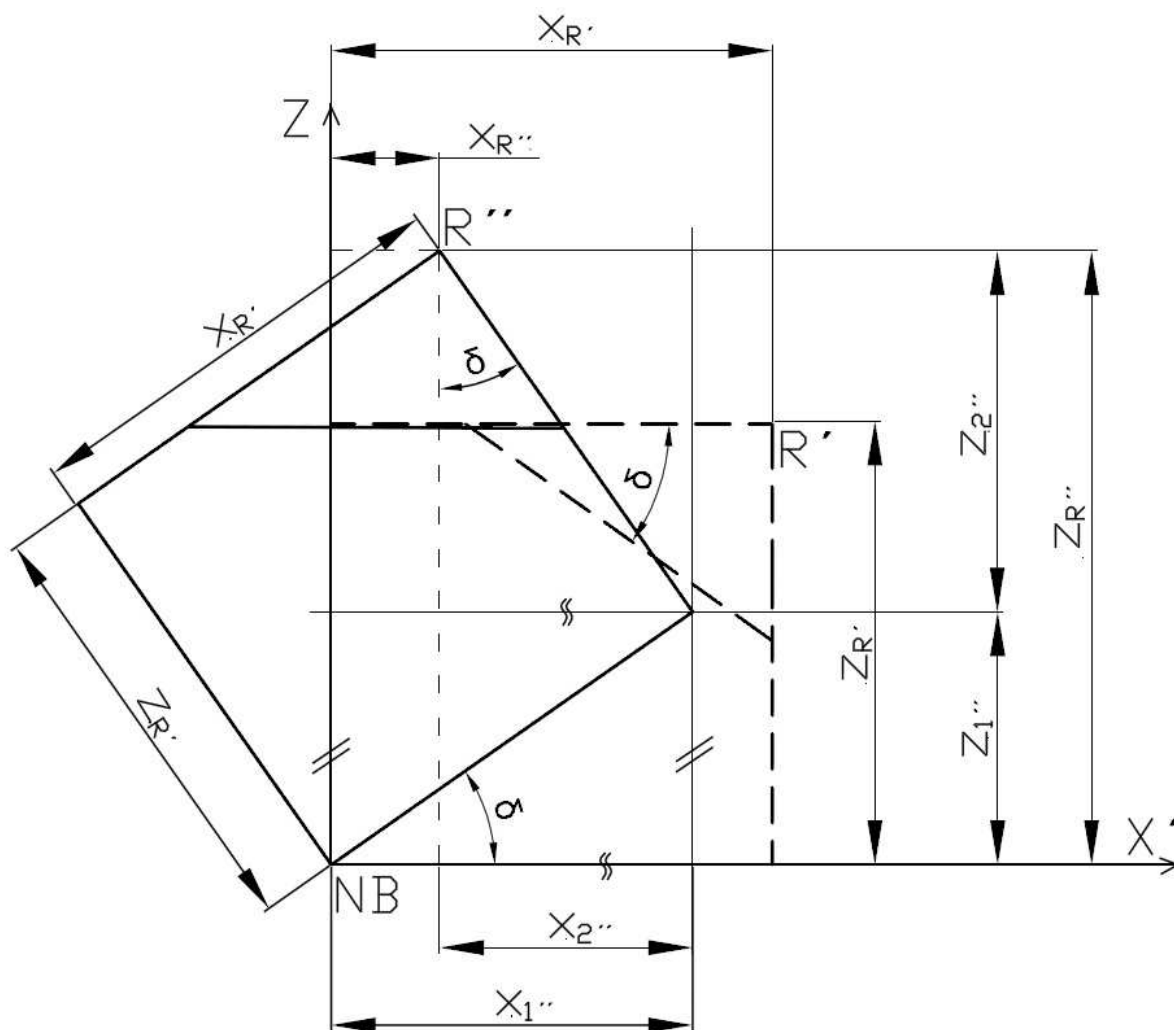
Výpočet souřadnic bodu R' :

$$x_{R'} = x_R * \cos \rho' \quad (1)$$

$$y_{R'} = x_R * \sin \rho' \quad (2)$$

5.1.2. Naklopení okolo osy B

Ve druhém kroku transformace se provede naklopení o úhel δ (viz Obr. 21).



Obr. 21 Naklopení

NB – nulový bod – počátek souřadného systému obrobku.

R' – roh zkosení před natočením o úhel δ .

R'' – roh zkosení po natočení o úhel δ .

Poloha bodu $R' = [x_{R'}, y_{R'}, z_{R'}]$ se změní do bodu R'' o souřadnicích $[x_{R''}, y_{R''}, z_{R''}]$ dle rovnic 3 až 8. Souřadnice bodu R' v ose y se v tomto kroku transformace nemění.

Výpočet souřadnic bodu R'' :

$$x_{R''} = x_{1''} - x_{2''} \quad (3)$$

$$x_{1''} = x_{R'} * \cos \delta \quad (4)$$

$$x_{2''} = z_{R'} * \sin \delta \quad (5)$$

$$z_{R''} = z_{1''} + z_{2''} \quad (6)$$

$$z_{1''} = x_{R'} * \sin \delta \quad (7)$$

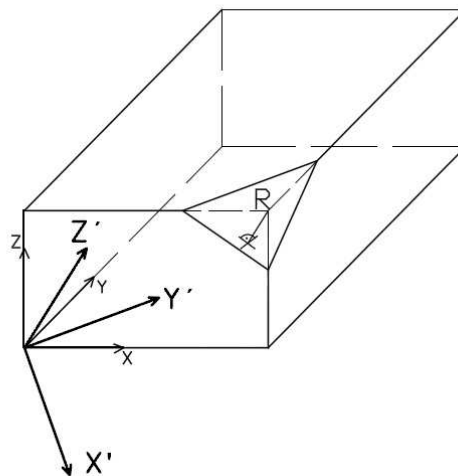
$$z_{2''} = z_{R'} * \cos \delta \quad (8)$$

Výpočty dalších bodů zkosení se vztahují k nově vypočtenému rohu R'' , který je však dále označován jako roh zkosení R .

5.2. Výpočty souřadnic bodů zkosení

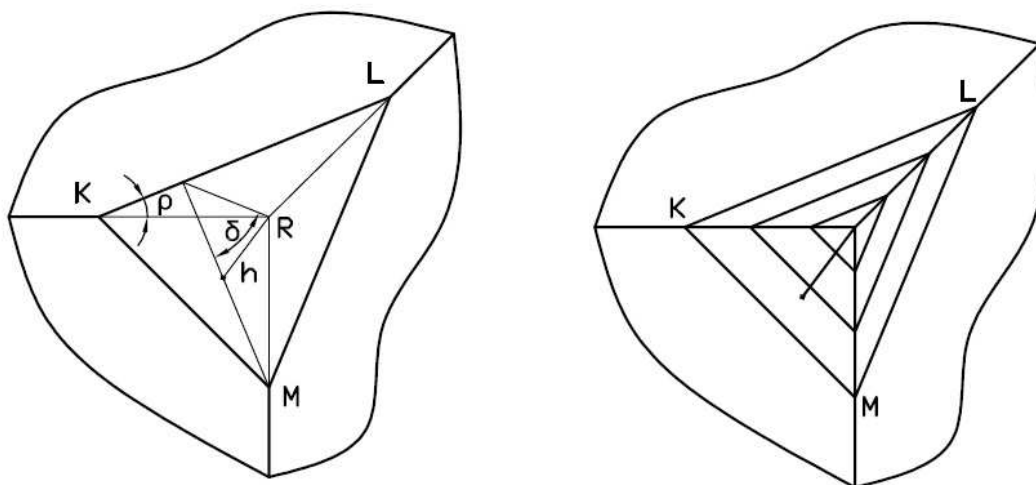
1. Pro výpočet souřadnic bodů zkosení se využije trigonometrie a známé hodnoty:

- souřadnice rohu zkosení $R[x_R, y_R, z_R]$, ve kterém se zkosení provádí
- velikost úhlu ρ
- velikost úhlu δ
- hloubka zkosení h



Obr. 22 transformace souřadného systému

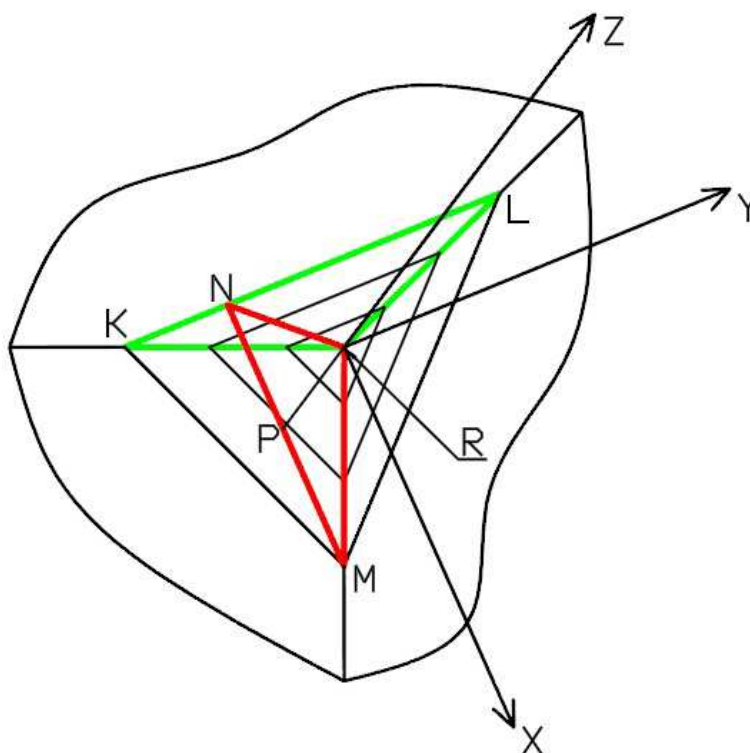
2. Pro naklonenou rovinu obrábění je nutné vypočítat souřadnice bodů K, L, M (viz Obr. 23). Tyto body označují vrcholy zkosení, které vzniknou jako průsečíky *plochy zkosení* s hranami obrobku. Hrany obrobku jsou průsečnice na sebe kolmým stěn pravouhlého obrobku. Body K, L, M jsou důležité pro výpočet dráhy nástroje. Poloha těchto bodů se mění v závislosti na hloubce řezu h .



Obr. 23 Zkosení rohu

Vzdálenost jednotlivých bodů K , L , M od známého bodu R se vypočítají z trojúhelníků KLR a NRM , které jsou vyznačené na Obr. 24, kde:

- K, L, M – vrcholy zkosení
- bod R – roh součásti, bod, ve kterém se zkosení provádí
- bod P – průsečík osy nástroje a obrobené plochy
- bod N – pomocný bod



Obr. 24 Vrchol zkosení

Z trojúhelníku NRM (viz Obr. 25) lze vypočítat tyto rozměry:

vzdálenost x_{NP} – vzdálenost bodů N a P (ve směru osy x)

vzdálenost x_{PM} – vzdálenost bodů P a M (ve směru osy x)

vzdálenost $u(h)$ – vzdálenost bodů N a R

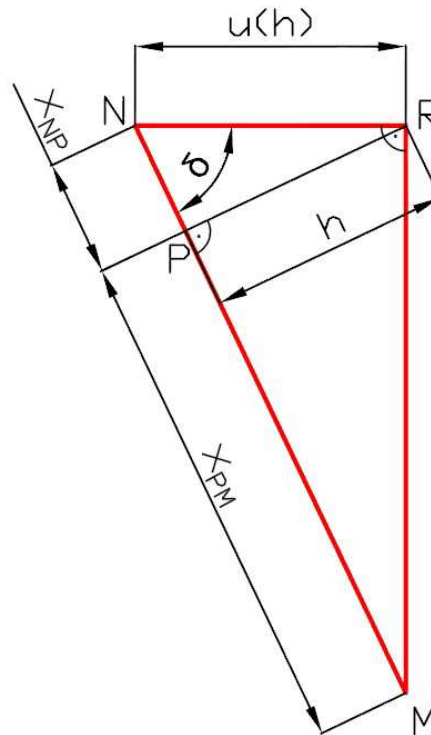
Vzdálenost $u(h)$ je závislá na hloubce zkosení h a proto je označena jako funkce této hodnoty.

$$\sin \delta = \frac{h}{u(h)} \quad \Rightarrow \quad u(h) = \frac{h}{\sin \delta} \quad (9)$$

$$\tan \delta = \frac{h}{x_{NP}} \quad \Rightarrow \quad x_{NP} = \frac{h}{\tan \delta} \quad (10)$$

Vzdálenost bodu L od bodu P (ve směru osy x) je stejně velká jako vzdálenost bodu K od bodu P (ve směru osy x), jedná se o vzdálenost x_{NP} .

$$\tan \delta = \frac{x_{PM}}{h} \quad \Rightarrow \quad x_{PM} = h \cdot \tan \delta \quad (11)$$

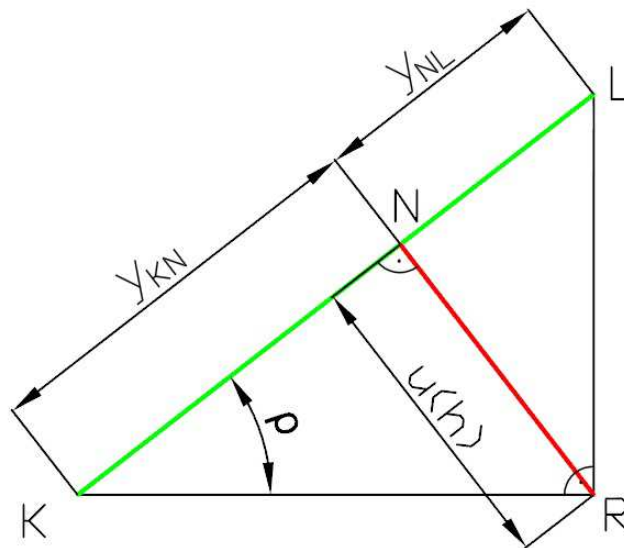


Obr. 25 trojúhelník NRM

Z trojúhelníku KLR (viz Obr. 26) lze vypočítat tyto rozměry:

vzdálenost y_{KN} – vzdálenost bodů K a N (ve směru osy y)

vzdálenost y_{NL} – vzdálenost bodů N a L (ve směru osy y)



Obr. 26 trojúhelník KLR

$$\tan \rho = \frac{u(h)}{y_{KN}} \Rightarrow y_{KN} = \frac{u(h)}{\tan \rho} \quad (12)$$

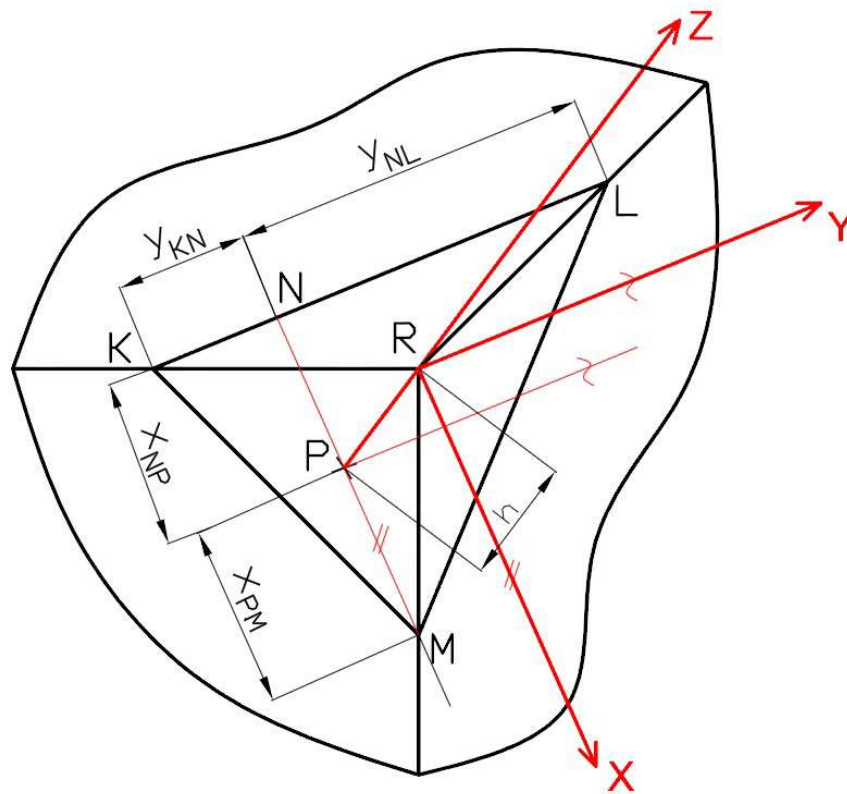
$$y_{KN} = \frac{h}{\sin \delta \cdot \tan \rho} \quad (13)$$

$$\tan \rho = \frac{y_{NL}}{u(h)} \Rightarrow y_{NL} = |u(h)| \cdot \tan \rho \quad (14)$$

$$y_{NL} = \frac{h}{\sin \delta} \cdot \tan \rho \quad (15)$$

Rovnice 13 a rovnice 15 v podprogramu nebudou použity. Jedná se pouze o úpravy, které jsou zde uvedeny pro názornost. Součiny prováděné v těchto rovnicích jsou časově náročnější než ukládání rovnic do paměti, proto budou v podprogramu použity rovnice 12 a rovnice 14.

Další body a vzdálenosti potřebné pro rozhodování a následně pro definování pohybu frézy pro strategie č.1 a č.2 jsou vypočteny a uvedeny v kapitole 6.



Obr. 27 Matematický model zkosení

Pomocí souřadnic bodu $R[x_R, y_R, z_R]$ a pomocí vzdáleností vypočítaných v rovnicích 10 až 15 lze určit polohu bodů K , L a M . Výpočty souřadnic těchto bodů jsou uvedeny v rovnicích 16 až 18.

$$K[x_K, y_K, z_K] = [x_R - x_{NP}, y_R - y_{KN}, z_R - h] \quad (16)$$

$$L[x_L, y_L, z_L] = [x_R - x_{NP}, y_R + y_{NL}, z_R - h] \quad (17)$$

$$M[x_M, y_M, z_M] = [x_R + x_{PM}, y_R, z_R - h] \quad (18)$$

Ověření matematického modelu je uvedeno v příloze práce č.2. Rovnice uvedené v matematickém modelu byly naprogramovány v SW Microsoft Excel a na základě vstupních parametrů byly vypočteny dané vzdálenosti. V SW Catia V5 byl na pravouhlém kvádru vytvořen model zkosení rohu o stejných vstupních parametrech, které byly použity pro výpočty v rovnicích v SW Excel. Vypočítané i naměřené hodnoty se shodují, což potvrzuje správnost matematického modelu a uvedených rovnic.

6. Tvorba podprogramu

Jestliže jsou navrženy strategie frézování a existuje matematický model, je nutné ke každé souřadnici, vzdálenosti či výpočtu přiřadit příslušný Q-parametr. Dále je nutné pro každou strategii najít algoritmus, pomocí kterého lze v systému Heidenhain vytvořit podprogram, který zkosení rohu na základě vstupních parametrů zrealizuje.

6.1. Definování parametrů

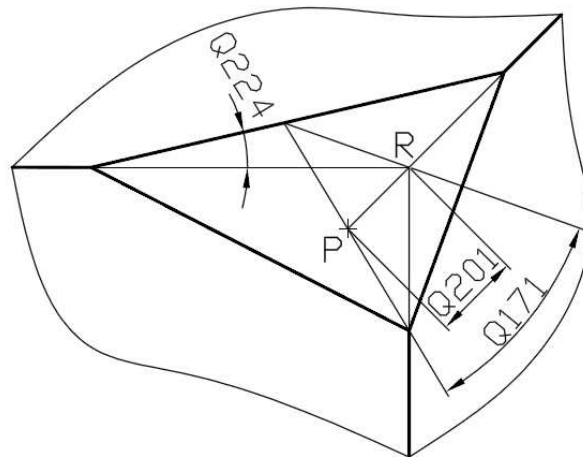
Pro vytvoření podprogramu lze použít 3 druhy parametrů, které řídicí systém Heidenhain nabízí. První druh jsou parametry, které se používají v předdefinovaných obráběcích cyklech. To je provedeno z důvodu větší přehlednosti a unifikace podprogramu. Např. parametr Q201, který ve frézovacích cyklech pro kapsy zastupuje hodnotu vzdálenosti mezi povrchem obrobku a dnem kapsy, v tomto podprogramu zastupuje hodnotu hloubky zkosení h . Druhým typem parametrů jsou volné parametry, tedy parametry které může uživatel libovolně nadefinovat. V tomto případě jsou použity pro definování zkosení a pro výpočty vzdáleností potřebných pro určení souřadnic bodů drah nástroje. Poslední typ jsou parametry pevně definované výrobcem řídicího systému, tzv. předobsazené parametry.

