

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

**ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PRIJEKTOVÁNÍ A
METROLOGIE**

**POROVNÁNÍ METOD VÝROBY VÍCEHRANNÝCH PRVKŮ NA
VÍCEOSÉM SOUSTRUHU**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

JIŘÍ VEVERKA

2020

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem všechny zdroje uvedl v příloženém seznamu použité literatury.

Dále prohlašuji, že nemám žádný závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

Podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Tomíčkoví, Ph.D., za odborné rady, vstřícnost a ochotu při konzultacích a za odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat svým přátelům za podporu, zejména Elišce Uhlířové a Petru Němci za korekturu mé bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor:	Jiří Veverka
Fakulta a ústav:	Fakulta strojní ČVUT, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie (ú 12134)
Název práce:	Porovnání metod výroby vícehranných prvků na víceosém soustruhu
Vedoucí práce:	Ing. Jan Tomíček, Ph.D.
Rozsah práce:	37
Rok:	2020
Klíčová slova:	Obrábění, šestihanný prvek, víceosý soustruh, strojní čas, čas programování, modifikace programu, povrch, přesnost
Anotace:	Tato bakalářská práce se zabývá výrobou šestihranného prvku a porovnání metod výroby. Zaměřuje se na výběr neoptimálnější metody výroby. Dále se zabývá zhodnocením rychlosti postupu výroby, kvalitou výsledného povrchu a modifikací programů.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VEVERKA, J. *Porovnání metod výroby vícehranných prvků na víceosém soustruhu*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2020. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Tomíček, Ph.D.

SUMMARY OF BACHELOR THESIS

Author: Jiří Veverka

Faculty and department: Faculty of mechanical Engineering department of Machining, Process Planning and Metrology

Title: Evaluation of different methods of multiface features machining using a multiaxis lathe

Supervisor: Ing. Jan Tomíček, Ph.D.

Number of pages: 37

Year: 2020

Key words: Machining, hexagonal element, multi – axis lathe, machining time, programming time, program modification, surface, accuracy

Abstract: The production of hexagonal component is examined in the thesis. Manufacturing methods are compared and the most sufficient is selected. Theses is also focused on quality of final surface, time effectiveness and reduction of necessary steps of machining.

Obsah

1.	Seznam zkratek	8
2.	Úvod	9
3.	Víceosé soustružení	10
3.1	Osa Y	10
3.2	Varianty kinematiky stroje	11
3.3	Poháněné nástroje	12
4.	Řezné podmínky	14
4.1	Druh materiálu	14
4.2	Typ a materiál nástroje	14
4.3	Stroj	15
4.4	Geometrie břitu	15
4.5	Požadavky na přesnost a drsnost	15
4.6	Zvolené optimální řezné podmínky	17
5.	Vícehranné prvky	18
5.1	Metodika obrábění šestihranných prvků	18
6.	První metoda	19
6.1	Dílenské programování	19
6.2	Strojní čas	20
6.3	Poznámky k metodě	20
7.	Druhá metoda	21
7.1	Dílenské programování	21
7.2	Strojní čas	22
7.3	Poznámky k metodě	22
8.	Třetí metoda	23
8.1	Dílenské programování	23
8.2	Strojní čas	24
8.3	Poznámky k metodě	24
9.	Čtvrtá metoda	24
9.1	Dílenské programování	24
9.2	Strojní čas	25
9.3	Poznámky k metodě	25
10.	Porovnání metod	26
10.1	Kritéria hodnocení	26
10.2	Strojní čas	26
10.3	Čas programování	26

10.4	Modifikace programu.....	27
10.5	Povrch	27
10.6	Přesnost	27
11	Vyhodnocení.....	28
11.1	Strojní čas.....	28
11.2	Čas programování	29
11.3	Modifikace programu.....	29
11.4	Povrch	30
11.5	Přesnost	30
11.6	Souhrnná tabulka	31
12	Praktické měření	31
13	Závěr.....	33
14	Seznam použitých zdrojů.....	34
15	Seznam obrázků a tabulek	36
15.1	Tabulky.....	36
15.2	Obrázky	36
16	Příloha.....	37

1. Seznam zkratek

CNC	Computer numerical control
NC	Numerical control
CAD	Computer aided design
X, Y, Z	Osy
Ra	Střední aritmetické odchylka profilu
v_c	Řezná rychlost
f_c	Posuv na zub

2 Úvod

Ve snaze o zlepšení a urychlení výroby je vyvíjen tlak na výrobce NC a CNC strojů, pro zvýšení produktivity práce a vyšší přesnosti výrobků.