6.1.1. Předobsazené parametry[1]

Parametry Q100 až Q122 jsou předobrazené a definované firmou Heidenhain. Tyto parametry mají pevně daný význam, jedná se např. o:

- hodnoty z PLC
 - údaje o nástroji a vřetenu
 - údaje o provozním stavu
- 1) Parametry Q100 až Q107 se používají pro převzetí hodnot z PLC do NC programu.
 - 2) Parametr Q108 – aktivní rádius nástroje, skládá se z:
 - rádiusu nástroje R
 - delta-hodnoty DR z tabulky nástrojů
 - delta-hodnoty DR z bloku TOOL CALL
 - 3) Parametr Q109 – osa nástroje.
 - 4) Parametr Q110 – stav vřetena, hodnota parametru závisí na naposledy programované M-funkci.
 - 5) Parametr Q111 – přívod chladicí kapaliny
 - 6) Parametr Q112 – faktor překrytí při frézování kapes.
 - 7) Parametr Q113 – rozměrové údaje v programu.
 - 8) Parametr Q114 – délka nástroje, parametr obsahuje informaci o aktuální délce nástroje.
 - 9) Parametry Q115 až Q119 obsahují souřadnice polohy vřetena v okamžiku sejmutí po programovém měření 3D dotykovou sondou.
 - 10) Parametry Q120 až Q122: naklopení roviny obrábění pomocí úhlů.

6.1.2. Parametry společné pro obě strategie



Obr. 28 Parametry zkosení

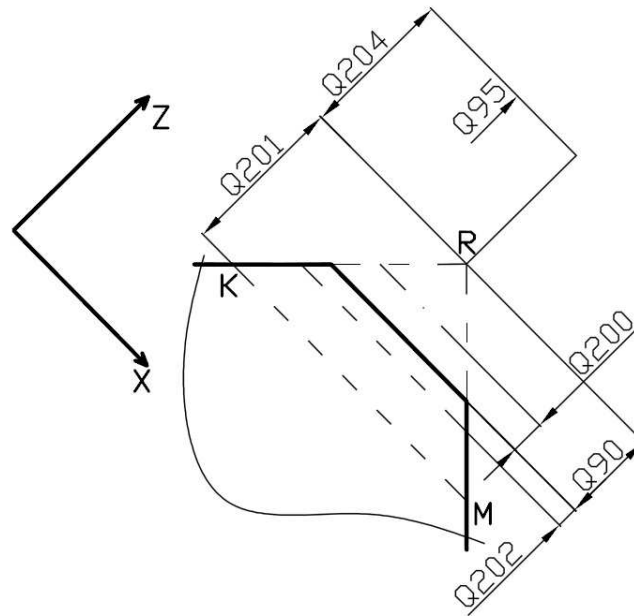
Parametr Q200 je definován jako bezpečná vzdálenost a její velikost definuje uživatel podprogramu. Tato vzdálenost je v podprogramu stejná pro všechny tři souřadnicové osy a slouží např. pro nájezd (odjezd) pracovním (rychlposuvem) posuvem nástroje do (z) řezu či jako přejezd za koncovým bodem dráhy nástroje (viz Obr. 29).

Parametr Q204 je 2. bezpečná vzdálenost neboli odjezd. Hodnota tohoto parametru se připočítává ve směru souřadnicových os k bodu zkosení R a slouží bezpečnému nájezdu frézy před obráběním a k bezpečnému odjezdu frézy po skončení podprogramu.

Pomocí parametru Q15 volí uživatel směr obrábění pro jednotlivé strategie. Hodnoty, kterých může parametr Q15 nabývat jsou více popsány u algoritmů jednotlivých strategií obrábění.

Hodnota parametru Q25 je 0,1. Jedná se o jednu desetinu milimetru, která tvoří tzv. ochranou obálku. Hodnota parametru Q25 je pevně daná konstanta, kterou uživatel podprogramu nezadá. Tato konstanta je v podprogramu připočtena k hodnotě bezpečné vzdálenosti, kterou uživatel zadává (parametr Q200). Parametr Q25 je zaveden z důvodu bezpečnosti, aby např. nedošlo k nájezdu nástroje rychloposuvem do materiálu.

Parametr Q90 (viz Obr. 29) je definován jako aktuální hloubka řezu. Na začátku podprogramu je tomuto parametru přiřazena hodnota 0 ($Q90=0$). Dojde-li v podprogramu k přísuvu nástroje ve směru osy z o hloubku řezu a_p (parametr Q202), zvýší se hodnota parametru Q90 o tuto hodnotu ($Q90=Q90+Q202$). Jak již bylo uvedeno dříve, souřadnice bodů K, L, M se podle hloubky řezu mění a v podprogramu jsou tak tyto souřadnice počítány vždy v závislosti na aktuální hloubce řezu Q90.



Obr. 29 Hloubky zkosení

Parametr Q95 je definován jako hladina 2. bezpečné vzdálenosti od rohu zkosení R ve směru osy z ($Q95=Q227+Q204$).

Pro výpočty bodů zkosení K , L , M a pro výpočty bodů důležitých pro definování dráhy nástroje jsou použity volné parametry ($Q0$ až $Q99$). Při výpočtech se vychází z matematického modelu zkosení a z bezpečných vzdáleností, které je nutné zvolit pro bezpečný proces obrábění.

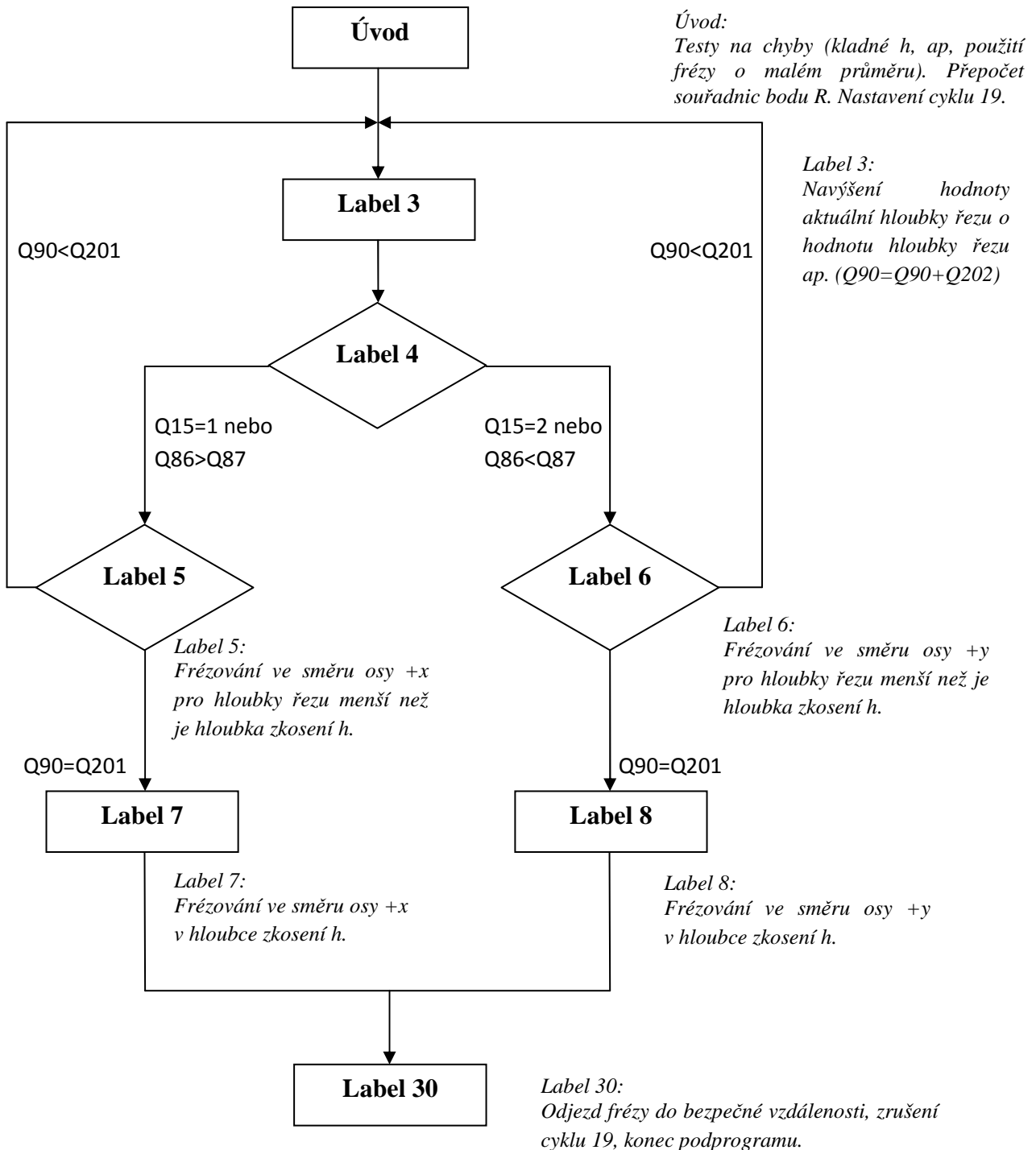
Řezné podmínky, tedy hloubku řezu a_p , šířku řezu a_e , posuv nástroje f , řeznou rychlost v_c (otáčky n) volí uživatel podprogramu. Tyto řezné podmínky volí podle druhu obráběného materiálu, podle druhu materiálu použité frézy a podle charakteru operace (hrubování či dokončování).

6.2. Strategie č.1

V této podkapitole je popsán algoritmus podprogramu strategie č. 1. Nejprve je zde uveden jednoduchý vývojový diagram, poté je algoritmus podprogramu vysvětlen za pomoci jednotlivých bloků podprogramu. Celý podprogram je uveden v příloze č. 3. Podprogram strategie č.1 je programován bez korekcí nástroje a je tedy vždy programován střed frézy.

Název podprogramu: ZkosRoh1

Vývojový diagram strategie č.1:



Úvodní bloky (1 až 11) slouží uživateli podprogramu jako nápověda. Pomocí těchto parametrů vytvoří hlavní program, ve kterém poté pomocí příkazu PGM CALL vyvolá podprogram ZkosRoh1, který zkosení podle zadaných parametrů zrealizuje.

Parametr Q15 (blok 11) může nabývat 3 různých hodnot a nabízí obsluhu volbu směru posuvu nástroje při frézování. Je-li hodnota parametru Q15 číslo 0, podprogram automaticky na základě velikostí vzdálenosti bodů $K-L$, $N-M$ a podle průměru použité frézy automaticky vybere směr frézování (ve směru osy x či y) tak, aby ujetá dráha nástroje byla co nejkratší (viz Obr. 30-str.51). Zadá-li obsluha jako hodnota parametru Q15 číslo 1, řídicí systém provede posuvový pohyb nástroje ve směru osy x . Zadá-li obsluha jako hodnotu parametru Q15 číslo 2, řídicí systém provede posuvový pohyb nástroje ve směru osy y .

15 ; test na chyby

16 FN 11: IF +Q201 GT +0 GOTO LBL 33 ; chyba-kladna hloubka zkoseni

17 FN 11: IF +Q202 GT +0 GOTO LBL 34 ; chyba-kladna hloubka rezu

Uživatel zadává hodnotu hloubky zkosení a hodnotu hloubky řezu jako záporné číslo. Zadá-li alespoň 1 z těchto hodnot jako kladné číslo, dojde ke splnění podmínky v bloku 16 či 17 a řídicí systém provede skok na příslušný Label.

19 Q89 = 180 - (90 + Q224) ; Ro`

V parametru Q89 je vypočítaný úhel ρ' (viz kapitola 5.1.1).

20 FN 1: Q88 =+Q227 + +Q204 ; bezp. vzdal. pri naklapani

21 FN 1: Q87 =+Q225 + +Q204 ; 2.bezp. vzdal. v ose x

22 FN 2: Q86 =+Q226 - +Q204 ; 2.bezp. vzdal. v ose y

Parametry Q88 až Q86 definují výchozí bod, do kterého fréza přijede na začátku podprogramu (blok 24). Tento bod je od výchozího rohu zkosení R ve vzdálenosti 2.bezpečné vzdálenosti (parametr Q204) a to ve směru všech tří souřadnicových os.

24 L X+Q87 Y+Q86 Z+Q88 R0 FMAX ; prijezd do bezp. vzdalenosti

25 B +Q171

26 C -Q89

Příkazy v blocích 25 a 26 provádějí rotační pohyby okolo rotačních os B a C. Směr rotace stolu a směr, kterým se naklopí hlava stroje, se bere v úvahu vůči nástroji, proto se naklopení provádí o kladný úhel δ (Q171) a rotace se provádí o záporný úhel ρ' (Q89).

28 CYCL DEF 19.0 ROVINA OBRABENI

29 CYCL DEF 19.1 B+Q171 C-Q89 FQ207 VZDAL.Q88

V blocích 28 a 29 je definován cyklus 19, který provádí naklopení souřadného systému o zadané parametry.

31 ; prepcet souradnic bodu R

V blocích 32 až 49 jsou vypočteny souřadnice transformovaného bodu R (viz kapitola 5). Jelikož v závislosti na zadaných parametrech mohou některé vzdálenosti vycházet záporné, jsou v následujících rovnicích brány tyto vzdálenosti jako absolutní hodnoty, tak aby platily rovnice 1 až 8 definované v kapitole 5.

32 $Q85 = \cos(Q89)$; $\cos \rho'$
Parametr $Q85$ je definován jako kosinus úhlu ρ' .

33 $Q84 = \sin(Q89)$; $\sin \rho'$
Parametr $Q84$ je definován jako sinus úhlu ρ' .

34 FN 3: $Q83 = Q225 * Q85$; xR'

35 $Q83 = \text{ABS } Q83$
Parametr $Q83$ je definován jako absolutní hodnota vzdálenosti xR' (viz rovnice 1).

36 FN 3: $Q82 = Q225 * Q84$; yR'

37 $Q82 = \text{ABS } Q82$
Parametr $Q82$ je definován jako absolutní hodnota vzdálenosti yR' (viz rovnice 2).

38 $Q81 = \cos(-Q171)$; $\cos -\Delta$
Parametr $Q81$ je definován jako kosinus úhlu $-\delta$.

39 $Q80 = \sin(-Q171)$; $\sin -\Delta$
Parametr $Q80$ je definován jako sinus úhlu $-\delta$.

40 FN 3: $Q79 = Q83 * Q81$; $x1''$

41 $Q79 = \text{ABS } Q79$
Parametr $Q79$ je definován jako absolutní hodnota vzdálenosti $x1''$ (viz rovnice 4).

42 FN 3: $Q78 = Q227 * Q80$; $x2''$

43 $Q78 = \text{ABS } Q78$
Parametr $Q78$ je definován jako absolutní hodnota vzdálenosti $x2''$ (viz rovnice 5).

44 FN 2: $Q77 = Q79 - Q78$; xR''
Parametr $Q77$ je definován souřadnice bodu R'' ve směru osy x (viz rovnice 3).

45 FN 3: $Q76 = Q83 * Q80$; $z1''$

46 $Q76 = \text{ABS } Q76$
Parametr $Q76$ je definován jako absolutní hodnota vzdálenosti $z1''$ (viz rovnice 7).

47 FN 3: $Q75 = Q227 * Q81$; $z2''$

48 $Q75 = \text{ABS } Q75$
Parametr $Q75$ je definován jako absolutní hodnota vzdálenosti $z2''$ (viz rovnice 8).

49 FN 1: $Q74 = Q76 + Q75$; zR''
Parametr $Q74$ je definován souřadnice bodu R'' ve směru osy z (viz rovnice 6).

51 ; zmena bodu

52 FN 0: $Q225 = Q77$; $xR = xR''$

53 FN 0: $Q226 = Q82$; $yR = yR''$

54 FN 0: $Q227 = Q74$; $zR = zR''$

V blocích 52 až 54 jsou hodnoty nově vypočtených souřadnic bodu $R[Q77, Q82, Q74]$ přiřazeny původním parametrům bodu $R[Q225, Q226, Q227]$. Tato operace je provedena pouze pro snadnější orientaci v podprogramu.

$$57 Q22 = \text{SIN} (Q171)$$

Parametr Q22 je definován jako sinus úhlu δ .

$$58 Q23 = \text{TAN} (Q171)$$

Parametr Q23 je definován jako tangens úhlu δ .

$$59 Q24 = \text{TAN} (Q224)$$

Parametr Q24 je definován jako tangens úhlu ρ .

$$61 \text{ FN } 0: Q25 = +0.1 \quad ; \text{ ochranná obálka}$$

$$62 \text{ FN } 1: Q200 = +Q200 + +Q25$$

V parametru Q25 je definována ochranná obálka. Její velikost 0.1 mm je pevně nastavená konstanta, která je v bloku 62 připočtena k hodnotě bezpečné vzdálenosti zadané uživatelem podprogramu (parametr Q200).

$$63 \text{ FN } 3: Q26 = +2 * +Q108 \quad ; \text{ průměr nástroje}$$

Parametr Q26 vypočítává průměr použité frézy.

$$64 \text{ FN } 0: Q90 = +0 \quad ; \text{ vynulování hloubky rezu}$$

Před začátkem obrábění je aktuální hloubka řezu nastavena na 0 (parametr Q90).

$$65 \text{ FN } 1: Q95 = +Q227 + +Q204 \quad ; zR+Q204$$

Parametr Q95 definuje 2. bezpečnou rovinu (v ose z), ze/do které se fréza pohybuje před/po obrábění (viz Obr. 29).

$$66 \text{ FN } 1: Q96 = +Q227 + +Q200 \quad ; zR+Q200$$

Parametr Q96 definuje bezpečnou rovinu (v ose z), ze/do které se fréza pohybuje před/po obrábění. (viz Obr. 29).

$$68 \text{ L } X+Q225 \ Y+Q226 \ Z+Q95 \ R0 \ \text{FMAX} \quad ; \text{ příjezd frézy}$$

Blok 68 vykonává příjezd frézy do 2. bezpečné roviny.

70 ; vypočet KL, NM, test na smer frez.

$$72 Q80 = \text{ABS } Q201 \quad ; + \text{ hloubka } h$$

$$73 \text{ FN } 4: Q81 = +Q80 \ \text{DIV} \ +Q22 \quad ; \text{ vzdal. } u(h)$$

$$74 \text{ FN } 4: Q82 = +Q80 \ \text{DIV} \ +Q23 \quad ; \text{ vzdal. } xNP$$

$$75 \text{ FN } 3: Q83 = +Q80 * +Q23 \quad ; \text{ vzdal. } xPM$$

$$76 \text{ FN } 4: Q84 = +Q81 \ \text{DIV} \ +Q24 \quad ; \text{ vzdal. } yKN$$

$$77 \text{ FN } 3: Q85 = +Q81 * +Q24 \quad ; \text{ vzdal. } yNL$$

V blocích 72 až 77 jsou vypočítané potřebné vzdálenosti pro určení souřadnic bodů K , L , M v hloubce zkosení h (viz kapitola 5.2). Jelikož uživatel zadává hloubku zkosení h jako záporné číslo a v matematickém modelu se s touto hloubkou počítá jako s kladným číslem, je nutné zavést parametr Q80. Tento parametr je definován jako absolutní hodnota hloubky zkosení, kterou zadá uživatel podprogramu a je použitý pro výpočty jednotlivých vzdáleností.

78 FN 1: Q86 =+Q84 + +Q85 ; vzdal. KL
Parametr Q86 vypočítává vzdálenost mezi body K a L (ve směru osy y).

79 FN 1: Q87 =+Q82 + +Q83 ; vzdal. NM
Parametr Q87 vypočítává vzdálenost mezi body N a M (ve směru osy x).

81 ; test na automaticky smer

82 FN 9: IF +Q15 EQU +1 GOTO LBL 1

83 FN 9: IF +Q15 EQU +2 GOTO LBL 2

Podmínky v blocích 82 a 83 určují podle hodnoty parametru Q15 směr frézování. Není-li ani jedna z těchto podmínek splněna (uživatel podprogramu zadal Q15=0), řídicí systém dále pokračuje ve čtení a vykonávání následujících bloků. K rozhodnutí o směru frézování tak dojde automaticky, toto rozhodnutí o směru frézování se provede pomocí podmínek v blocích 85 a 86.