S výrobou strojů, které budou zvládat na jedno upnutí více operací, jako je frézování, soustružení, drážkování, odvalování a jiné, dochází ke složitější tvorbě programů a celkové náročnosti obsluhy stroje.

Z hlediska ovládání programu přímo na dílně je vyžadována jednoduchá modifikovatelnost programu pro rychlejší změnu prvku.

Ve své práci se budu zabývat výrobou šestihranného prvku čtyřmi metodami a porovnáním těchto metod mezi sebou v náročnosti dílenských programů, strojních časů a kvalitou obrobění.

3 Víceosé soustružení

Víceosé soustružení se zařazuje mezi víceosé obrábění, přičemž se využívá více než tři základní osy Z, X a C. Každá osa v CNC soustruhu může vykonávat pohyb nezávisle na ostatních osách. Osy lze také kombinovat pro výrobu složitějších tvarů, např. odvalování ozubených kol.

Basic structure



Slideways are used for all axes

NLX1500 and NLX2000 adopt slideways on all axes for improved damping characteristics and dynamic rigidity.

Travel

X-axis : **260** mm (10.2 in.)

Z-axis : **590** mm (23.2 in.)

Y-axis : **100** <±50> mm
(3.9 <±2.0> in.) <Y-type>

Tailstock : **564** mm (22.2 in.)

Rapid traverse rate

X-axis : **30** m/min (1,181.1 ipm)

Z-axis : **30** m/min (1,181.1 ipm)

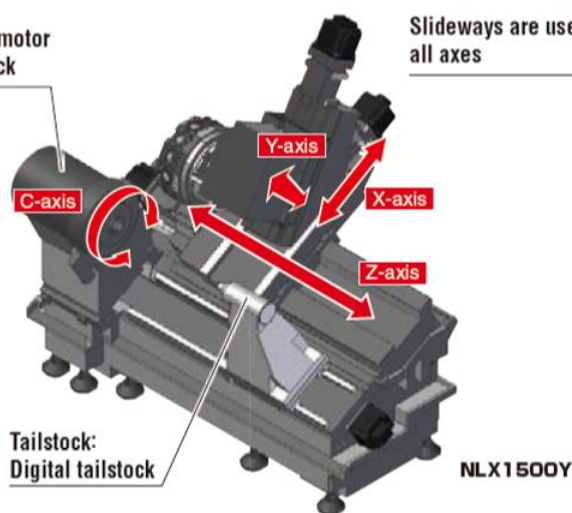
Y-axis : **10** m/min (393.7 ipm) <Y-type>

C-axis : **400** min⁻¹

Tailstock : **7/20** m/min (275.6/787.4 ipm) <forward/retract>

Built-in motor
headstock

Slideways are used for
all axes



Obrázek 1: Kinematika víceosého soustruh [1]

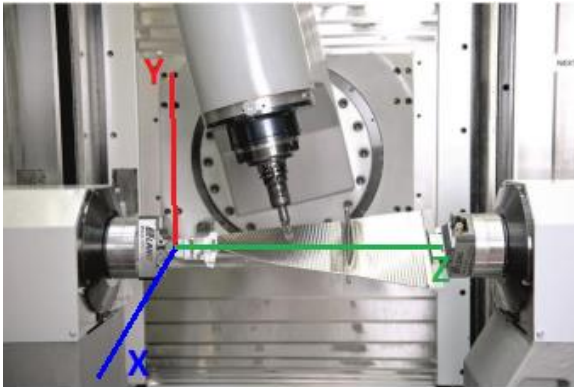
- Osa Z je totožná s osou vřetene
- Osa Y je kolmá na osu Z
- Osa X je kolmá na osu Y a Z
- Doplnkové osy vřetene v osách X, Y, Z se označují U, V, W
- Rotační osy kolem os X, Y, Z se označují A, B, C

3.1 Osa Y

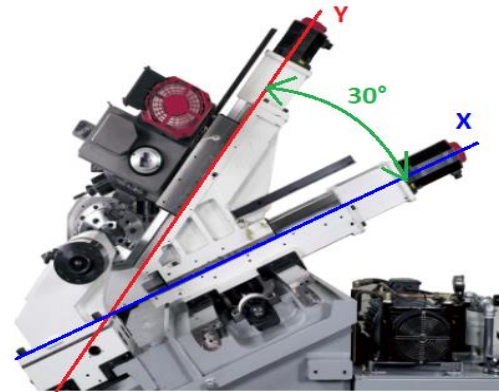
Osa Y se na stroji může pohybovat dvěma způsoby:

- a) Lože, které umožňují pohyb po ose Y jsou umístěné na ložích pro osu X s 30 stupňovým nakloněním. Osa Y je závislá na pohybu osy X. Z tohoto důvodu je nevýhodou osy Y omezení rozsahu. [2]

b) Osa Y je samostatná a nezávisí na ose X, narozdíl od předchozího případu. [3]

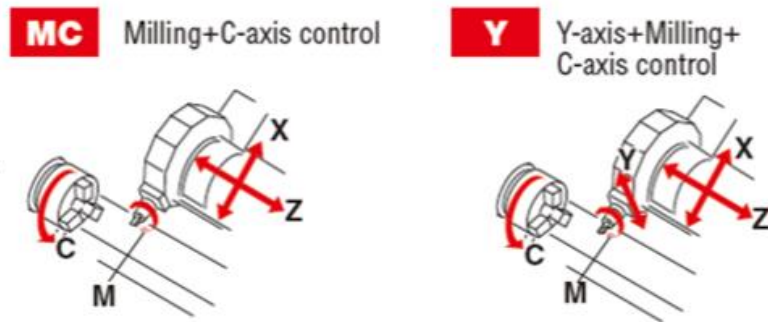


Obrázek 3: Samostatná osa Y [3]

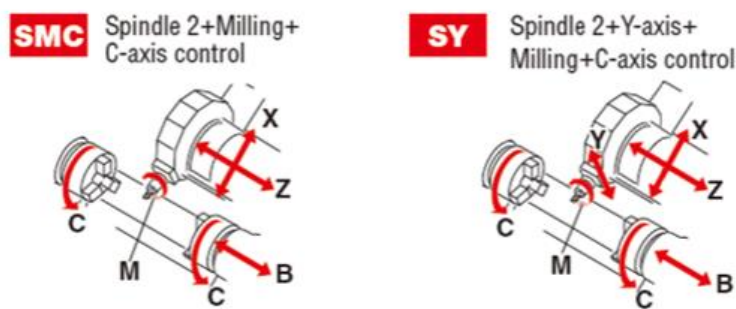


Obrázek 2: Osa Y závislá na ose X [2]

3.2 Varianty kinematiky stroje



Obrázek 4: Kinematika stroje bez osy Y a s osou Y [1]



Obrázek 5: Kinematika stroje se dvěma sklíčovými bez osy Y a s osou Y [1]

Varianty:

- 1) **MC** Varianta MC je méně používaná, jelikož nevyužívá osu Y a celý stroj je limitován na obrábění válcových ploch a tvarových součástí.

- 2) **Y** Varianta s osou Y je již více flexibilní a lze využívat více úkonů, jako je např. vrtání a samostatné frézování.
- 3) **SMC** Tato varianta využívá dvě poháněná vřetena pro výrobu složitějších součástí.
- 4) **SY** Poslední varianta využívá oproti metodě SMC osu Y. Ta stroji dává téměř neomezené možnosti pro výrobu tvarově složitých součástí. Také umožňuje frézování se soustružením v jedné operaci. [4]

Pro naše účely druhé vřeteno není zapotřebí, a proto bude využitý stroj MC + Y.

3.3 Poháněné nástroje

Poháněné nástroje rozšiřují možnosti stroje. Umožňují zhotovit výrobek s více prvky na jedno upnutí. Obrobek se tak nemusí otáčet nebo vyrábět na více strojích.