85 FN 11: IF +Q86 GT +Q87 GOTO LBL 1

Je-li vzdálenost bodů $K-L$ (Q86) větší než vzdálenost bodů $N-M$ (Q87), pak řídicí systém provede skok na LABEL1.

86 FN 12: IF +Q86 LT +Q87 GOTO LBL 2

Je-li vzdálenost bodů $K-L$ menší než vzdálenost bodů $N-M$, pak řídicí systém provede skok na LABEL 2.

88 LBL 1

89 FN 11: IF +Q26 GT +Q86 GOTO LBL 3

90 FN 9: IF +Q26 EQU +Q86 GOTO LBL 3

91 FN 12: IF +Q26 LT +Q86 GOTO LBL 32

LABEL 1 pomocí podmínek rozhoduje o tom, je-li průměr použité frézy (parametr Q26) větší než vzdálenost bodů $K-L$ (parametr Q86). Je-li tato podmínka splněna, řídicí systém provede skok na Label 3. Není-li tato podmínka splněna, řídicí systém provede skok na LABEL 32, který obsluze zobrazí chybovou hlášku: průměr zvolené frézy je malý.

93 LBL 2

94 FN 11: IF +Q26 GT +Q87 GOTO LBL 3

95 FN 9: IF +Q26 EQU +Q87 GOTO LBL 3

96 FN 12: IF +Q26 LT +Q87 GOTO LBL 32

LABEL 2 pomocí podmínek rozhoduje o tom, je-li průměr použité frézy (parametr Q26) větší než vzdálenost bodů $N-M$ (parametr Q87). Je-li tato podmínka splněna, řídicí systém provede skok na Label 3. Není-li tato podmínka splněna, řídicí systém provede skok na Label 32, který obsluze zobrazí chybovou hlášku: průměr zvolené frézy je malý.

100 LBL 3 ; hlavní cyklus

101 FN 1: Q90 =+Q90 + +Q202 ; aktuální hloubka rezu

Při provedení skoku na Label 3 se vždy provede navýšení hodnoty aktuální hloubky řezu o hodnotu přísluvu ap . Hloubku řezu zadává uživatel jako záporné číslo, proto i hodnota parametru Q90 je záporné číslo. Pro tuto aktuální hloubku se provede frézování ve směru osy x či y (podle hodnoty parametru Q15). Toto navýšování hodnoty parametru Q90 se provádí do té doby, dokud je aktuální hloubka řezu menší než hloubka zkosení h a platí tedy podmínka v bloku 102. Při přesažení této hodnoty se aktuální hloubce řezu přiřadí hodnota hloubky zkosení h (viz blok 103) a provede se tak frézování v poslední rovině řezu. Nedojde-li ke splnění podmínky v bloku 102, řídicí systém provede skok na Label 4, který provádí výpočty pro aktuální hloubku řezu.

102 FN 11: IF +Q90 GT +Q201 GOTO LBL 4

103 FN 0: Q90 =+Q201

105 FN 12: IF +Q202 LT +Q201 GOTO LBL 31

Při splnění podmínky v bloku 105 dojde ke skoku na Label 31. Uživatel zadal hodnotu hloubky řezu ap větší než je hodnota hloubky zkosení h . Label 31 tak omezí maximální hloubku řezu na hodnotu parametru Q201.

107 LBL 4 ; výpočty K,L,M

Label 4 vypočítává souřadnice bodů K , L , M pro aktuální hloubku řezu Q90. Na konci tohoto labelu se podle hodnoty parametru Q15 provede skok na Label, který provede frézování ve směru osy x či y .

108 Q27 = ABS Q90 ; Q27 = + Q90

Parametr Q90 nabývá záporných hodnot. Ve výpočtech v matematickém modelu je aktuální hloubka řezu uvažována jako kladné číslo a proto je nutné zavést parametr Q27, který je definován jako absolutní hodnota parametru Q90.

109 FN 4: Q28 =+Q27 DIV +Q22 ; vzdal. u(h) pro Q90

Parametr Q28 vypočítává vzdálenost $u(h)$ pro aktuální hloubku řezu.

110 FN 4: Q29 =+Q27 DIV +Q23 ; vzdal. xNP pro Q90

Parametr Q29 vypočítává vzdálenost x_{NP} pro aktuální hloubku řezu.

111 FN 3: Q30 =+Q27 * +Q23 ; vzdal. xPM pro Q90

Parametr Q30 vypočítává vzdálenost x_{PM} pro aktuální hloubku řezu.

112 FN 4: Q31 =+Q28 DIV +Q24 ; vzdal. yKN pro Q90

Parametr Q31 vypočítává vzdálenost y_{KN} pro aktuální hloubku řezu.

113 FN 3: Q32 =+Q28 * +Q24 ; vzdal. yNL pro Q90

Parametr Q32 vypočítává vzdálenost y_{NL} pro aktuální hloubku řezu.

114 FN 2: Q33 =+Q225 - +Q29 ; sour. xK = sour. xL

115 FN 2: Q34 =+Q226 - +Q31 ; sour. yK

116 FN 1: Q35 =+Q226 + +Q32 ; sour. yL

117 FN 1: Q36 =+Q225 + +Q30 ; sour. xM

V blocích 114 až 117 jsou vypočteny souřadnice bodů K , L a M pro aktuální hloubku řezu $Q90$:

- K [Q33, Q34]
- L [Q33, Q35]
- M [Q36, Q226]

119 FN 1: $Q39 = +Q227 + +Q90$; nastavení hloubky řezu
Parametr $Q39$ vypočítává souřadnici frézy v ose z pro aktuální hloubku řezu $Q90$.

120 FN 1: $Q40 = +Q39 + +Q200$
V bloku 120 je k hodnotě parametru $Q39$ připočtena hodnota bezpečné vzdálenosti.

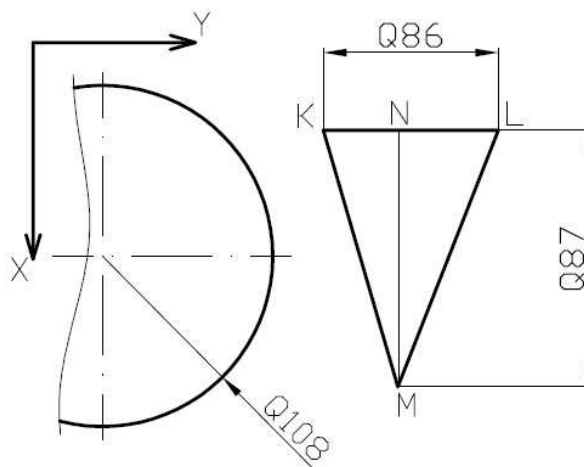
122 FN 9: $IF +Q15 EQU +1 GOTO LBL 5$; frez. ve smeru $+x$
Při splnění podmínky v bloku 122 provede řídicí systém skok na Label 5.

123 FN 9: $IF +Q15 EQU +2 GOTO LBL 7$; frez. ve smeru $+y$
Při splnění podmínky v bloku 123 provede řídicí systém skok na Label 7.

Nedošlo-li ke splnění ani jedné podmínky v blocích 122 a 123, hodnota parametru $Q15$ je 0 a řídicí systém tak o směru frézování rozhodne automaticky podle vzdáleností bodů $K-L$ a $N-M$ a podle průměru použité frézy (viz Obr. 30). Toto rozhodnutí o volbě směru je provedeno pomocí podmínek v blocích 124 a 125.

124 FN 11: $IF +Q86 GT +Q87 GOTO LBL 5$; frez. ve smeru $+x$

125 FN 12: $IF +Q86 LT +Q87 GOTO LBL 7$; frez. ve smeru $+y$



Obr. 30 Parametr $Q15$ -automatický výběr

Je-li vzdálenost bodů $N-M$ větší než vzdálenost bodů $K-L$, fréza pak pojede ve směru osy y , protože ujetá dráha je menší, než kdyby fréza jela ve směru osy x .

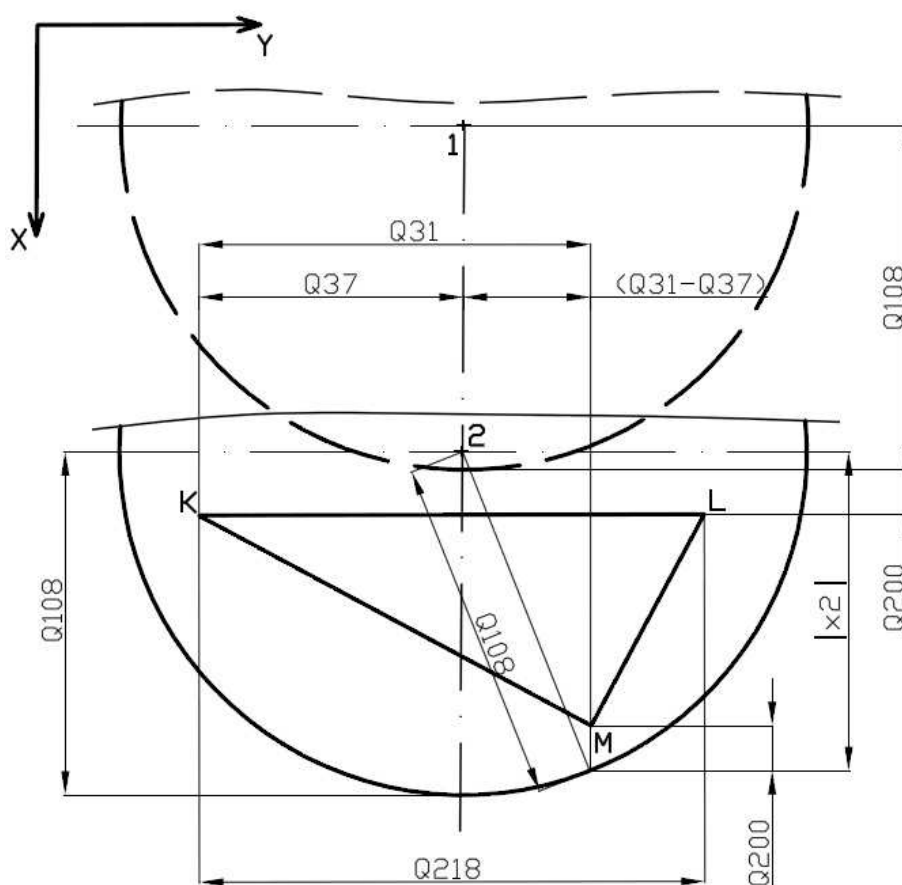
129 LBL 5 ; frez. ve smeru $+x$

Label 5 provádí frézování ve směru osy x pro jednotlivé hloubky řezu, které ještě nedosáhly hodnoty hloubky zkosení h .

130 FN 1: Q218 = +Q31 + +Q32 ; vzdal. KL pro Q90
 Parametr Q218 vypočítává vzdálenost mezi body *K* a *L* pro aktuální hloubku řezu.

131 FN 4: Q37 = +Q218 DIV +2 ; vzdal. KL/2 pro Q90
 Parametr Q37 je definovaný jako polovina vzdálenosti bodů *K* a *L*.

132 FN 1: Q41 = +Q34 + +Q37 ; y-ova sour. stredy frezy
 Při frézování ve směru osy *x* bude střed frézy ležet vždy v polovině mezi body *K* a *L*. Tuto souřadnici vypočítává parametr Q41, který k *y*-ové souřadnici bodu *K* (Q34) připočítává hodnotu parametru Q37 (viz Obr. 31).



Obr. 31 Frézování ve směru osy *x*

134 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 6 ; test na poslední rez

Podmínka v bloku 134 provádí test na poslední přejezd frézy. Je-li hodnota parametru Q90 stejná jako hodnota parametru Q201, provede řídicí systém skok na Label 6. V Labelu 6 dojde k výpočtům výchozího a koncového bodu frézování pro hloubku zkosení *h* a provede se poslední přejezd frézy.

Nebyla-li splněna podmínka v bloku 134 splněna, hodnota parametru Q90 ještě nedosáhla koncové hloubky a provedou se tak výpočty výchozího a koncového bodu frézování pro aktuální hloubku řezu (blok 136 a 137).

136 Q42 = Q33 - Q200 - Q108 ; sour. x1

Parametr Q42 vypočítává *x*-ovou souřadnici středu frézy pro výchozí bod 1 [Q42, Q41] (viz Obr. 31). Při nájězdu do výchozího bodu je fréza v bezpečné vzdálenosti (Q200) od obrobku.

137 Q43 = Q36 + Q200 - (SQRT (SQ Q108 - SQ (Q31-Q37))) ; sour. x2

Parametr Q43 vypočítává x -ovou souřadnici středu frézy pro koncový bod 2[Q43, Q41] (viz Obr. 31). Při pohybu do koncového bodu přejede fréza x -ovou souřadnici bodu M o hodnotu bezpečné vzdálenosti (Q200) což zaručí, že dojde k odfrézování veškerého materiálu v dané hloubce řezu. K výpočtu parametru Q43 je ještě nutné znát vzdálenost $|x_2|$, která se vypočte podle vzorce:

$$|x_2| = \sqrt{Q108^2 - (Q31 - Q37)^2} = SQRT(SQ Q108 - SQ (Q31 - Q37))$$

139 L X+Q42 Y+Q41 Z+Q40 R0 FMAX ; bod 1

V bloku 139 je vykonán příjezd frézy rychloposuvem do výchozího bodu obrábění (bod 1). V ose z se fréza pohybuje o velikost hodnoty bezpečné vzdálenosti nad aktuální hloubkou řezu (Q40).

140 L Z+Q39 R0 FQ207

V bloku 140 je vykonán příjezd frézy pracovním posuvem v ose z na hodnotu aktuální hloubky řezu (Q39).

141 L X+Q43 Y+Q41 Z+Q39 R0 FQ207 ; bod 2

Blok 141 vykonává pohyb frézy pracovním posuvem do koncového bodu (bod 2).

142 L Z+Q40 R0 FMAX

V bloku 142 vykoná fréza odjezd rychloposuvem ve směru osy z o hodnotu bezpečné vzdálenosti.

145 L X+Q42 Y+Q41 Z+Q40 R0 FMAX ; L P1

Jelikož aktuální hloubka řezu se ještě nerovná hloubce zkosení h , příkaz v bloku 145 vykoná pohyb frézy rychloposuvem zpět do výchozího bodu v bezpečné vzdálenosti nad obrobeným povrchem.

146 FN 11: IF +Q90 GT +Q201 GOTO LBL 3

147 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 3

Fréza ještě nedosáhla požadované hloubky zkosení a pomocí podmínek v blocích 146 a 147 tak řídicí systém vykoná skok v podprogramu zpět na Label 3.

149 LBL 6 ; poslední prejezd ve smeru +x

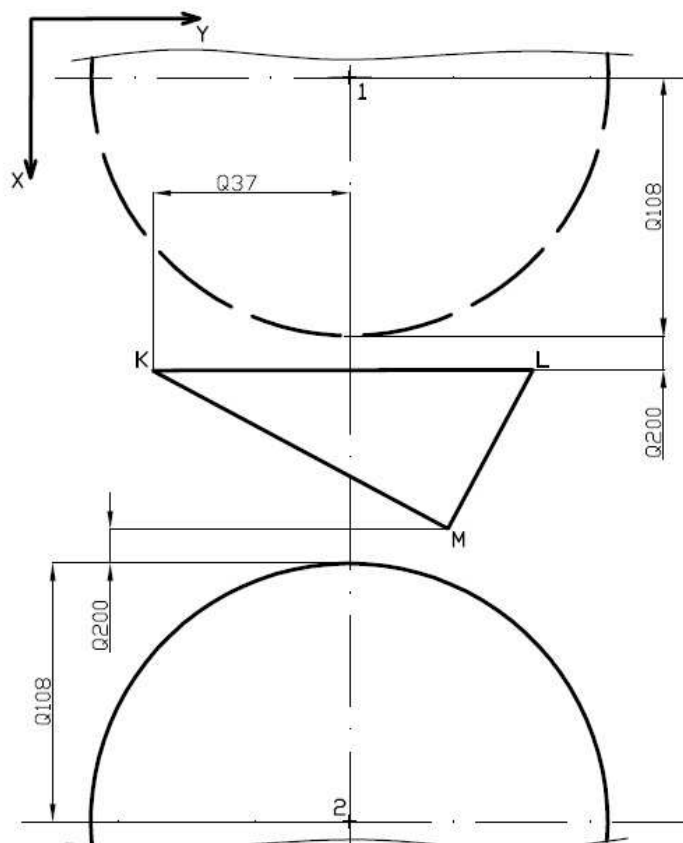
Label 6 provádí frézování ve směru osy x v hloubce zkosení h .

150 Q42 = Q33 - Q200 - Q108 ; sour. x1

Parametr Q42 vypočítává x -ovou souřadnici středu frézy pro výchozí bod 1[Q42, Q41] (viz Obr. 32). Při nájězdu do výchozího bodu je fréza v bezpečné vzdálenosti (Q200) od obrobku.

151 Q43 = Q36 + Q200 + Q108 ; sour. x2

Parametr Q43 vypočítává x -ovou souřadnici středu frézy pro koncový bod 2[Q43, Q41] (viz Obr. 32). Při pohybu do koncového bodu přejede fréza celým průměrem x -ovou souřadnici bodu M o hodnotu bezpečné vzdálenosti (Q200) a dojde tak k „začištění“ obrobeného povrchu.



Obr. 32 Poslední přejezd ve směru osy x

153 L X+Q42 Y+Q41 Z+Q40 R0 FMAX ; bod 1

154 L Z+Q39 R0 FQ207

155 L X+Q43 Y+Q41 Z+Q39 R0 FQ207 ; bod 2

156 L Z+Q40 R0 FMAX

Dráhové pohyby v blocích 153 až 156 vykonávají pohyby mezi body 1 a 2.

158 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 30

Label 6 provádí frézování v hloubce h a je tedy splněna podmínka v bloku 158. Řídicí systém tak provede skok na Label 30.

162 LBL 7 ; frez. ve smeru +y

Label 7 provádí frézování ve směru osy y pro jednotlivé hloubky řezu, které ještě nedosáhly hodnoty hloubky zkosení h .

163 FN 1: Q219 =+Q29 + +Q30 ; vzdal. NM

Parametr Q219 vypočítává vzdálenost mezi body N a M pro aktuální hloubku řezu.

164 FN 4: Q38 =+Q219 DIV +2 ; vzdal. NM/2

Parametr Q38 je definovaný jako polovina vzdálenosti bodů N a M (viz Obr. 33).

165 FN 1: Q44 =+Q33 + +Q38 ; x-ova sour. stredy frezy

Při frézování ve směru osy y bude střed frézy ležet vždy v polovině mezi body N a M . Tuto souřadnici vypočítává parametr $Q44$, který k x -ové souřadnici bodu K ($Q33$) připočítává hodnotu parametru $Q38$ (viz Obr. 33).

167 ; test na poslední rez

168 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 8

Podmínka v bloku 168 provádí test na poslední přejezd frézy. Je-li hodnota parametru $Q90$ stejná jako hodnota parametru $Q201$, provede řídicí systém skok na Label 8. V Labelu 8 dojde k výpočtům výchozího a koncového bodu frézování pro hloubku zkosení h a provede se poslední přejezd frézy ve směru osy y .

Nebyla-li splněna podmínka v bloku 168 splněna, hodnota parametru $Q90$ ještě nedosáhla koncové hloubky a provedou se tak výpočty výchozího a koncového bodu frézování pro aktuální hloubku řezu (blok 170 a 171).