Poháněné nástroje představují pro stroj vlastní osu M. Nástroje mohou být vloženy do revolverové hlavy axiálně i radiálně. Dávají technologovi více možnosti výroby pro obrábění více prvků.

Poháněné nástroje lze upnout dvěma způsoby. Upnutí do vřetene bude jiné než upnutí do revolverové hlavy. [5]

a. Upnutí do vřetene

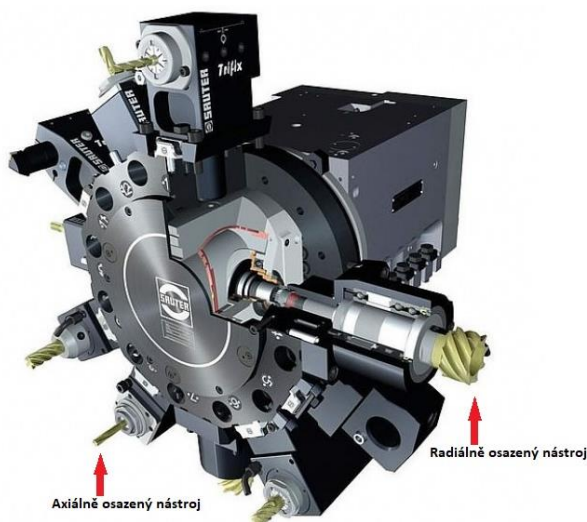


Obrázek 6: Vřeteno s osazeným nástrojem [6]

Stroje s frézovací hlavou jsou využívány pro obrábění tvarově složitých ploch. Způsoby upnutí nástroje závisí na typu upínacího systému vřetene. Frézování s osazeným nástrojem ve vřeteni umožňuje využít plynule až 5 os pohybu. Do vřetene lze také upnout soustružnický nůž. [4]

Pro obrábění vícehranných prvků lze použít stroj s upnutím nástroje do vřetene.

b. Upnutí do revolverové hlavy



Obrázek 7: Osazení poháněných nástrojů v revolverové nástrojové hlavě [7]

Revolverové upnutí do stroje využívá vlastní poháněné nástroje. Na obr. 7 lze vidět uložení nástroje axiálně, tak i radiálně. Na jednom stroji lze tedy soustružit a zároveň frézovat. Tento trend je častěji využíván z důvodu snížení vedlejších časů a zvýšení produktivity. [4]

Pro obrábění všech metod bude využit stroj s revolverovou hlavou.

Pro výrobu šestihranného prvku budou využity axiální a radiální držáky viz obr. 8 a obr. 9.



Obrázek 9: Axiálně osazený nástroj



Obrázek 8: Radiálně osazený nástroj

Jak lze vidět z obr. 8 a obr. 9, řezná rychlost bude omezená na maximální otáčky 6000 RPM. [8]

4 Řezné podmínky

Nastavení optimálních řezných podmínek závisí zejména na výsledné rozměrové přesnosti a povrchu vyráběného prvku. Vyšší přesnost výrobku zvyšuje konečnou cenu výroby.

Vhodnou volbu řezných podmínek určuje: [9]

1. Druh materiálu
2. Typ a materiál nástroje
3. Stroj
4. Geometrie břitu
5. Požadavky na přesnost a drsnost

4.1 Druh materiálu

Druh materiálu je jedním z prvních ukazatelů, který udává, jaké budou zvoleny řezné podmínky. Zejména pak otáčky a posuv nástroje. V metodách obrábění šestihranné tyče je zvolen dural, u kterého lze nastavit vyšší otáčky s rychlejším posuvem.

Dural jako takový je měkký a lehce obrobitelný. Hlavní nevýhodou obrábění měkkých materiálů je lepení třísek na břit nástroje a jeho následné otupování. [10]

Pro naše účely je použita kruhová tyč z duralu o průměru 50 mm a délce 500 mm.