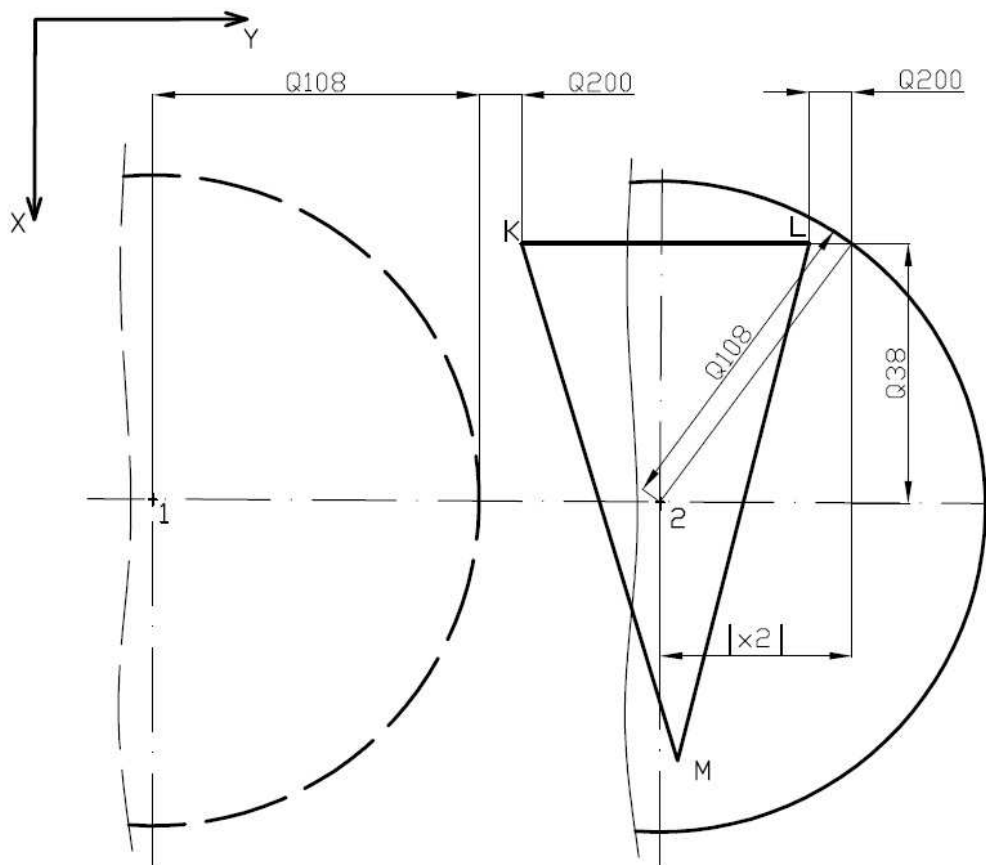
170 $Q45 = Q34 - Q200 - Q108$; sour. y1

Parametr $Q45$ vypočítává y -ovou souřadnici středu frézy pro výchozí bod 1 [$Q44$, $Q45$] (viz Obr. 33). Při nájezdu do výchozího bodu je fréza v bezpečné vzdálenosti ($Q200$) od obrobku.

171 $Q46 = Q35 + Q200 - (SQRT (SQ Q108 - SQ Q38))$; sour. y2

Parametr $Q46$ vypočítává y -ovou souřadnici středu frézy pro koncový bod 2 [$Q44$, $Q46$] (viz Obr. 33). Při pohybu do koncového bodu dojde k přejezdu bodu L ve směru osy y o hodnotu bezpečné vzdálenosti ($Q200$), což zaručí, že dojde k odfrézování veškerého materiálu v dané hloubce řezu. K výpočtu parametru $Q46$ je ještě nutné znát vzdálenost $|x_2|$, která se vypočte podle vzorce:

$$|x_2| = \sqrt{Q108^2 - Q38^2} = SQRT(SQ Q108 - SQ Q38)$$



Obr. 33 Frézování ve směru osy y

173 L X+Q44 Y+Q45 Z+Q40 R0 FMAX ; bod 1

V bloku 173 je vykonán příjezd frézy rychloposuvem do výchozího bodu obrábění (bod 1). V ose z se fréza pohybuje o velikost hodnoty bezpečné vzdálenosti nad aktuální hloubkou řezu (Q40).

174 L Z+Q39 R0 FQ207

V bloku 174 je vykonán příjezd frézy pracovním posuvem v ose z na hodnotu aktuální hloubky řezu (Q39).

175 L X+Q44 Y+Q46 Z+Q39 R0 FQ207 ; bod 2

Blok 175 vykonává pohyb frézy pracovním posuvem do koncového bodu (bod 2).

176 L Z+Q40 R0 FMAX

V bloku 176 vykoná fréza odjezd rychloposuvem ve směru osy z o hodnotu bezpečné vzdálenosti.

178 ; test na hloubku řezu

179 L X+Q44 Y+Q45 Z+Q40 R0 FMAX ; L P0

Jelikož aktuální hloubka řezu se ještě nerovná hloubce zkosení h , příkaz v bloku 179 vykoná pohyb frézy rychloposuvem zpět do výchozího bodu v bezpečné vzdálenosti nad obrobeným povrchem.

180 FN 11: IF +Q90 GT +Q201 GOTO LBL 3

181 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 3

Fréza ještě nedosáhla požadované hloubky zkosení a pomocí podmínek v blocích 180 a 181 vykoná řídicí systém skok v podprogramu zpět na Label 3.

184 LBL 8 ; poslední rez ve směru +y

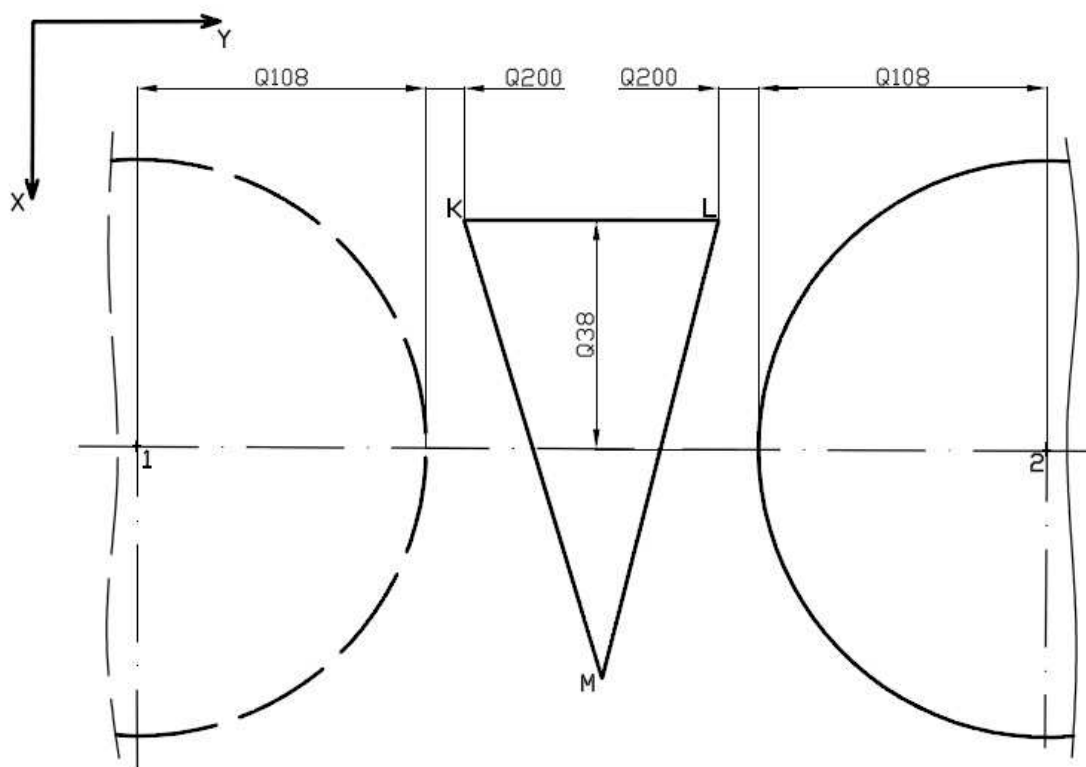
Label 8 provádí frézování ve směru osy y v hloubce zkosení h .

185 Q45 = Q34 - Q200 - Q108 ; sour. y1

Parametr Q45 vypočítává y-ovou souřadnici středu frézy pro výchozí bod 1 [Q44, Q45] (viz Obr. 34). Při nájezdu do výchozího bodu je fréza v bezpečné vzdálenosti (Q200) od obrobku.

186 Q46 = Q35 + Q200 + Q108 ; sour. y2

Parametr Q46 vypočítává y-ovou souřadnici středu frézy pro koncový bod 2 [Q44, Q46] (viz Obr. 34). Při pohybu do koncového bodu přejede fréza celým průměrem y-ovou souřadnicí bodu L o hodnotu bezpečné vzdálenosti (Q200) a dojde tak k „začištění“ obrobku.



Obr. 34 Poslední přejezd ve směru osy y

188 L X+Q44 Y+Q45 Z+Q40 R0 FMAX ; bod 1

189 L Z+Q39 R0 FQ207

190 L X+Q44 Y+Q46 Z+Q39 R0 FQ207 ; bod 2

191 L Z+Q40 R0 FMAX

Dráhové pohyby v blocích 188 až 191 vykonávají pohyby mezi body 1 a 2.

193 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 30

Label 8 provádí frézování v hloubce h a je tedy splněna podmínka v bloku 193. Řídicí systém tak provede skok na Label 30.

197 LBL 34 ; kladna hloubka rezu

198 M0

199 ; Hloubka rezu (Q202) musi byt zaporne cislo

Při skoku na Label 34 dojde k okamžitému zastavení provádění podprogramu a obsluze se zobrazí chybové hlášení, které je zapsané jako poznámka v bloku 199.

201 LBL 33 ; kladna hloubka zkoseni

202 M0

203 ; Hloubka zkoseni (Q201) musi byt zaporne cislo

Při skoku na Label 33 dojde k okamžitému zastavení provádění podprogramu a obsluze se zobrazí chybové hlášení, které je zapsané jako poznámka v bloku 203.

206 LBL 32 ; prumer frezy je maly

207 M0

208 ; Prumer frezy je maly a neprojede profilem

Při skoku na Label 32 dojde k okamžitému zastavení provádění podprogramu a obsluze se objeví informace o chybě, která je zapsaná jako poznámka v bloku 193. Obsluha tak musí změnit hodnotu parametru Q15 (volba směru frézování) nebo v hlavním programu zvolit frézu s větším rádiusem a znovu vyvolat příslušný podprogram.

211 LBL 31 ; prirazeni max hloubky rezu

212 FN 0: Q90 =+Q201 ; ap = h

213 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 4

Zadal-li uživatel hloubku řezu větší než je hloubka zkosení, dojde ke skoku na Label 31 vykonání příkazu v bloku 212. Poté řídicí systém provede skok zpět na Label 4, který vypočítává souřadnice bodů *K*, *L*, *M* pro aktuální hloubku řezu.

216 LBL 30 ; k o n e c

218 L Z+Q95 R0 FMAX

220 CYCL DEF 19.0 ROVINA OBRABENI

221 CYCL DEF 19.1 B+0 C+0 FQ207 VZDAL.Q88

Label 30 provádí konec podprogramu. Ve směru osy *z* dojde k odjezdu frézy rychloposuvem do 2. bezpečné vzdálenosti od obrobku (blok 218). Poté dochází ke zrušení cyklu 19, které se provádí zadáním hodnoty 0 do hodnot natočení rotačních os (bloky 220 a 221).

224 END PGM ZkosRoh1 MM

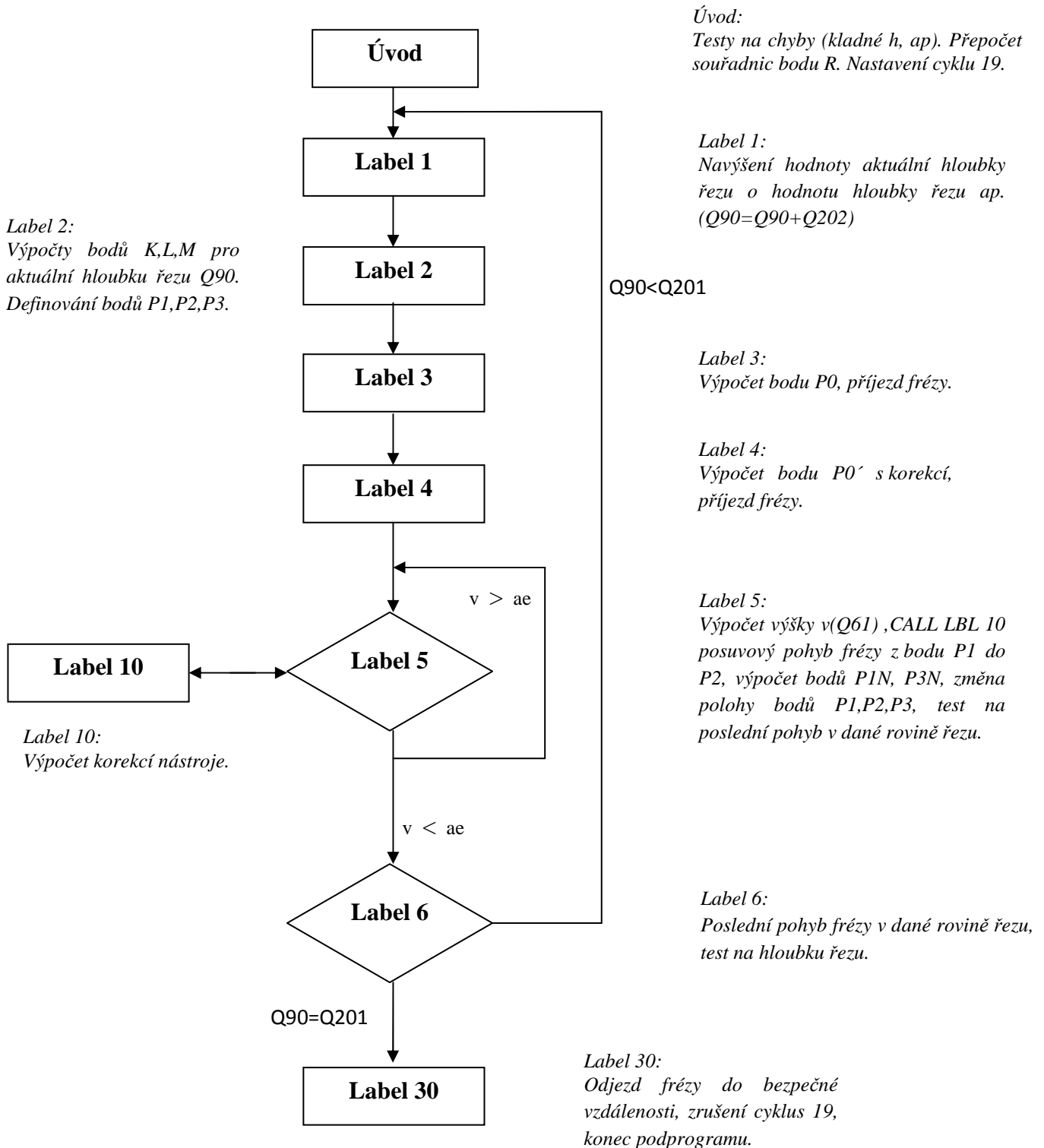
Po vykonání příkazu v bloku 224 vykoná řídicí systém skok zpět do hlavního programu za blok, ve kterém byl podprogram ZkosRoh1 vyvolán.

6.3. Strategie č.2

V této podkapitole je popsán algoritmus podprogramu strategie č. 2. Nejprve je zde uveden jednoduchý vývojový diagram, poté je algoritmus podprogramu vysvětlen za pomoci jednotlivých bloků podprogramu. Celý podprogram je uveden v příloze č.4.

Název podprogramu: ZkosRoh2

Vývojový diagram strategie č.2:



Úvodní bloky (1 až 12) slouží uživateli podprogramu jako nápověda. Pomocí těchto parametrů vytvoří hlavní program, ve kterém poté pomocí příkazu PGM CALL vyvolá podprogram ZkosRoh2, který zkosení podle zadaných parametrů zrealizuje.

Při zadávání vstupních parametrů nevolí uživatel korekci dráhy nástroje. Korekce dráhy je závislá na zvolené strategii, zvolí-li uživatel sousledné frézování, nástroj jede s korekcí zleva (viz Obr. 17) a naopak, zvolí-li uživatel nesousledné frézování, nástroj pojede s korekcí zprava (viz Obr. 16). Původně byl tento podprogram naprogramován s korekcemi dráhy nástroje, ovšem při simulaci obrábění docházelo při posledním přejezdu frézy v dané rovině řezu (Label 6) k chybě, zastavení podprogramu a řídicí systém tento přejezd neprovedl. Z tohoto důvodu se korekce v tomto podprogramu počítají automaticky (viz Label 10).

Do bloku 67 jsou všechny výpočty a definice Q-parametrů stejné jako u strategie č. 1 (viz kapitola 6.2).

68 FN 3: $Q99 = +Q370 * +Q108$; sirka rezu a_e

Na základě zadané hodnoty překrytí dráhy nástroje (Q370) a poloměru použité frézy (Q108) vypočítává parametr Q99 šířku řezu a_e .

72 LBL 1 ; hlavní cyklus

Při načtení Labelu 1 dojde k navýšení hodnoty aktuální hloubky řezu (Q90) o hodnotu řezu a_p (Q202). Toto navýšování až do hodnoty hloubky zkosení h se provádí stejně jako u první strategie (viz strategie č.1 Label 3).

73 FN 1: $Q90 = +Q90 + +Q202$; aktualni hloubka rezu

75 ;test na posledni hloubku

76 FN 11: IF $+Q90 GT +Q201$ GOTO LBL 2

77 FN 0: $Q90 = +Q201$; posledni hloubka

80 LBL 2 ; vypocty pro Q90

Label 2 provádí výpočty souřadnic bodů K , L , M pro aktuální hloubku řezu.

81 $Q27 = ABS Q90$

82 FN 4: $Q28 = +Q27 DIV +Q22$; vzdal. $u(h)$

83 FN 4: $Q29 = +Q27 DIV +Q23$; vzdal. x_{NP}

84 FN 3: $Q30 = +Q27 * +Q23$; vzdal. x_{PM}

85 FN 4: $Q31 = +Q28 DIV +Q24$; vzdal. y_{KN}

86 FN 3: $Q32 = +Q28 * +Q24$; vzdal. y_{NL}

87 FN 2: $Q33 = +Q225 - +Q29$; sour. $x_K = x_L$

88 FN 2: $Q34 = +Q226 - +Q31$; sour. y_K

89 FN 1: $Q35 = +Q226 + +Q32$; sour. y_L

90 FN 1: $Q36 = +Q225 + +Q30$; sour. x_M

Souřadnice bodů K , L , M pro aktuální hloubku řezu:

– $K[Q33, Q34]$

– $L[Q33, Q35]$

– $M[Q36, Q226]$

92 FN 1: $Q91 = +Q227 + +Q90$; nastavení hloubky rezu
Parametr $Q91$ vypočítává souřadnici frézy v ose z pro aktuální hloubku řezu $Q90$.

93 FN 1: $Q92 = +Q91 + +Q200$

V bloku 93 je k hodnotě parametru $Q91$ připočtena hodnota bezpečné vzdálenosti.

95 ; zmena bodu

96 FN 0: $Q37 = +Q33$; $xP1 = xL$

97 FN 0: $Q38 = +Q35$; $yP1 = yL$

98 FN 0: $Q39 = +Q36$; $xP2 = xM$

99 FN 0: $Q40 = +Q226$; $yP2 = yM$

100 FN 0: $Q41 = +Q33$; $xP3 = xK$

101 FN 0: $Q42 = +Q34$; $yP3 = yK$

V blocích 96 až 101 jsou parametrům bodů K , L , M přiřazeny parametry bodů $P1$, $P2$ a $P3$ (viz Obr. 35a). Tyto body jsou důležité pro určení pohybu frézy a jejich poloha se mění podle ujeté dráhy nástroje.

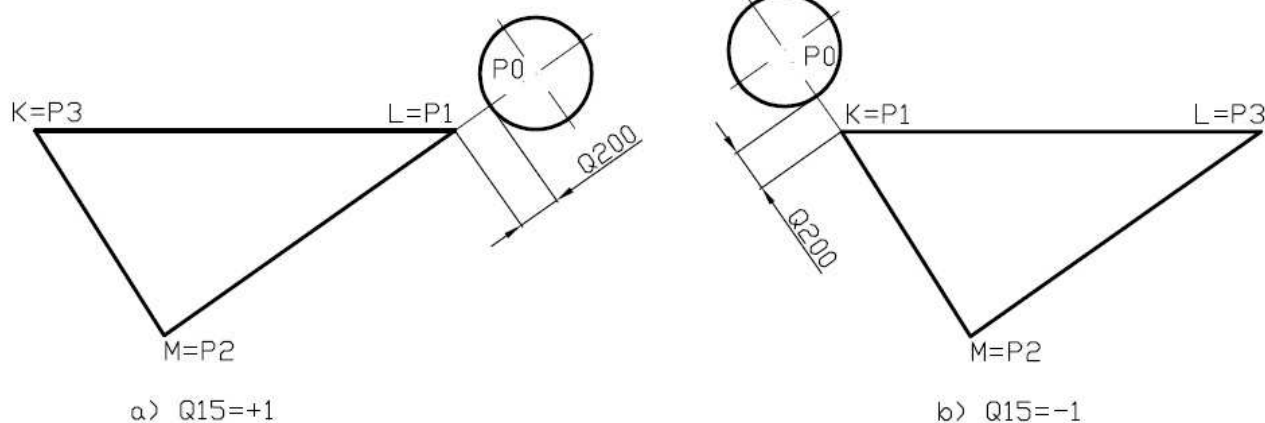
103 FN 9: IF $+Q15$ EQU $+1$ GOTO LBL 3

Podmínka v bloku 103 určuje výchozí polohu bodů $P1$, $P2$ a $P3$ podle zvolené strategie frézování. Je-li tato podmínka splněna, jedná se o sousledné frézování a řídicí systém provede skok na Label 3. Není-li tato podmínka splněna, jedná se o nesousledné frézování a řídicí systém provede změnu výchozích bodů $P1$ a $P3$ pomocí bloků 107 a 108 (viz Obr. 35b).