4.2 Typ a materiál nástroje

Pro všechny metody je zvolený jednotný nástroj, a to válcová fréza o čtyřech zubech a průměru 10 mm viz obr. 10. Materiál nástroje je ze slinutého karbidu s povrchovou úpravou FIREX, který je z vícevrstvé kombinací povlaků TiN a TiAlN. [11]

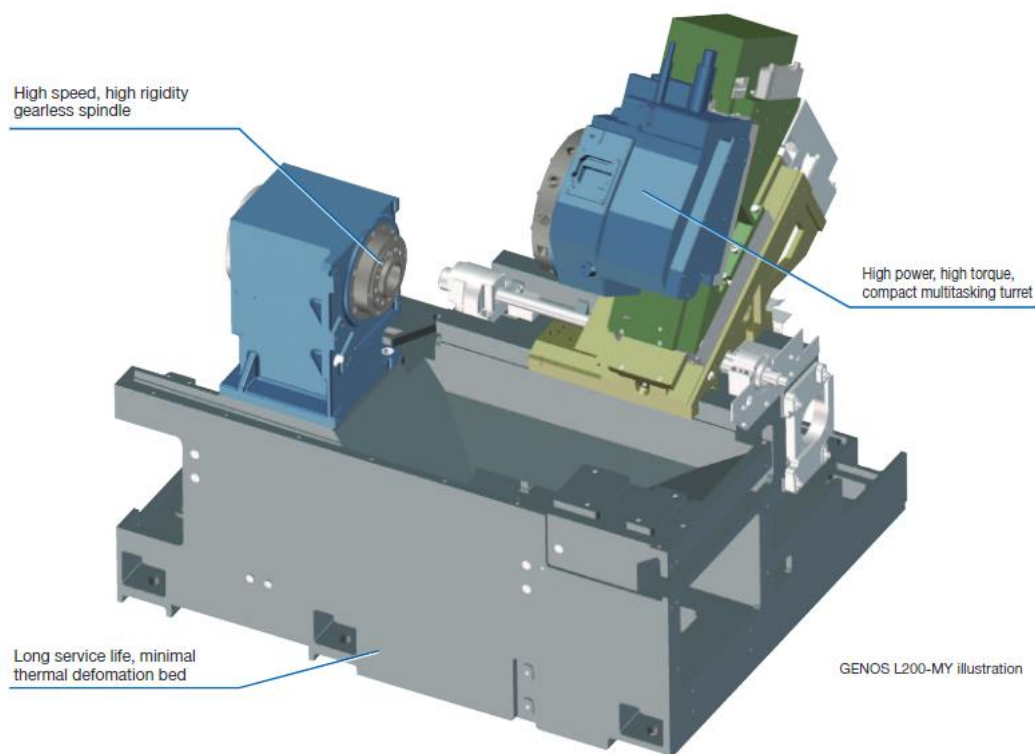
Slinutý karbid není tak citlivý na řezné podmínky a umožňuje tak větší rozptyl pro nastavení řezných podmínek.



Obrázek 10: Válcová fréza o průměru 10 mm [12]

4.3 Stroj

Pro všechny metody je zvolený stejný soustruh OKUMA genos L200E-MY s revolverovou hlavou viz obr. 11. Soustruh má již od výroby řídicí systém OKUMA. Soustruh je vybaven čtyřmi osami X, Y, Z, C a je vybaven poháněnými axiálními a radiálními nástroji. Soustruh je omezen maximálními a minimálními pojezdy v osách X, Y, Z. Délka a průměr kruhové tyče byly navrženy v souladu s tímto omezením. [13]



Obrázek 11: Víceosý soustruh OKUMA genos L200E – MY [13]

4.4 Geometrie břitu

Správné zvolení geometrie břitu ovlivňuje životnost nástroje a lepší povrch výrobku. Při geometrii jsou důležité úhly na břitech. Úhly na břitech mají zásadní vliv na tvorbu třísky a s tím vytvářené teplo. Proto je zásadní nástroj dostatečně chladit a odvádět třísky z místa řezu. Pro chlazení a odvod třísky se nejčastěji využívá řezná kapalina. [14]

Pro účely práce bude použitý nástroj na oceli a litiny, přesto lze tento nástroj druhotně použít na dural. Pro chlazení a odvod třísky bude použita emulze.

4.5 Požadavky na přesnost a drsnost

Rozměrovou a geometrickou toleranci uvádíme v místech, kde je to pro funkčnost výrobku podstatné. Čím větší požadavek na přesnost a drsnost je na výrobek kladen, tím jeho cena vzrůstá.