106 ; zmena bodu-nesousledne frezovani

107 FN 0: $Q38 = +Q34$; $yP1 = yK$

108 FN 0: $Q42 = +Q35$; $yP3 = yL$



$K[Q33, Q34]$	$P1[Q37, Q38]$
$L[Q33, Q35]$	$P2[Q39, Q40]$
$M[Q36, Q226]$	$P3[Q41, Q42]$

Obr. 35 Strategie č.2-směr frézování

111 LBL 3 ; vypočet bodu P0, příjezd frezy
Label 3 vypočítává souřadnice výchozího bodu P0 (viz Obr. 35). Tento bod leží na přímce, která je tvořena body P1 a P2 (směrový vektor = \vec{u}).

112 FN 2: Q43 =+Q39 - +Q37 ; u1

113 FN 2: Q44 =+Q40 - +Q38 ; u2

Parametry Q43 a Q44 vypočítávají složky vektoru \vec{u} (u_1, u_2) = \vec{u} (Q43,Q44).

114 Q45 = SQRT (SQ Q43 + SQ Q44) ; velikost u

Parametr Q45 vypočítává velikost vektoru $|\vec{u}|$.

115 FN 4: Q46 =+Q43 DIV +Q45 ; jednotkový smernik i1

Parametr Q46 udává jednotkový vektor ve směru osy x.

116 FN 4: Q47 =+Q44 DIV +Q45 ; jednotkový smernik j1

Parametr Q47 udává jednotkový vektor ve směru osy y.

117 Q48 = Q37 + (Q46 * (Q200 + Q108)) ; sour. xP0

118 Q49 = Q38 + (Q47 * (Q200 + Q108)) ; sour. yP0

Při příjezdu frézy do bodu P0 leží fréza v bezpečné vzdálenosti (Q200) od bodu P1. Souřadnice bodu P0[Q48, Q49] jsou vypočítány v blocích 117 a 118 podle vzorce:

$$P0 = P1 + (\vec{u} * (Q200+108))$$

120 FN 12: IF +Q90 LT +Q202 GOTO LBL 4

Podmínka v bloku 120 porovnává aktuální hloubku řezu se zadanou hloubkou řezu a_p . Je-li tato podmínka splněna, aktuální hloubka řezu je větší než hodnota a_p , nejedná se tedy o první rovinu řezu a řídicí systém vykoná skok na Label 4. Není-li tato podmínka splněna, dojde k vykonání bloku 121, který provádí první příjezd frézy. Fréza přijede rychloposuvem do bodu P0 v rovině 2.bezpečné vzdálenosti nad obrobkem.

121 L X+Q48 Y+Q49 Z+Q95 R0 FMAX ; 1. příjezd frezy

122 L Z+Q96 R0 FMAX

Příkaz v bloku 122 provede příjezd frézy rychloposuvem v ose z do roviny definované bezpečnou vzdáleností nad obrobkem.

125 LBL 4 ; příjezd frezy

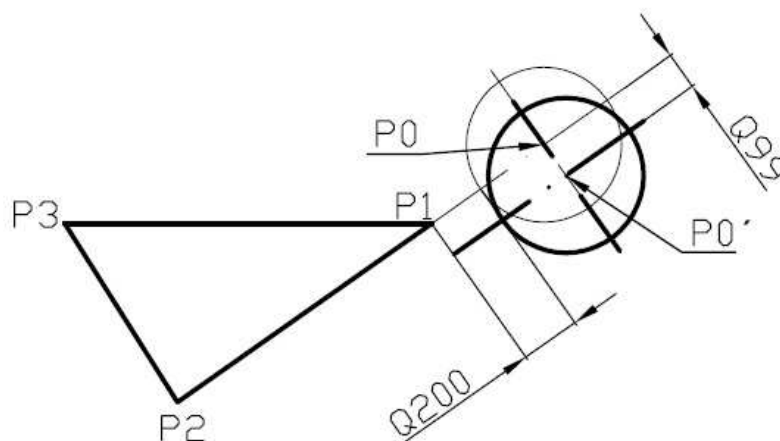
Label 4 vykonává výpočet souřadnic bodu P0' a příjezd frézy do tohoto bodu pro aktuální hloubku řezu.

127 ; vypočet P0` (s korekci)

128 Q48 = Q48 - (Q47 * Q15 * Q99) ; sour. xP0`

129 Q49 = Q49 + (Q46 * Q15 * Q99) ; sour. yP0`

V blocích 128 a 129 je proveden výpočet souřadnic bodu P0'. Bod P0' je výchozí bod upravený o korekci nástroje a leží na normále přímky procházející bodem P0 (viz Obr. 36). Body P0 a P1 leží na přímce, která je dána směrovým vektorem (Q46, Q47). Normálový vektor k této přímce je určen parametry (-Q47, Q46). Levá či pravá korekce nástroje je dána hodnotou parametru Q15 (tedy +1 či -1).



Obr. 36 Body P0, P0'

131 L X+Q48 Y+Q49 Z+Q92 R0 FQ207 ; L P0'
Příkaz v bloku 131 provádí pohyb frézy do bodu P0'.

132 L Z+Q91 R0 FQ207 ; nastavení hloubky rezu
Příkaz v bloku 132 provádí příjezd frézy v ose z do roviny aktuální hloubky řezu.

135 LBL 5 ; technologie

Label 5 je nejdůležitější část tohoto podprogramu. Tento Label provádí frézování v dané hloubce řezu až do doby, kdy je veškerý materiál v této hloubce odfrézován. Fréza se vždy pohybuje z bodu P1 do bodu P2, po každé ujeté dráze se poloha těchto bodů mění ve směru pohybu frézy. Pro určení pohybu frézy je nutné znát velikost výšky v trojúhelníku P1P2P3. Pro výpočet této výšky je nejdříve nutné znát velikost strany c a úhlu α (viz Obr. 37).

137 ; vypočet stran a,b,c

138 Q50 = (Q39 - Q41) ; xP2-xP3

139 Q51 = (Q40 - Q42) ; yP2-yP3

Parametry Q50 a Q51 určují vektor přímky a, této přímce náleží body P2 a P3.

140 Q52 = SQRT (SQ Q50 + SQ Q51) ; velikost strany a

Parametr Q52 udává velikost úsečky a.

141 Q53 = (Q39 - Q37) ; xP2-xP1

142 Q54 = (Q40 - Q38) ; yP2-yP1

Parametry Q53 a Q54 určují vektor přímky b, této přímce náleží body P1 a P2.

143 Q55 = SQRT (SQ Q53 + SQ Q54) ; velikost strany b

Parametr Q55 udává velikost úsečky b.

144 Q56 = (Q37 - Q41) ; xP1-xP3

145 Q57 = (Q38 - Q42) ; yP1-yP3

Parametry Q56 a Q57 určují vektor přímky c, této přímce náleží body P1 a P3.

146 Q58 = SQRT (SQ Q56 + SQ Q57) ; velikost strany c

Parametr Q58 udává velikost úsečky c .

Výpočet velikostí stran a, b, c je důležitý pro výpočet úhlu α a pro výpočet výšky v .

$$149 \quad Q59 = (SQ \ Q55 + SQ \ Q58 - SQ \ Q52) / (2 * Q55 * Q58) \quad ; \cos \alpha$$

Parametr Q59 podle kosinové věty [8] vypočítává kosinus úhlu α podle vzorce:

$$\cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 * b * c} = \frac{Q55^2 + Q58^2 - Q52^2}{2 * Q55 * Q58}$$

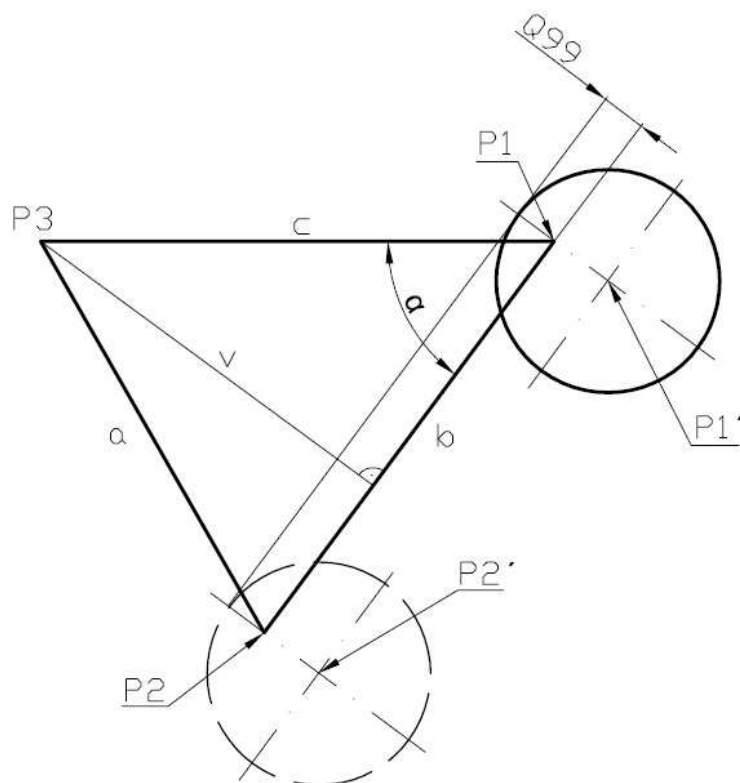
$$150 \quad Q60 = ACOS \ Q59 \quad ; \text{uhel alfa}$$

Parametr Q60 udává velikost úhlu α .

152 ; vypočet vysky v

$$153 \quad Q61 = Q58 * (ABS (SIN \ Q60)) \quad ; \text{vyska } v$$

Parametr Q61 udává velikost výšky v , která se vypočítá jako součin strany c a sinu úhlu α . Výška v vždy prochází bodem $P3$, je kolmá na stranu b a je tedy i kolmá na pohyb frézy. Výpočtem velikosti výšky v se určí velikost zbývajícího materiálu v dané rovině řezu, neboť poloha bodů $P1, P2, P3$ se po každé ujeté dráze frézy mění (viz Obr. 39 na straně 66). Je důležité, aby výška v byla kladné číslo a proto se ve vzorci v bloku 153 počítá s absolutní hodnotou sinu α .



Obr. 37 Label 5

155 CALL LBL 10

Příkaz v bloku 155 vykoná skok na Label 10. Tento Label na základě souřadnic bodů $P1$ a $P2$ vypočte souřadnice bodů $P1'$ a $P2'$, což jsou body $P1$ a $P2$ upravené o korekce nástroje.

157 ; test na poslední prejezd

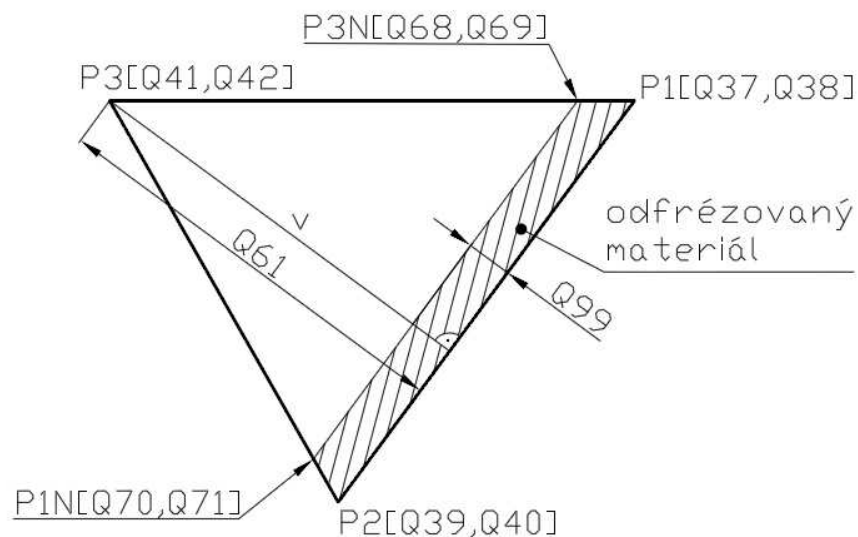
158 FN 12: IF +Q61 LT +Q99 GOTO LBL 6

Podmínka v bloku 158 porovnává velikost výšky v s hodnotou radiální šířky řezu a_e . Je-li výška menší než šířka řezu, řídicí systém provede skok na Label 6, který provádí poslední prejezd frézy v dané hloubce řezu. Je-li výška větší než šířka řezu, řídicí systém provede dráhové pohyby do bodu $P1$ [Q64,Q65] a poté do bodu $P2$ [Q66,Q67] (viz bloky 160 a 161).

160 L X+Q64 Y+Q65 Z+Q91 R0 FQ207 ; L P1`

161 L X+Q66 Y+Q67 Z+Q91 R0 FQ207 ; L P2`

Po ujetí této dráhy došlo k odfrézování materiálu o hodnotu šířky řezu a_e (Q99) v dané hloubce řezu a došlo tak ke zmenšení výchozího trojúhelníku. Zbytkový materiál v dané hloubce řezu má opět tvar trojúhelníku a je označen body $P1N$, $P3$ a $P3N$ (viz Obr. 38). Souřadnice bodů $P3N$ a $P1N$ jsou vypočítány v blocích 164 až 169.



Obr. 38 Label 5_2

163 ; vypočet bodu P3N

Souřadnice bodu $P3N$ [Q68,Q69] v ose x a v ose y se vypočítají podle vzorce:

$$P3N = P1 - \frac{a_e}{v} * (P3 - P1)$$

Postupným frézováním dochází ke zmenšování výchozího trojúhelníku, roste poměr $\frac{a_e}{v}$ a bod $P3N$ se stále přibližuje k bodu $P3$. Je-li poměr $\frac{a_e}{v} = 1$, bod $P3N$ je totožný s bodem $P3$.

164 Q68 = Q37 + ((Q99 / Q61) * (Q41 - Q37)) ; xP3N

165 Q69 = Q38 + ((Q99 / Q61) * (Q42 - Q38)) ; yP3N

167 ; vypočet bodu P1N

Stejným způsobem jako výpočet bodu $P3N$ se provede i výpočet bodu $P1N$. Souřadnice bodu $P1N$ se vypočítají podle vzorce:

$$P1N = P2 - \frac{a_e}{v} * (P3 - P2)$$

$$168 \quad Q70 = Q39 + ((Q99 / Q61) * (Q41 - Q39)) \quad ; xP1N$$

$$169 \quad Q71 = Q40 + ((Q99 / Q61) * (Q42 - Q40)) \quad ; yP1N$$

171 ; zmena bodu

Po dojetí frézy do bodu $P2'$ (viz Obr. 37) a provedení výpočtů bodů $P1N$ a $P3N$ se provede změna polohy bodů $P1$, $P2$ a $P3$. Z bodu $P1N$ se stane bod $P1$, z bodu $P3$ se stane bod $P2$ a z bodu $P3N$ se stane bod $P3$ (viz Obr. 39). Tato změna se provede změnou hodnot Q-parametrů definujících souřadnice příslušných bodů (viz bloky 172 až 177).

$$172 \text{ FN 0: } Q37 = +Q70 \quad ; xP1=xP1N$$

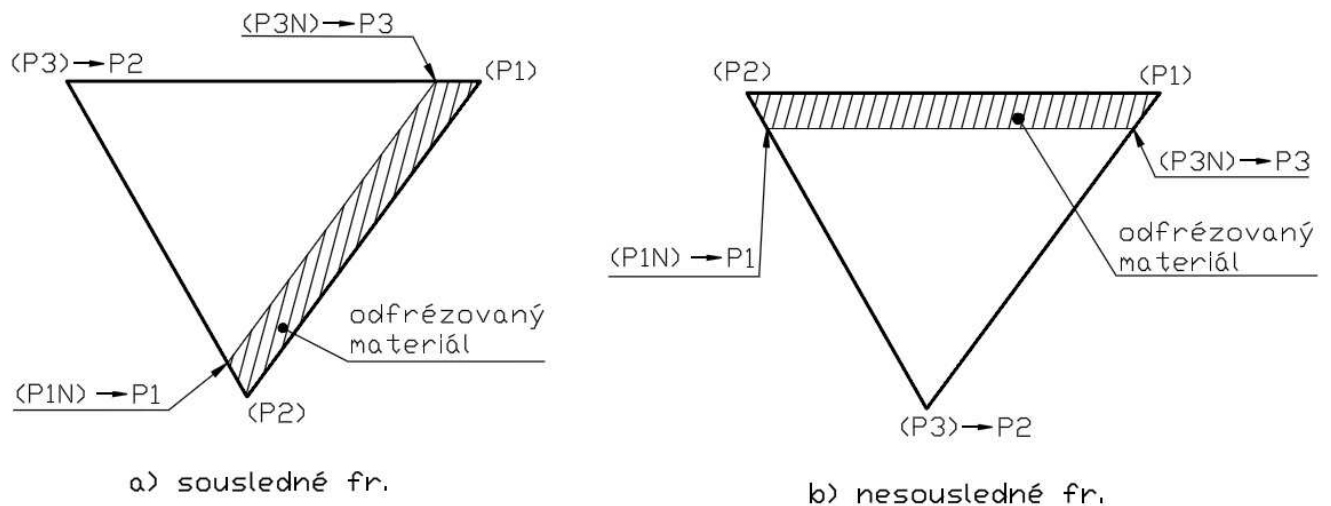
$$173 \text{ FN 0: } Q38 = +Q71 \quad ; yP1=yP1N$$

$$174 \text{ FN 0: } Q39 = +Q41 \quad ; xP2=xP3$$

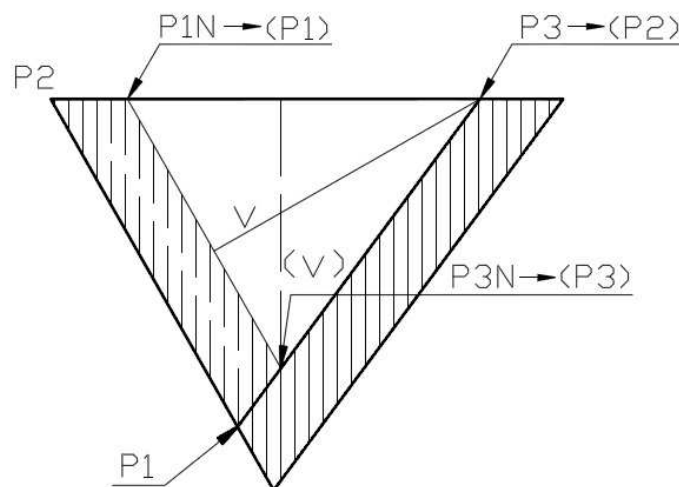
$$175 \text{ FN 0: } Q40 = +Q42 \quad ; yP2=yP3$$

$$176 \text{ FN 0: } Q41 = +Q68 \quad ; xP3=xP3N$$

$$177 \text{ FN 0: } Q42 = +Q69 \quad ; yP3=yP3N$$



Obr. 39 Label 5-změna bodů



Obr. 40 Label 5 - změna bodů 2

Obr. 40 vychází z Obr. 39a). Opakovaným načítáním a prováděním příkazů v Labelu 5 dochází posuvovému pohybu frézy z bodu $P1'$ do bodu $P2'$ a následně ke změně polohy bodů $P1$, $P2$ a $P3$. Dochází tak ke zmenšování výchozího trojúhelníku K , L , M v dané rovině řezu.

Jelikož se ještě nejednalo o poslední přejezd frézy v dané rovině řezu (velikost výšky v je větší než šířka řezu a_e), dojde ke splnění podmínky v bloku 179 a řídicí systém vykoná skok zpět na Label 5.

179 FN 9: IF +0 EQU +0 GOTO LBL 5 ; freza zustava v hloubce-zmensuje se trojuhelnik

182 LBL 6 ; posledni prejezd v hloubce

Label 6 provádí poslední přejezd frézy v dané rovině řezu. Tento poslední přejezd je určen tím, že došlo ke splnění podmínky v bloku 158 a výška v (Q61) je menší než radiální šířka řezu a_e (Q99). Pro tento poslední řez je nutné vypočítat souřadnice koncového bodu $P2''$ [Q72, Q73] viz Obr. 41, výpočet se provádí v blocích 185 a 186. Souřadnice bodu $P2''$ v ose x a y se vypočítají podle vzorce:

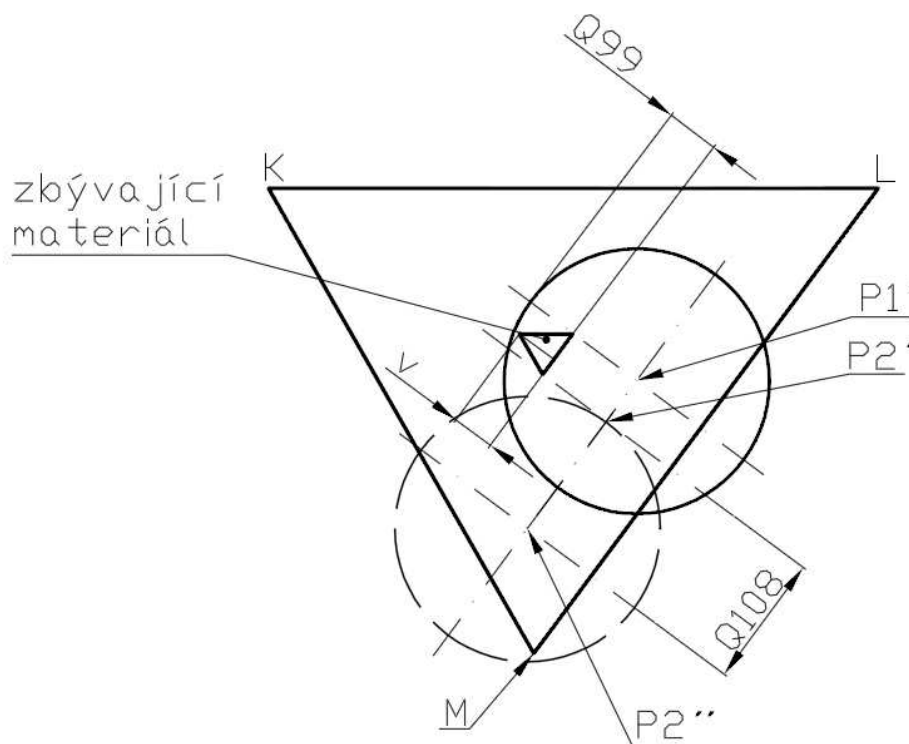
$$P2'' = P2' + (\vec{v} * Q108),$$

vektor \vec{v} je definovaný v Labelu 10.

184 ; vypocet bodu P2''

185 Q72 = Q66 + (Q62 * Q108) ; sour. xP2''

186 Q73 = Q67 + (Q63 * Q108) ; sour. yP2''



Obr. 41 Koncový bod $P2''$

188 L X+Q64 Y+Q65 Z+Q91 R0 FQ207 ; L P1'

189 L X+Q72 Y+Q73 Z+Q91 R0 FQ207 ; L P2''

Dráhové pohyby v blocích 188 a 189 provádějí pohyb frézy frézovacím posuvem do bodu $P1'$ a následně do bodu $P2''$.

190 L Z+Q92 FMAX

V bloku 190 se provádí odjezd frézy v ose z o hodnotu bezpečné vzdálenosti.

192 ; test na poslední hloubku

193 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 30

Podmínka v bloku 193 porovnává aktuální hloubku řezu s hloubkou zkosení h . Je-li tato podmínka splněna, fréza již dosáhla koncové hloubky a řídicí systém provede skok na Label 30. Nedojde-li ke splnění této podmínky, fréza provede pohyb rychloposuvem do výchozího bodu P0 pro danou hloubku řezu (viz blok 195) a pomocí podmínky v bloku 197 řídicí systém vykoná skok v podprogramu zpět na Label 1.

195 L X+Q48 Y+Q49 Z+Q92 R0 FMAX ; L P0

197 FN 11: IF +Q90 GT +Q201 GOTO LBL 1

202 LBL 10 ; korekce

Label 10 na základě souřadnic bodů $P1$ a $P2$ vypočítává souřadnice korigovaných bodů $P1'$ [Q64,Q65] a $P2'$ [Q44,Q67]. Ze souřadnic bodů $P1$ a $P2$ lze určit směrový vektor \vec{v} (Q62,Q63), podle vzorce: $v = \frac{b}{|b|}$. Tento vektor definuje přímku mezi těmito body $P1$ a $P2$ (viz bloky 203 a 204). Body $P1'$ a $P2'$ leží na normále přímky, která prochází body $P1$ a $P2$ (viz Obr. 37). Normálová přímka je určena vektorem \vec{n} (-Q63, Q62).

203 FN 4: Q62 =+Q53 DIV +Q55 ; jednotkový smernik i2

204 FN 4: Q63 =+Q54 DIV +Q55 ; jednotkový smernik j2

Souřadnice korigovaných bodů $P1'$ a $P2'$ (viz bloky 206 až 209) se vypočítají podle vzorce:

$$P1'(P2') = P1(P2) \pm (\vec{n} * Q15 * a_e)$$

206 Q64 = Q37 - (Q63 * Q15 * Q99) ; sour. xP1`

207 Q65 = Q38 + (Q62 * Q15 * Q99) ; sour. yP1`

208 Q66 = Q39 - (Q63 * Q15 * Q99) ; sour. xP2`

209 Q67 = Q40 + (Q62 * Q15 * Q99) ; sour. yP2`

210 LBL 0

Příkaz LBL 0 definuje konec toho Labelu a řídicí systém provede skok zpět na blok, který následuje za příkazem CALL LBL 10.

214 LBL 32

215 M0

216 ; Hloubka rezu (Q202) musí být záporné číslo

Při skoku na Label 32 dojde k okamžitému zastavení provádění podprogramu a obsluze se zobrazí chybové hlášení, které je zapsané jako poznámka v bloku 216.

218 LBL 31

219 M0

220 ; Hloubka zkosení (Q201) musí být záporné číslo

Při skoku na Label 31 dojde k okamžitému zastavení provádění podprogramu a obsluze se zobrazí chybové hlášení, které je zapsané jako poznámka v bloku 220.

228 LBL 30

; k o n e c

229 L Z+Q95 R0 FMAX

231 CYCL DEF 19.0 ROVINA OBRABENI

232 CYCL DEF 19.1 B+0 C+0 F AUTO VZDAL.Q88

Label 30 provádí konec podprogramu. Ve směru osy z dojde k odjezdu frézy rychloposuvem do 2. bezpečné vzdálenosti od obrobku (blok 229). Poté dochází ke zrušení cyklu 19, které se provádí zadáním hodnoty 0 do hodnot natočení rotačních os (bloky 231 a 232).

234 END PGM ZkosRoh2 MM

Po vykonání příkazu v bloku 234 vykoná řídicí systém skok zpět do hlavního programu za blok, ve kterém byl podprogram ZkosRoh2 vyvolán.

6.3. Testování podprogramů

Ověření funkčnosti a správnosti obou podprogramů a všech naprogramovaných způsobů frézování u obou strategií bylo provedeno ve společnosti Pilsen Tools na 5ti-osém frézovacím centru Hermle U 1130. Jako obrobek byl použitý kvádr z hliníkové slitiny.

Nejdříve bylo nutné podle kinematiky stroje Hermle správně nastavit cyklus 19. Tento stroj je vybaven otočným stolem a naklápěcí hlavou. Směr, kterým se provádí rotace stolu a naklápění hlavy se bere v úvahu vůči nástroji. Poté byly oba podprogramy otestovány podle vstupních parametrů uvedených v následujících dvou podkapitolách.

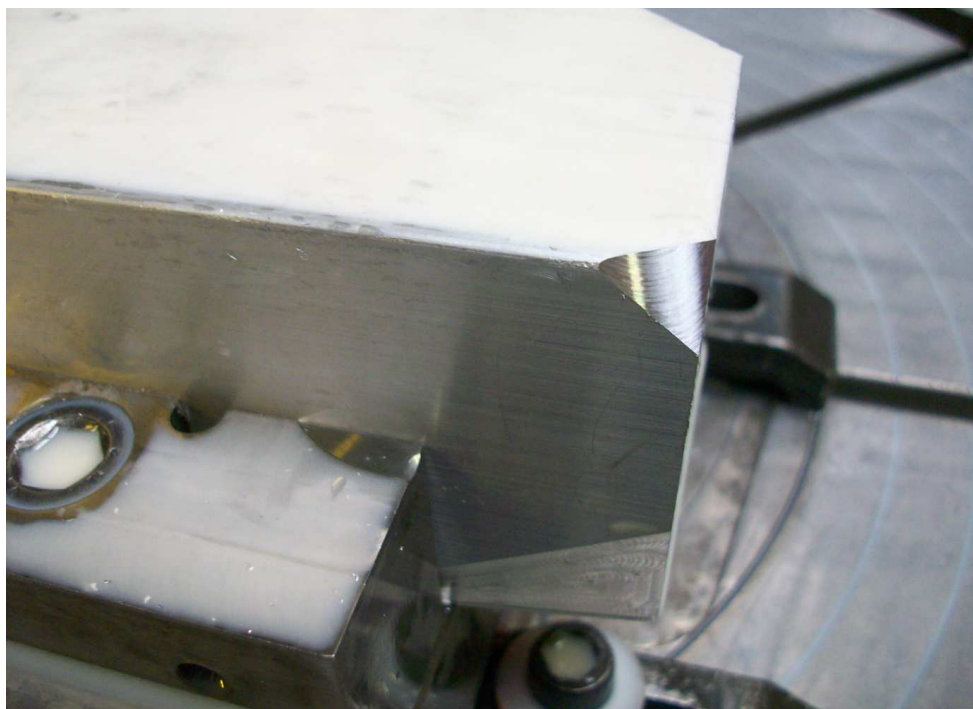
6.3.1. Testování strategie č.1 (podprogram ZkosRoh1)

Exp.č.	ρ [°]	δ [°]	h [mm]	ap [mm]	Q15
5	30	60	-3	-1	0
6	30	60	-4	-1	2
7	30	60	-5	-1	1

Nástroj: čelní válcová fréza s VBD(APKT destičky), \varnothing 16mm, kleštinový upínač

Řezné podmínky: $n=4000$ ot/min, $f=400$ mm/min

U strategie č.1 byly otestovány všechny 3 možné způsoby frézování (frézování ve směru osy x , y i možnost automatického výběru směru). Způsob frézování, tedy směr, kterým fréza koná posuvový pohyb volí uživatel podprogramu pomocí parametru Q15. Výsledek experimentu č.7 lze vidět na Obr. 42, kdy fréza konala posuvový pohyb ve směru naklonené osy x . Z důvodu použití frézy o průměru 16mm nebylo možné zvyšovat hloubku zkosení h či hodnoty úhlů zkosení, neboť výsledný profil zkosení (vzdálenost bodů $K-L$ či $N-M$) by byl větší než průměr použité frézy. Pro ověření funkčnosti podprogramu byl však průměr frézy 16mm dostačující.



Obr. 42 Test č.7

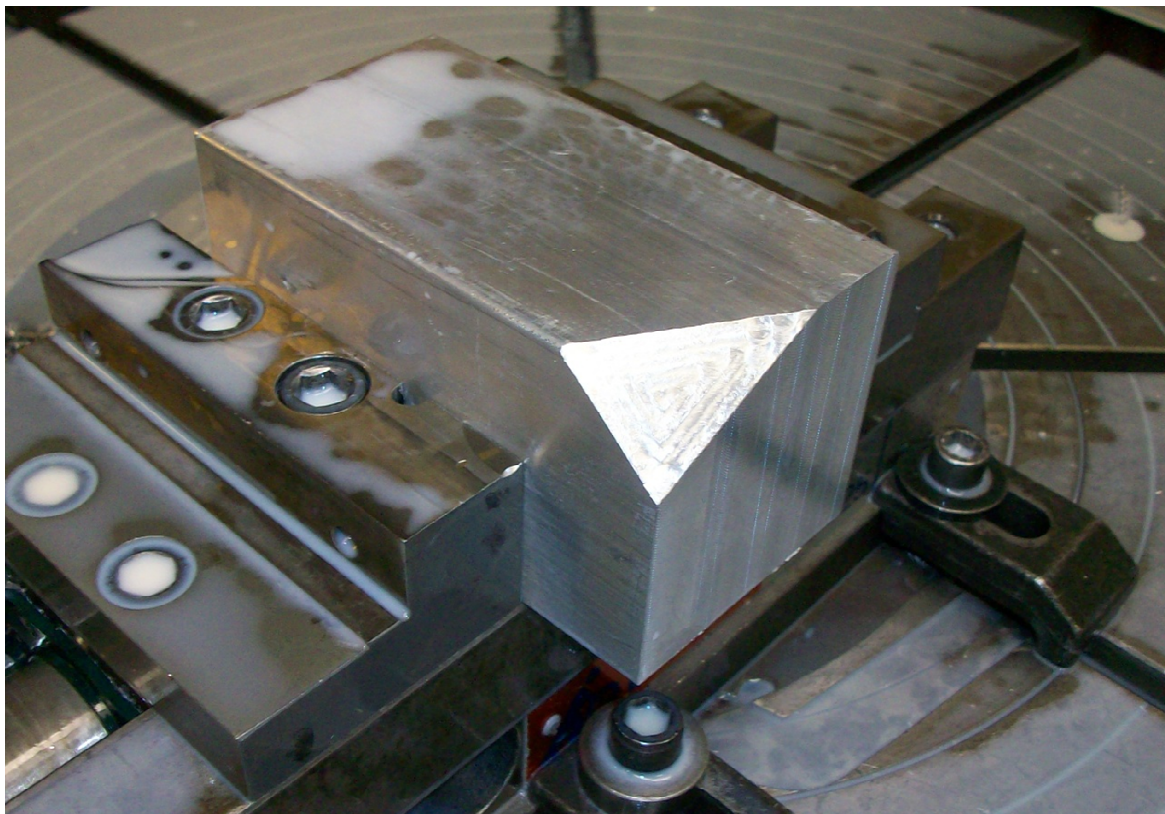
6.3.2. Testování strategie č.2 (podprogram ZkosRoh2)

Exp.č.	ρ [°]	δ [°]	h [mm]	ap [mm]	způsob frézování
1	60	30	-10	-2	sousledně
2	60	45	-15	-2	sousledně
3	30	15	-6	-1,5	nesousledně
4	30	15	-7	-1,5	nesousledně

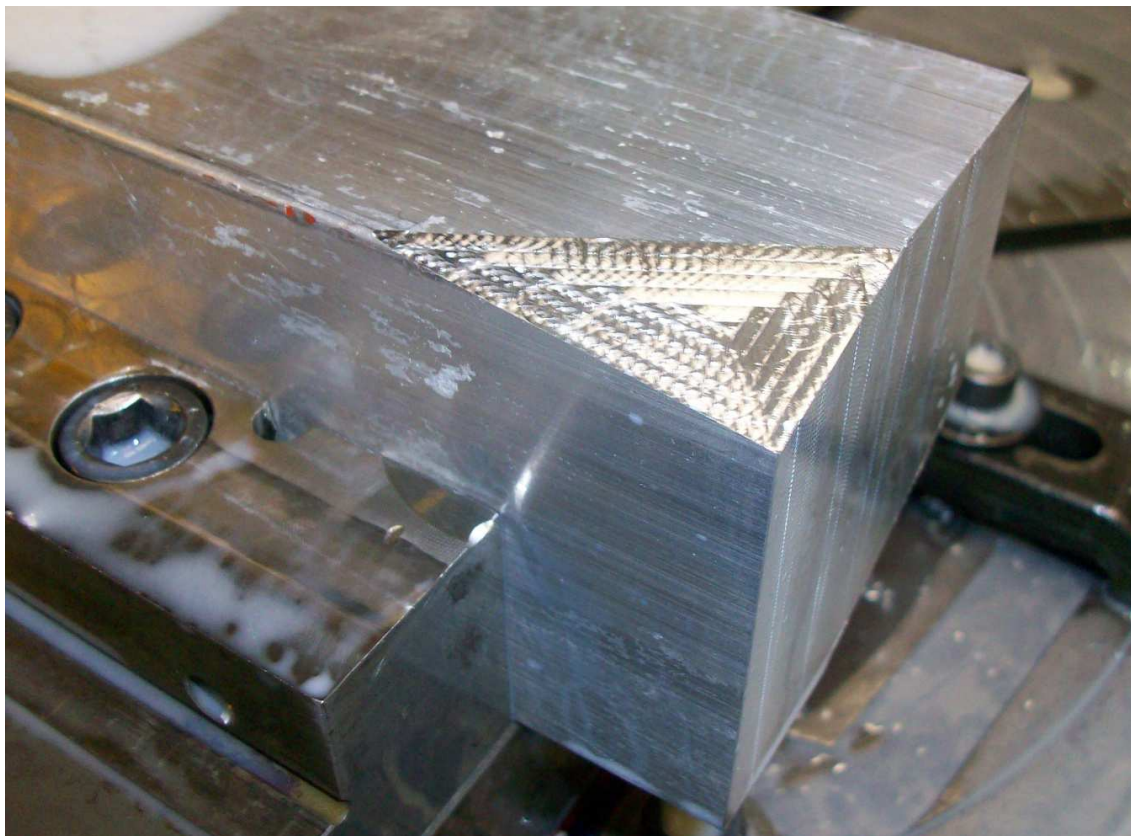
Nástroj: monolitní stopková fréza ze SK, Ø 8mm, kleštinový upínač

Řezné podmínky: $n=7000\text{ot/min}$, $f=1400\text{mm/min}$

Při testování strategie č.2 byly měněny hodnoty vstupních parametrů zkosení podle hodnot uvedených v tabulce. Při frézování byly otestovány oba způsoby frézování. Na Obr. 43 je vidět výsledek sousledného frézování viz experiment č.2. Na Obr. 44 je vidět výsledek nesousledného frézování viz experiment č.4.



Obr. 43 Test č.2



Obr. 44 Test č.4

7. Ekonomické hodnocení

Ekonomické hodnocení slouží k porovnání finanční výhodnosti jednotlivých variant. Bereme-li v úvahu výrobu soustružnického nože dle výkresu, který je uvede v příloze práce č.1, jedná se o kusovou výrobu. Finanční náklady jsou určeny časovou náročností dané operace a hodinou sazbou příslušného pracoviště. Pro naprogramování zkosení rohu je možné využít tyto 3 varianty řešení:

- A) Tato varianta využívá programování pomocí CAM softwaru. Naprogramování operace zkosení rohu zabere CNC programátorovi cca 20-30 minut práce. Při použití CAM softwaru je někdy nutné daný program upravit a to z důvodu optimalizace použité technologie či z důvodu optimalizace řezných podmínek. Tyto opravy mohou odhadem trvat cca 20% celkového času programování (tedy 4 až 6 minut). Dále je nutný určitý čas pro vygenerování CNC programu pro daný stroj a pro přenos dat. Celkově tak může tvorba programu pro zkosení rohu trvat cca 40 minut.
- B) Nemá-li CNC programátor k dispozici CAM software, musí jednotlivé body zkosení vypočítat či odměřit na základě CAD modelu součástí. Na základě těchto bodů poté vytvoří program, který zkosení zrealizuje. Tato varianta je časově a tedy i finančně nejnáročnější. Výpočet bodů záleží zejména na znalostech a zkušenostech programátora, výpočet a tvorba programu může trvat i řadu hodin.
- C) Tato varianta využívá podprogram ZkosRoh1 či podprogram ZkosRoh2 a úplně zde odpadá práce programátora. Pomocí příkazu CALL PGM obsluha v hlavním programu vyvolá příslušný podprogram a zadá pouze vstupní parametry uvedené v kapitole 4. Časová náročnost této operace je cca 3-5 minut.

Porovnání variant A a C:

Hodinová sazba pracoviště se vypočítá jako podíl nákladů a využitelného časového fondu. Do nákladů je zahrnuta cena investice (ve formě odpisů) a dále prostorové náklady, náklady na energii a údržbu či opravy.