Drsnost se určuje v mikrometrech a je určena stopami, které po sobě zanechává nástroj. [15]

Přesnost je určena rozměrovými a geometrickými tolerancemi tvaru, směru, polohy a házení. [16]

Správné stanovení drsnosti a přesnosti vždy závisí na funkci a použití výrobku. Například ploché klíče se vždy vyrábí s dostatečnou tolerancí, proto nároky na přesnost a drsnost budou minimální.

Měření drsnosti

Drsnost se bude měřit na digitálním drsnoměru. Naměřená hodnota se bude vyjadřovat hodnotou Ra.

Pro měření drsnosti se mohou vyžívat: [17]

- Dílenské drsnoměry – bývají využity přímo na dílně. Tyto drsnoměry jsou kapesní, a tudíž snadno přenosné.
- Laboratorní drsnoměry – využívají se pro měření špatně dostupných ploch. Zařízení je propojeno s počítačem.

Pro naše účely měření bude využit dílenský drsnoměr viz obr. 12.



Obrázek 12: Drsnoměr Marsurf PS 10

Měření přesnosti

Při měření se bude vyhodnocovat zejména:

- rovnoběžnost protilehlých ploch vícehranu se sudým počtem stran
- velikost všech délek stran vícehranu
- úhel mezi plochami

Měření bude možné realizovat ručně nebo na souřadnicově měřícím přístroji.

Pro ruční měření:

- analogické nebo digitální posuvné měřítko
- analogový nebo digitální mikrometr
- analogový nebo digitální úhloměr

Pro souřadnicové měřicí přístroje:

- CNC měřicí stroje

Pro naše účely budou využity ruční měřicí přístroje.

4.6 Zvolené optimální řezné podmínky

Řezné podmínky byly zvoleny dle katalogu výrobce pro daný nástroj. [18]

Pro první až třetí metodu byly stanoveny podmínky viz obr. 13.

ŘEZNÉ PODMÍNKY-Y ČE M KONT F	
CHLAZENÍ	ZAP
ČISTĚ RYCH.	188
POSUV(VZDUCH. ŘEZ)	0.200
FEEDRATE(ROUGH)	0.000
FEEDRATE(SEMI FIN.)	0.062
FEEDRATE(FINISH)	0.000
FEEDRATE(FINE FIN.)	0.000
ČIS. STOCK(HLOUB.)	0.000

Obrázek 13: Řezné podmínky pro první až třetí metodu

Pro čtvrtou metodu je zapotřebí upravit řezné podmínky viz obr. 14

ŘEZNÉ PODMÍNKY-Y ST M KONT F	
CHLAZENÍ	VYP
ČISTĚ RYCH.	160
POSUV(VZDUCH. ŘEZ)	0.200
FEEDRATE(ROUGH)	0.000
FEEDRATE(SEMI FIN.)	0.056
FEEDRATE(FINISH)	0.000
FEEDRATE(FINE FIN.)	0.000
ČIS. STOCK(HLOUB.)	0.000

Obrázek 14: Řezné podmínky pro čtvrtou metodu

5 Vícehranné prvky

Vícehrannými prvky nebo také vícehrannými plochami se rozumí geometrický tvar o třech a více plochách.

Vícehranné prvky slouží zejména k přenosu kroutícího momentu. Geometrické prvky si nejčastěji vyskytují na začátcích, resp. koncích rotačních součástí, ale také je lze nalézt uprostřed rotačních součástí.



Obrázek 15: Středová osa se čtyřhranem [19]



Obrázek 16: Hřídel s šestihranným prvkem [20]

Obr. 16 má více dosedacích ploch. Síly jsou více rozložené, oproti obr. 15, který má pouze čtyři dosedací plochy.

Pokud se budeme přibližovat k tvaru válce vytvořeného z nekonečně mnoha ploch, tak bude docházet k prokluzu prvku v protikusku. Nicméně tento prvek se jmenuje tisícíhran a je využíván často jako dekorativní prvek výrobku.

Jak lze vidět z obr. 15 a 16, celá hřídel se skládá z více jednoduchých, ale také složitějších úseků, které jsou na sebe geometricky vázané.