V následující tabulce je provedeno srovnání variant A a C. Toto srovnání je provedeno na základě odhadů časové náročnosti, strojní hodinové sazby 5ti-osého obráběcího stroje a hodinové sazby CAM programátora.

Varianta	Hodinová sazba [Kč/hod]	Časová náročnost [min]	Výsledná cena [Kč]
A	400	40	267
C	1000	5	84

S rostoucím počtem vyráběných kusů roste i výhodnost použití podprogramu. Toto řešení je oproti dalším dvěma variantám časově a tedy i finančně nejvýhodnější. Navíc zde úplně odpadá práce programátora a jeho práci v CAM softwaru lze využít pro programování tvarově složitějších výrobků, např. forem.

8. Závěr

Cílem této práce bylo v řídicím systému Heidenhain vytvořit podprogram, který podle vstupních parametrů provede zkosení v rohu pravoúhlé součásti. Zkosení se provádí frézováním čelní válcovou frézou na pětiosém obráběcím stroji. Vstupní parametry zadává uživatel podprogramu. Jedná se o parametry, které definují příslušné zkosení – úhel rotace, úhel naklopení a hloubka zkosení. Dále uživatel zadává řezné podmínky, ty jsou závislé na obráběném materiálu a použité fréze.

V úvodu práce jsou popsány jednotlivé způsoby programování CNC strojů, jejich výhody, nevýhody a konstrukční provedení pětiosých obráběcích strojů. Dále je provedena analýza současného stavu, jsou tedy popsány možnosti, jak lze různými způsoby zkosení vytvořit a funkce, které řídicí systém Heidenhain pro pětiosé obrábění nabízí.

Jelikož se jedná o podprogram, který je univerzální a ve kterém se dráhy frézy mění podle vstupních parametrů, další kapitola práce se zabývá matematickým modelem daného zkosení. V další kapitole jsou navrženy čtyři frézovací strategie, jak lze zkosení rohu zrealizovat. Z těchto strategií jsou vybrány dvě, které jsou v další kapitole naprogramovány. Jednotlivé výpočty vycházející z matematického modelu a souřadnice bodů dráhy frézy závislé na parametrech zkosení a zvolené strategii obrábění jsou naprogramovány pomocí Q-parametrů.

První naprogramovaná strategie využívá frézu o průměru větším než je největší rozměr daného zkosení. Tato strategie využívá posuvový pohyb frézy buď ve směru osy x či y . Počet přejezdů frézy je daný hloubkou zkosení h a hloubkou řezu a_p . Směr obrábění volí uživatel podprogramu, případně tento směr může být zvolen automaticky podle největšího rozměru zkosení a průměru použité frézy.

Druhá naprogramovaná strategie využívá frézu, jejíž průměr je menší než největší rozměr zkosení. Uživatel proto definuje velikost radiální šířky řezu a_e . Počet rovin řezu je opět závislý na hloubce zkosení h a na hloubce řezu a_p . Dráha frézy v každé rovině řezu má tvar postupně zmenšujících se trojúhelníků. Pomocí hodnoty parametru Q15 volí uživatel, jedná-li se o sousledný či nesousledný způsob frézování.

Funkčnost podprogramů byla ověřena ve společnosti Pilsen Tools na pětiosém obráběcím stroji Hermle U 1130. Oba podprogramy lze v této společnosti využít při výrobě soustružnických nožů, kdy výsledná plocha zkosení tvoří plochu čela nože. Výhoda podprogramů je jejich jednoduché a univerzální použití, rychlé zadání či změna vstupních parametrů.

Nevýhodou obou podprogramů může být to, že při upnutí obrobku na stůl musí být roh zkosení ve IV. kvadrantu. Při frézování více rohů na obrobku tak musí obsluha polotovaru přeučínat. Možností rozšíření této práce tak může být řešení, kdy roh zkosení se nachází v kterémkoliv kvadrantu a otáčení obrobku okolo osy C se provádí automaticky jako součást podprogramu.

Možnosti, jak rozšířit tuto práci je např. naprogramování dalších navržených strategií, tedy strategií č.3 a č.4. Další možností je úprava přejezdů frézy u strategie č.1 tak, aby k frézování docházelo i při zpětném pohybu frézy. Dále je možné u obou strategií optimalizovat příjezdy frézy před najetím do řezu a také odjezdy frézy.

Použitá literatura

- [1] Uživatelská příručka iTNC530
- [2] ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*, Praha: Technická literatura BEN, 2006, ISBN 978-80-7300-207-7
- [3] KELLER, P. *Programování a řízení NC strojů*, Technická univerzita v Liberci, 2005
- [4] <http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2385-cam-systemy-a-hodnoceni-strategii-obrabeni.html>
- [5] http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serial/rezne-nastroje/rezne-nastroje-14_8526.html
- [6] <http://heidenhain.webnode.cz/a5-ose-obrabanie/>
- [7] BARTSCH, H.-J. *Matematické vzorce*, Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987
- [8] <http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/>
- [9] <http://www.frezovani-5os.cz/metody-frezovani/kinematika-stroju/>
- [10] Petr Petrek, Bakalářská práce, Akademický rok 2011/2012, ZČU, Plzeň

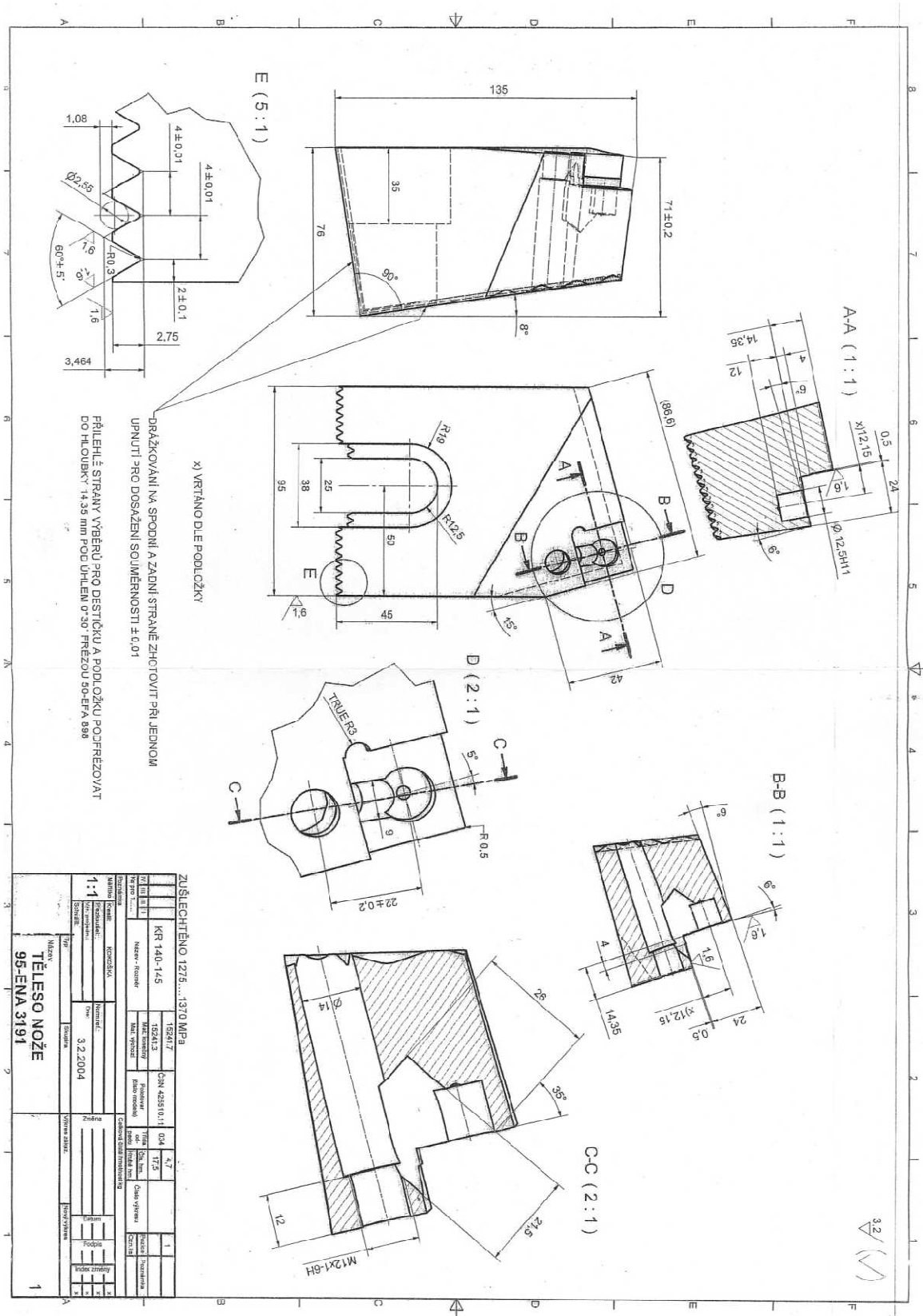
Seznam použitých obrázků

Obr. 1 Zkosení rohu	10
Obr. 2 souřadný systém	11
Obr. 3 iTNC530-dráhové pohyby	12
Obr. 4 Typ hlava-hlava	14
Obr. 5 Typ stůl-hlava	14
Obr. 6 Typ stůl-stůl	15
Obr. 7 Typ stůl-stůl (kolíbká)	15
Obr. 8 Využití parametrů	18
Obr. 9 Řádkovací cyklus	22
Obr. 10 Funkce Plane	22
Obr. 11 Cyklus 19	24
Obr. 12 Strategie č.1	26
Obr. 13 Strategie č.1- směr +x	27
Obr. 14 Strategie č.1- směr +y	28
Obr. 15 Přejezdy frézy	28
Obr. 16 Strategie č.2-nesousledné frézování.....	30
Obr. 17 Strategie č.2-sousledné frézování	31
Obr. 18 Meandr	33
Obr. 19 Trochoidní drážka	34
Obr. 20 Rotace.....	35
Obr. 21 Naklopení	36
Obr. 22 transformace souřadného systému.....	37
Obr. 23 Zkosení rohu	38
Obr. 24 Vrchol zkosení	38
Obr. 25 trojúhelník NRM	39
Obr. 26 trojúhelník KLR	40
Obr. 27 Matematický model zkosení	41
Obr. 28 Parametry zkosení	43
Obr. 29 Hloubky zkosení	44
Obr. 30 Parametr Q15-automatický výběr	51
Obr. 31 Frézování ve směru osy x.....	52
Obr. 32 Poslední přejezd ve směru osy x	54
Obr. 33 Frézování ve směru osy y.....	56
Obr. 34 Poslední přejezd ve směru osy y	57
Obr. 35 Strategie č.2-směr frézování	61
Obr. 36 Body P0, P0'	63
Obr. 37 Label 5.....	64
Obr. 38 Label 5_2.....	65
Obr. 39 Label 5-změna bodů.....	66
Obr. 40 Label 5 - změna bodů 2.....	66
Obr. 41 Koncový bod P2''	67

Obr. 42 Test č.7	70
Obr. 43 Test č.2	71
Obr. 44 Test č.4	72
Obr. 45 Výkres soustružnického nože.....	79
Obr. 46 Ověření mat. modelu-Catia	81
Obr. 47 Ověření mat. modelu-Excel	82

PŘÍLOHA č.1

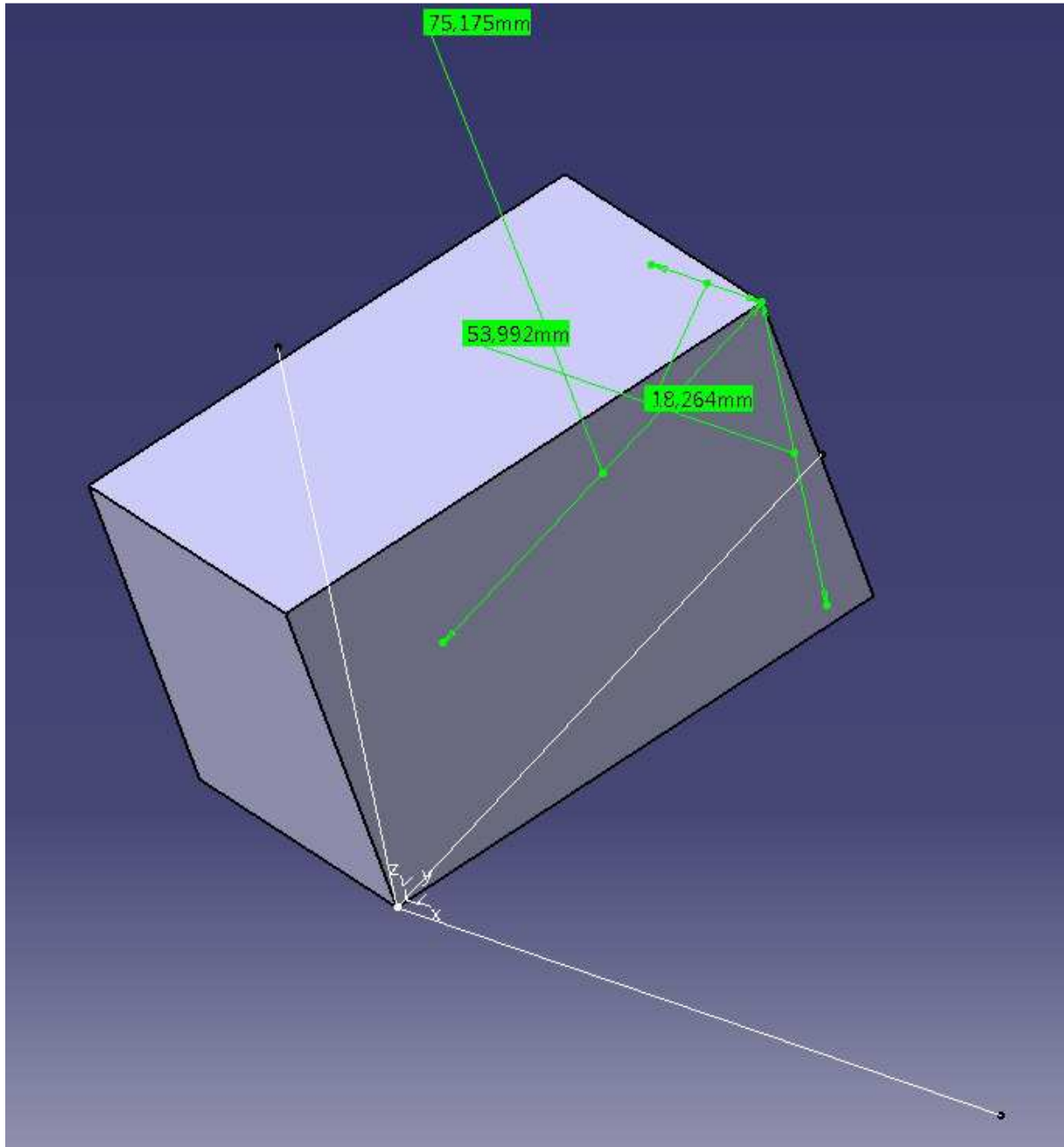
Výkres soustružnického nože



Obr. 45 Výkres soustružnického nože

PŘÍLOHA č.2

Ověření matematického modelu



Obr. 46 Ověření mat. modelu-Catia

Na Obr. 46 jsou v SW Catia odměřeny souřadnice transformovaného bodu R vůči nulovému bodu. Souřadnice bodu R jsou $[x_R, y_R, z_R] = [18.264 ; 75.175 ; 53.992]$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		vstupní parametry					X[mm]	Y[mm]	Z[mm]	
3		hloubka řezu h [mm]	5	Q201		R	80	0	50	
4		úhel ρ [°]	20	Q122			Q225	Q226	Q227	
5		úhel δ [°]	10	Q121						
6		úhel $-\delta$ [°]	-10							
7		úhel ρ' [°]	70							
8										
9		rad ρ	0,34906585							
10		rad δ	0,174532925							
11		rad $-\delta$	-0,174532925							
12		rad ρ'	1,221730476							
13										
14		sin δ	0,173648178			$x'R$	27,36161147	ABS $x'R$	27,36161147	
15		tan δ	0,176326981			$y'R$	75,17540966	ABS $y'R$	75,17540966	
16		tan ρ	0,363970234			$x1''R$	26,94592711	ABS $x1''R$	26,94592711	
17						$x2''R$	-8,682408883	ABS $x2''R$	8,682408883	
18		sin ρ'	0,939692621			$x''R$	18,26351822			
19		cos ρ'	0,342020143			$z1''R$	-4,751293969	ABS $z1''R$	4,751293969	
20						$z2''R$	49,24038765	ABS $z2''R$	49,24038765	
21		sin $-\delta$	-0,173648178			$z''R$	53,99168162			
22		cos $-\delta$	0,984807753							
23										
24										
25		vzdal. u(h)	28,79385242	Q25						
26		vzdal. xNP	28,3564091	Q26						
27		vzdal. xPM	0,881634904	Q27						
28		vzdal. yKN	79,11045933	Q28						
29		vzdal. yNL	10,48010521	Q29						
30										
31		vzdal. KL	89,59056454	Q218						
32		vzdal. NM	29,238044	Q219						

Obr. 47 Ověření mat. modelu-Excel

V SW MS Excel byly nadefinovány rovnice popsané v kapitole matematický model. Vypočtené souřadnice transformovaného bodu R jsou shodné s odměřenými souřadnicemi, viz Obr. 47.

PŘÍLOHA č.3

Podprogram ZkosRoh1 (strategie č.1)

```
0 BEGIN PGM ZkosRoh1 MM
1 ; Q171 = uhel Delta
2 ; Q224 = uhel Ro
3 ; Q200 = bezpecna vzdalenost
4 ; Q201 = hloubka zkoseni h
5 ; Q202 = ap = hloubka rezu
6 ; Q204 = odjezd
7 ; Q207 = frezovaci posuv
8 ; Q225 = x-ova souradnice bodu R
9 ; Q226 = y-ova souradnice bodu R
10 ; Q227 = z-ova souradnice bodu R
11 ; Q15 = +0 0=automaticky vyber smeru frezovani, 1=frez. ve smeru osy x,2=frez. ve smeru osy y
12 ;
13 ; **** uvod podprogramu ****
14 ;
15 ; test na chyby
16 FN 11: IF +Q201 GT +0 GOTO LBL 33 ; chyba-kladna hloubka zkoseni
17 FN 11: IF +Q202 GT +0 GOTO LBL 34 ; chyba-kladna hloubka rezu
18 ;
19 Q89 = 180 - ( 90 + Q224 ) ; Ro`
20 FN 1: Q88 =+Q227 + +Q204 ; bezp. vzdal. pri naklapani
21 FN 1: Q87 =+Q225 + +Q204 ; 2.bezp. vydal. v ose x
22 FN 2: Q86 =+Q226 - +Q204 ; 2.bezp. vzdal. v ose y
23 ;
24 L X+Q87 Y+Q86 Z+Q88 R0 FMAX ; prijezd do bezp. vzdalenosti
25 B +Q171
26 C -Q89
27 ;
28 CYCL DEF 19.0 ROVINA OBRABENI
29 CYCL DEF 19.1 B+Q171 C-Q89 FQ207 VZDAL.Q88
30 ;
31 ; prepocet souradnic bodu R
32 Q85 = COS ( Q89 ) ; cos Ro`
33 Q84 = SIN ( Q89 ) ; sin Ro`
34 FN 3: Q83 =+Q225 * +Q85 ; xR`
35 Q83 = ABS Q83
36 FN 3: Q82 =+Q225 * +Q84 ; yR`
37 Q82 = ABS Q82
38 Q81 = COS ( - Q171 ) ; cos -Delta
39 Q80 = SIN ( - Q171 ) ; sin -Delta
40 FN 3: Q79 =+Q83 * +Q81 ; x1``
41 Q79 = ABS Q79
42 FN 3: Q78 =+Q227 * +Q80 ; x2``
43 Q78 = ABS Q78
```

44 FN 2: Q77 =+Q79 - +Q78 ; xR``
45 FN 3: Q76 =+Q83 * +Q80 ; z1``
46 Q76 = ABS Q76
47 FN 3: Q75 =+Q227 * +Q81 ; z2``
48 Q75 = ABS Q75
49 FN 1: Q74 =+Q76 + +Q75 ; zR``
50 ;
51 ; zmena bodu
52 FN 0: Q225 =+Q77 ; xR=xR``
53 FN 0: Q226 =+Q82 ; yR=yR``
54 FN 0: Q227 =+Q74 ; zR=zR``
55 ;
56 ;
57 Q22 = SIN (Q171)
58 Q23 = TAN (Q171)
59 Q24 = TAN (Q224)
60 ;
61 FN 0: Q25 =+0.1 ; ochranna obalka
62 FN 1: Q200 =+Q200 + +Q25
63 FN 3: Q26 =+2 * +Q108 ; prumer nastroje
64 FN 0: Q90 =+0 ; vynulovani hloubky rezu
65 FN 1: Q95 =+Q227 + +Q204 ; zR+Q204
66 FN 1: Q96 =+Q227 + +Q200 ; zR+Q200
67 ;
68 L X+Q225 Y+Q226 Z+Q95 R0 FMAX ; prijezd frezy
69 ;
70 ; vypocet KL, NM, test na smer frez.
71 ;
72 Q80 = ABS Q201 ; + hloubka h
73 FN 4: Q81 =+Q80 DIV +Q22 ; vzdal. u(h)
74 FN 4: Q82 =+Q80 DIV +Q23 ; vzdal. xNP
75 FN 3: Q83 =+Q80 * +Q23 ; vzdal. xPM
76 FN 4: Q84 =+Q81 DIV +Q24 ; vzdal. yKN
77 FN 3: Q85 =+Q81 * +Q24 ; vzdal. yNL
78 FN 1: Q86 =+Q84 + +Q85 ; vzdal. KL
79 FN 1: Q87 =+Q82 + +Q83 ; vzdal. NM
80 ;
81 ; test na automaticky smer
82 FN 9: IF +Q15 EQU +1 GOTO LBL 1
83 FN 9: IF +Q15 EQU +2 GOTO LBL 2
84 ;
85 FN 11: IF +Q86 GT +Q87 GOTO LBL 1
86 FN 12: IF +Q86 LT +Q87 GOTO LBL 2
87 ;

88 LBL 1
89 FN 11: IF +Q26 GT +Q86 GOTO LBL 3
90 FN 9: IF +Q26 EQU +Q86 GOTO LBL 3
91 FN 12: IF +Q26 LT +Q86 GOTO LBL 32
92 ;
93 LBL 2
94 FN 11: IF +Q26 GT +Q87 GOTO LBL 3
95 FN 9: IF +Q26 EQU +Q87 GOTO LBL 3
96 FN 12: IF +Q26 LT +Q87 GOTO LBL 32
97 ;
98 ;**** hlavni cyklus ****
99 ;
100 LBL 3 ; hlavni cyklus
101 FN 1: Q90 =+Q90 + +Q202 ; aktualni hloubka rezu
102 FN 11: IF +Q90 GT +Q201 GOTO LBL 4
103 FN 0: Q90 =+Q201
104 ;
105 FN 12: IF +Q202 LT +Q201 GOTO LBL 31
106 ;
107 LBL 4 ; vypocty K,L,M
108 Q27 = ABS Q90 ; Q27 = + Q90
109 FN 4: Q28 =+Q27 DIV +Q22 ; vzdal. u(h) pro Q90
110 FN 4: Q29 =+Q27 DIV +Q23 ; vzdal. xNP pro Q90
111 FN 3: Q30 =+Q27 * +Q23 ; vzdal. xPM pro Q90
112 FN 4: Q31 =+Q28 DIV +Q24 ; vzdal. yKN pro Q90
113 FN 3: Q32 =+Q28 * +Q24 ; vzdal. yNL pro Q90
114 FN 2: Q33 =+Q225 - +Q29 ; sour. xK = sour. xL
115 FN 2: Q34 =+Q226 - +Q31 ;sour. yK
116 FN 1: Q35 =+Q226 + +Q32 ; sour. yL
117 FN 1: Q36 =+Q225 + +Q30 ; sour. xM
118 ;
119 FN 1: Q39 =+Q227 + +Q90 ; nastaveni hloubky rezu
120 FN 1: Q40 =+Q39 + +Q200
121 ;
122 FN 9: IF +Q15 EQU +1 GOTO LBL 5 ; frez. ve smeru +x
123 FN 9: IF +Q15 EQU +2 GOTO LBL 7 ; frez. ve smeru +y
124 FN 11: IF +Q86 GT +Q87 GOTO LBL 5 ; frez. ve smeru +x
125 FN 12: IF +Q86 LT +Q87 GOTO LBL 7 ; frez. ve smeru +y
126 ;
127 ;*** frez. ve smeru +x ***
128 ;
129 LBL 5 ; frez. ve smeru +x
130 FN 1: Q218 =+Q31 + +Q32 ; vzdal. KL pro Q90
131 FN 4: Q37 =+Q218 DIV +2 ; vzdal. KL/2 pro Q90

132 FN 1: Q41 =+Q34 + +Q37 ; y-ova sour. stredu frezy
133 ;
134 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 6 ; test na posledni rez
135 ;
136 Q42 = Q33 - Q200 - Q108 ; sour. x1
137 Q43 = Q36 + Q200 - (SQRT (SQ Q108 - SQ (Q31-Q37))) ; sour. x2
138 ;
139 L X+Q42 Y+Q41 Z+Q40 R0 FMAX ; bod 1
140 L Z+Q39 R0 FQ207
141 L X+Q43 Y+Q41 Z+Q39 R0 FQ207 ; bod 2
142 L Z+Q40 R0 FMAX
143 ;
144 ; test na hloubku rezu
145 L X+Q42 Y+Q41 Z+Q40 R0 FMAX ; L P1
146 FN 11: IF +Q90 GT +Q201 GOTO LBL 3
147 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 3
148 ;
149 LBL 6 ; posledni prejazd ve smeru +x
150 Q42 = Q33 - Q200 - Q108 ; sour. x1
151 Q43 = Q36 + Q200 + Q108 ; sour. x2
152 ;
153 L X+Q42 Y+Q41 Z+Q40 R0 FMAX ; bod 1
154 L Z+Q39 R0 FQ207
155 L X+Q43 Y+Q41 Z+Q39 R0 FQ207 ; bod 2
156 L Z+Q40 R0 FMAX
157 ;
158 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 30
159 ;
160 ;*** frez. ve smeru osy +y ***
161 ;
162 LBL 7 ; frez. ve smeru +y
163 FN 1: Q219 =+Q29 + +Q30 ; vzdal. NM
164 FN 4: Q38 =+Q219 DIV +2 ; vzdal. NM/2
165 FN 1: Q44 =+Q33 + +Q38 ; x-ova sour. stredu frezy
166 ;
167 ; test na posledni rez
168 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 8
169 ;
170 Q45 = Q34 - Q200 - Q108 ; sour. y1
171 Q46 = Q35 + Q200 - (SQRT (SQ Q108 - SQ Q38)) ; sour. y2
172 ;
173 L X+Q44 Y+Q45 Z+Q40 R0 FMAX ; bod 1
174 L Z+Q39 R0 FQ207
175 L X+Q44 Y+Q46 Z+Q39 R0 FQ207 ; bod 2

176 L Z+Q40 R0 FMAX
177 ;
178 ; test na hloubku rezu
179 L X+Q44 Y+Q45 Z+Q40 R0 FMAX ; L P0
180 FN 11: IF +Q90 GT +Q201 GOTO LBL 3
181 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 3
182 ;
183 ;
184 LBL 8 ; posledni rez ve smeru +y
185 Q45 = Q34 - Q200 - Q108 ; sour. y1
186 Q46 = Q35 + Q200 + Q108 ; sour. y2
187 ;
188 L X+Q44 Y+Q45 Z+Q40 R0 FMAX ; bod 1
189 L Z+Q39 R0 FQ207
190 L X+Q44 Y+Q46 Z+Q39 R0 FQ207 ; bod 2
191 L Z+Q40 R0 FMAX
192 ;
193 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 30
194 ;
195 ;***** *****
196 ;
197 LBL 34 ; kladna hloubka rezu
198 M0
199 ; Hloubka rezu (Q202) musi byt zaporne cislo
200 ;
201 LBL 33 ; kladna hloubka zkoseni
202 M0
203 ; Hloubka zkoseni (Q201) musi byt zaporne cislo
204 ;
205 ;
206 LBL 32 ; prumer frezy je maly
207 M0
208 ; Prumer frezy je maly a neprojede profilem
209 ;
210 ;
211 LBL 31 ; prirazeni max hloubky rezu
212 FN 0: Q90 =+Q201 ; ap = h
213 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 4
214 ;
215 ;
216 LBL 30 ; k o n e c
217 ;
218 L Z+Q95 R0 FMAX
219 ;


```
220 CYCL DEF 19.0 ROVINA OBRABENI
221 CYCL DEF 19.1 B+0 C+0 FQ207 VZDAL.Q88
222 ;
224 END PGM ZkosRoh1 MM
```

PŘÍLOHA č.4

Podprogram ZkosRoh2 (strategie č.2)

```
0 BEGIN PGM ZkosRoh2 MM
1 ;Q171 = uhel Delta
2 ;Q224 = uhel Ro
3 ;Q200 = bezpecna vzdalenost
4 ;Q201 = hloubka zkoseni h
5 ;Q202 = hloubka rezu ap
6 ;Q204 = odejzd
7 ;Q207 = frezovaci posuv
8 ;Q225 = xR x-ova sour. bodu R
9 ;Q226 = yR y-ova sour. bodu R
10 ;Q227 = zR z-ova sour. bodu R
11 ;Q370 = sirka rezu ae v %
12 ;Q15 = +1 sousledne frezovani, -1 nesousledne frezovani
13 ;
14 ;*** uvod podprogramu ***
15 ;
16 ; test na chyby
17 FN 11: IF +Q201 GT +0 GOTO LBL 31 ; chyba-kladna hloubka zkoseni
18 FN 11: IF +Q202 GT +0 GOTO LBL 32 ;chyba-kladna hloubka rezu
19 ;
20 Q89 = 180 - ( 90 + Q224 ) ; Ro`
21 FN 1: Q88 =+Q227 + +Q204 ; bezp. vzdal. pri naklapani
22 FN 1: Q87 =+Q225 + +Q204 ; 2.bezp. vydal. v ose x
23 FN 2: Q86 =+Q226 - +Q204 ; 2.bezp. vzdal. v ose y
24 ;
25 L X+Q87 Y+Q86 Z+Q88 R0 FMAX ; prijezd do bezp. vzdalenosti
26 B Q171
27 C -Q89
28 ;
29 CYCL DEF 19.0 ROVINA OBRABENI
30 CYCL DEF 19.1 B+Q171 C-Q89 FQ207 VZDAL.Q88
31 ;
32 ; prepocet souradnic bodu R
33 Q85 = COS ( Q89 ) ; cos Ro`
34 Q84 = SIN ( Q89 ) ; sin Ro`
35 FN 3: Q83 =+Q225 * +Q85 ; xR`
36 Q83 = ABS Q83
37 FN 3: Q82 =+Q225 * +Q84 ; yR`
38 Q82 = ABS Q82
39 Q81 = COS ( - Q171 ) ; cos -Delta
40 Q80 = SIN ( - Q171 ) ; sin -Delta
41 FN 3: Q79 =+Q83 * +Q81 ; x1``
42 Q79 = ABS Q79
43 FN 3: Q78 =+Q227 * +Q80 ; x2``
```

44 Q78 = ABS Q78
45 FN 2: Q77 =+Q79 - +Q78 ; xR``
46 FN 3: Q76 =+Q83 * +Q80 ; z1``
47 Q76 = ABS Q76
48 FN 3: Q75 =+Q227 * +Q81 ; z2``
49 Q75 = ABS Q75
50 FN 1: Q74 =+Q76 + +Q75 ; zR``
51 ;
52 ; zmena bodu
53 FN 0: Q225 =+Q77 ; xR=xR``
54 FN 0: Q226 =+Q82 ; yR=yR``
55 FN 0: Q227 =+Q74 ; zR=zR``
56 ;
57 ;
58 Q22 = SIN (Q171)
59 Q23 = TAN (Q171)
60 Q24 = TAN (Q224)
61 ;
62 FN 0: Q25 =+0.1 ; ochranna obalka
63 FN 1: Q200 =+Q200 + +Q25
64 FN 3: Q26 =+2 * +Q108 ; prumer nastroje
65 FN 0: Q90 =+0 ; vynulovani hloubky rezu
66 FN 1: Q95 =+Q227 + +Q204 ; zR+Q204
67 FN 1: Q96 =+Q227 + +Q200 ; zR+Q200
68 FN 3: Q99 =+Q370 * +Q108 ; sirka rezu ae
69 ;
70 ;*** hlavni cyklus ***
71 ;
72 LBL 1
73 FN 1: Q90 =+Q90 + +Q202 ; aktualni hloubka rezu
74 ;
75 ;test na posledni hloubku
76 FN 11: IF +Q90 GT +Q201 GOTO LBL 2
77 FN 0: Q90 =+Q201 ; posledni hloubka
78 ;
79 ;
80 LBL 2 ; vypocty pro Q90
81 Q27 = ABS Q90
82 FN 4: Q28 =+Q27 DIV +Q22 ; vzdal. u(h)
83 FN 4: Q29 =+Q27 DIV +Q23 ; vzdal. xNP
84 FN 3: Q30 =+Q27 * +Q23 ; vzdal. xPM
85 FN 4: Q31 =+Q28 DIV +Q24 ; vzdal. yKN
86 FN 3: Q32 =+Q28 * +Q24 ; vzdal. yNL
87 FN 2: Q33 =+Q225 - +Q29 ; sour. xK=xL

88 FN 2: Q34 =+Q226 - +Q31 ; sour. yK
89 FN 1: Q35 =+Q226 + +Q32 ; sour. yL
90 FN 1: Q36 =+Q225 + +Q30 ; sour. xM
91 ;
92 FN 1: Q91 =+Q227 + +Q90 ; nastaveni hloubky rezu
93 FN 1: Q92 =+Q91 + +Q200
82 ;
94 ;
95 ; zmena bodu
96 FN 0: Q37 =+Q33 ; xP1=xL
97 FN 0: Q38 =+Q35 ; yP1=yL
98 FN 0: Q39 =+Q36 ; xP2=xM
99 FN 0: Q40 =+Q226 ; yP2=yM
100 FN 0: Q41 =+Q33 ; xP3=xK
101 FN 0: Q42 =+Q34 ; yP3=yK
102 ;
103 FN 9: IF +Q15 EQU +1 GOTO LBL 3
104 ;
105 ;
106 ; zmena bodu-nesousledne frezovani
107 FN 0: Q38 =+Q34 ; yP1=yK
108 FN 0: Q42 =+Q35 ; yP3=yL
109 ;
110 ;
111 LBL 3 ; vypocet bodu P0, prijezd frezy
112 FN 2: Q43 =+Q39 - +Q37 ; u1
113 FN 2: Q44 =+Q40 - +Q38 ; u2
114 Q45 = SQRT (SQ Q43 + SQ Q44) ; velikost u
115 FN 4: Q46 =+Q43 DIV +Q45 ; jednotkovy smernik i1
116 FN 4: Q47 =+Q44 DIV +Q45 ; jednotkovy smernik j1
117 Q48 = Q37 + (Q46 * (Q200 + Q108)) ; sour. xP0
118 Q49 = Q38 + (Q47 * (Q200 + Q108)) ; sour. yP0
119 ;
120 FN 12: IF +Q90 LT +Q202 GOTO LBL 4
121 L X+Q48 Y+Q49 Z+Q95 R0 FMAX ; 1. prijezd frezy
122 L Z+Q96 R0 FMAX
123 ;
124 ;
125 LBL 4 ; prijezd frezy
126 ;
127 ; vypocet P0` (s korekci)
128 Q48 = Q48 - (Q47 * Q15 * Q99) ; sour. xP0`
129 Q49 = Q49 + (Q46 * Q15 * Q99) ; sour. yP0`
130 ;

131 L X+Q48 Y+Q49 Z+Q92 R0 FQ207 ; L P0`
132 L Z+Q91 R0 FQ207 ; nastaveni hloubky rezu
133 ;
134 ;
135 LBL 5 ; technologie
136 ;
137 ; vypocet stran a,b,c
138 Q50 = (Q39 - Q41) ; xP2-xP3
139 Q51 = (Q40 - Q42) ; yP2-yP3
140 Q52 = SQRT (SQ Q50 + SQ Q51) ; velikost strany a
141 Q53 = (Q39 - Q37) ; xP2-xP1
142 Q54 = (Q40 - Q38) ; yP2-yP1
143 Q55 = SQRT (SQ Q53 + SQ Q54) ; velikost strany b
144 Q56 = (Q37 - Q41) ; xP1-xP3
145 Q57 = (Q38 - Q42) ; yP1-yP3
146 Q58 = SQRT (SQ Q56 + SQ Q57) ; velikost strany c
147 ;
148 ;
149 Q59 = (SQ Q55 + SQ Q58 - SQ Q52) / (2 * Q55 * Q58) ; cos alfa
150 Q60 = ACOS Q59 ; uhel alfa
151 ;
152 ; vypocet vysky v
153 Q61 = Q58 * (ABS (SIN Q60)) ; vyska v
154 ;
155 CALL LBL 10
156 ;
157 ; test na posledni prejezd
158 FN 12: IF +Q61 LT +Q99 GOTO LBL 6
159 ;
160 L X+Q64 Y+Q65 Z+Q91 R0 FQ207 ; L P1`
161 L X+Q66 Y+Q67 Z+Q91 R0 FQ207 ; L P2`
162 ;
163 ; vypocet bodu P3N
164 Q68 = Q37 + ((Q99 / Q61) * (Q41 - Q37)) ; xP3N
165 Q69 = Q38 + ((Q99 / Q61) * (Q42 - Q38)) ; yP3N
166 ;
167 ; vypocet bodu P1N
168 Q70 = Q39 + ((Q99 / Q61) * (Q41 - Q39)) ; xP1N
169 Q71 = Q40 + ((Q99 / Q61) * (Q42 - Q40)) ; yP1N
170 ;
171 ; zmena bodu
172 FN 0: Q37 +=Q70 ; xP1=xP1N
173 FN 0: Q38 +=Q71 ; yP1=yP1N
174 FN 0: Q39 +=Q41 ; xP2=xP3

```
175 FN 0: Q40 =+Q42 ; yP2=yP3
176 FN 0: Q41 =+Q68 ; xP3=xP3N
177 FN 0: Q42 =+Q69 ; yP3=yP3N
178 ;
179 FN 9: IF +0 EQU +0 GOTO LBL 5 ; freza zustava v hloubce-zmensuje se trojuhelnik
180 ;
181 ;
182 LBL 6 ; posledni prejezd v hloubce
183 ;
184 ; vypocet bodu P2``
185 Q72 = Q66 + ( Q62 * Q108 ) ; sour. xP2``
186 Q73 = Q67 + ( Q63 * Q108 ) ; sour. yP2``
187 ;
188 L X+Q64 Y+Q65 Z+Q91 R0 FQ207 ; L P1`
189 L X+Q72 Y+Q73 Z+Q91 R0 FQ207 ; L P2``
190 L Z+Q92 FMAX
191 ;
192 ; test na posledni hloubku
193 FN 9: IF +Q90 EQU +Q201 GOTO LBL 30
194 ;
195 L X+Q48 Y+Q49 Z+Q92 R0 FMAX ; L P0
196 ;
197 FN 11: IF +Q90 GT +Q201 GOTO LBL 1
198 ;
199 ;
200 ;*****
201 ;
202 LBL 10 ; korekce
203 FN 4: Q62 =+Q53 DIV +Q55 ; jednotkovy smernik i2
204 FN 4: Q63 =+Q54 DIV +Q55 ; jednotkovy smernik j2
205 ;
206 Q64 = Q37 - ( Q63 * Q15 * Q99 ) ; sour. xP1`
207 Q65 = Q38 + ( Q62 * Q15 * Q99 ) ; sour. yP1`
208 Q66 = Q39 - ( Q63 * Q15 * Q99 ) ; sour. xP2`
209 Q67 = Q40 + ( Q62 * Q15 * Q99 ) ; sour. yP2`
210 LBL 0
211 ;
212 ;***** *****
213 ;
214 LBL 32
215 M0
216 ; Hloubka rezu (Q202) musi byt zaporne cislo
217 ;
218 LBL 31
```

219 M0

220 ; Hloubka zkoseni (Q201) musi byt zaporne cislo

221 ;

222 ;

223 ;

224 ;

225 ;

226 ;

227 ;

228 LBL 30

; k o n e c

229 L Z+Q95 R0 FMAX

230 ;

231 CYCL DEF 19.0 ROVINA OBRABENI

232 CYCL DEF 19.1 B+0 C+0 F AUTO VZDAL.Q88

233 ;

234 END PGM ZkosRoh2 MM