Vícehranné prvky můžeme nalézt na hřídelích, ale také na jiných dílech. Z toho důvodu jsem si vybral jako hlavního představitele šestihranný prvek, jelikož se vyskytuje na nejvíce dílech. Jsou to například hřídele, matice, šrouby a další.

5.1 Metodika obrábění šestihranných prvků

Šestihranný prvek lze obrobít více způsoby. V bakalářské práci se zaměřím na čtyři možné postupy výroby. V prvních třech metodách se zaměřuji na obrobení šestihranného prvku bokem frézy. V poslední metodě se zaměřím na obrábění uprostřed hřídele. Metody jsem rozdělil na:

- 1) Pohyb X, Y – první metoda bude založena na dopočítání šesti vrcholů a následném spojení těchto bodů úsečkou, přičemž vznikne šestihran.
- 2) Kmitavý pohyb s osou C – druhá metoda bude využívat pouze osu X, Z plus rotační osu C tak, že nástroj bude přejíždět z jedné strany na druhou a obrobek se po každém přejetí natočí o 60 stupňů.
- 3) Interpolace X, C – třetí metoda využije kombinací os X a C. Obrobek se bude natáčet a zároveň se v ose X nástroj bude přibližovat, popřípadě oddalovat.
- 4) Prvek ve středu tyče – ve čtvrté a poslední metodě budu obrábět šestihran uprostřed tyče tak, že budu postupovat jako v metodě druhé, ale nástroj bude kolmo k obrobku.

6 První metoda

Tato metoda spočívá v jednoduchém naprogramování tím, že se dopočítají body neboli vrcholy pro vytvoření šestihranu. Využití pro tuto metodu bych viděl v ručním programování.

Osa C je zafixována a obráběcí posuv vykonává fréza v osách X a Y.

Osa nástroje bude rovnoběžná s osou Z. Nástroj bude frézovat bokem frézy konturu šestihranu.

Nevýhodou tohoto programování je modifikace programu. Pro změnu velikosti šestihranu se musí dopočítat všechny body a následně zadat do tabulky viz obr. 17.

6.1 Dílenské programování

Všechny počáteční a koncové body neboli vrcholy jsem dopočítal. Pro zjednodušení jsem využil CAD program. Jelikož jsem zvolil střed nástroje, tak jsem musel připočítat korekci nástroje s přídavkem 5 mm.

Program také nabízí možnosti automatické korekce, kde stačí znát pouze počáteční a koncové body, přičemž si stroj automaticky dopočítá průměr nástroje viz obr. 18.

Možnost automatické korekce je výhodnější oproti připočtení průměru nástroje, z důvodu vzniku chyby lidského faktoru, jako jsou překlepy nebo početní chyby. Hlavní výhoda automatické korekce je v přesném naměření nástroje pomocí sondy. Přesné naměření nástroje pomáhá dosáhnout přesnějších tvarů. Automatická korekce také pomáhá k snadnější úpravě daného prvku. Například pokud budeme chtít vyrobit šestihran s větším průměrem, tak stačí fiktivně zvětšit průměr nástroje.

M KONTÚRA-ČELO			
		X	Y
	START. BOD	30.000	0.000
	KUŽEL	15.000	25.981
	KUŽEL	-15.000	25.981
	KUŽEL	-30.000	0.000
	KUŽEL	-15.000	-25.981
	KUŽEL	15.000	-25.981
	KUŽEL	30.000	0.000
▶			

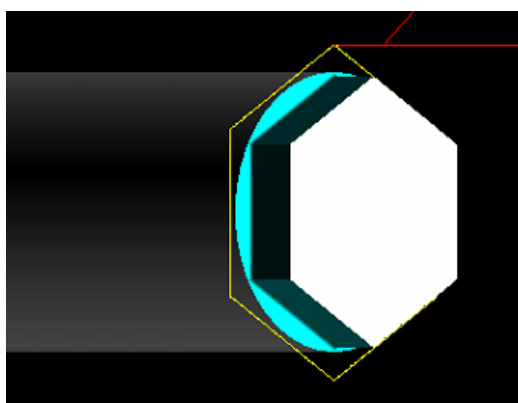
Obrázek 18: Vložené body s korekcí

M KONTÚRA-ČELO			
		X	Y
	START. BOD	25.000	0.000
	KUŽEL	12.500	21.650
	KUŽEL	-12.500	21.650
	KUŽEL	-25.000	0.000
	KUŽEL	-12.500	-21.650
	KUŽEL	12.500	-21.650
	KUŽEL	25.000	0.000
▶			

Obrázek 17: Vložené body bez korekce

6.2 Strojní čas

Následně po vložení všech bodů jsem otestoval program v simulaci stroje viz obr. 19.



Obrázek 19: Simulace šestihranného prvku

Nástroj jel po předepsaných jednoduchých úsečkách, s využitím dvou os a bez zbytečných odjezdů. Z toho důvodu byl strojní čas 18 vteřin.

6.3 Poznámky k metodě

Jelikož nástroj bude obrábět bokem frézy, tak předpokládám, že stopy po fríze na plochách šestihranného prvku nebudou žádné.

Velikost průměru lze kompenzovat pouze v rámci automatické korekce. V rámci dopočítání průměru nástroje již tuto možnost nelze využít. Lze předpokládat, že automatická korekce je přesnější. Proto programování v rámci dopočtení průměru nástroje, kde nejsou zahrnutý jak výrobní tolerance, tak opotřebením nástroje nebudu již dále uvažovat.

Pro vhodný nájezd a odjezd nástroje volím tečné přijetí a odjetí z důvodu vytažení třísky, pro následné ulehčení postoperací.

Strojní čas pro první metodu v rámci automatické korekce předpokládám jako jednu z nerychlejších metod obrábění.

Programování této metody se využívá většinou v hromadné výrobě, kde se více hledí na strojní čas než na modifikaci programu pro změny tvaru anebo pro změnu velikosti šestihranného prvku.

7 Druhá metoda

Tato metoda využívá pouze jedné základní osy X, Z a rotační osu C.

Osa frézy je rovnoběžná s osou Z stroje. Nástroj přijede rychloposuvem do počátečního bodu a řezným posuvem se přejede v ose X o 30 mm. Poté nástroj povyjede v ose Z do +2 mm a vrátí se do startovního bodu. Současně se fréza bude vracet do počátečního bodu a zároveň se obrobek pootočí o 60 stupňů. Celý cyklus se takto opakuje 6krát.

7.1 Dílenské programování

Pro naprogramování této metody jsem využil primární osu X, plus rotační osu C, kterou jsem si zvolil již v předdefinovaných funkcích stroje.

Následně jsem si určil počáteční a koncový bod. Úsečku jsem nemusel dopočítávat, jelikož všechny body jsem měl z první metody viz obr. 20

M KONTÚRA-ČELO			
		X	Y
	START. BOD	-15.000	25.981
▶	KUŽEL	15.000	25.981

Obrázek 20: Vložené body s korekcí

Následně se vytvořila pouze jedna úsečka, kterou jsem potřeboval opakovat 6krát s tím, že po každém přejetí si nástroj odjede do +2 mm v ose Z. Při přejezdu do startovního bodu se obrobek otočí o 60 stupňů. Proto jsem využil funkci „ŠABLONA“, ve které jsem si definoval počet opakování 6krát a následně úhel nastavení 60 stupňů.

Ve funkci nastavení dráhy jsem si zvolil o kolik nástroj povyjede v ose Z po každém úkonu. Zvolil jsem 2 mm, jelikož čelo může být nepřesně zarovnáno a nástroj by mohl narazit do čela při natočení obrobku. Více než 2 mm jsou zbytečné, kvůli ztráty strojního času.

7.2 Strojní čas

Čas je o pár vteřin pomalejší než v metodě první z důvodu, že nástroj se po každém přejetí musí vrátit do počátečního bodu. Tím pádem nástroj neobrábí a ztrácí čas.

7.3 Poznámky k metodě

Povrch by měl být podobný jako v první metodě, jelikož nástroj bude frézovat sousledně.

Předpokládám, že tato metoda bude jedna z přesnějších, protože využívá pouze jednu osu X při obráběcím posuvu.

Čas je podstatně vyšší, protože nástroj musí po každém ofrézování plochy vyjet o 3 mm a následně se vrátit do startovní pozice. Pokud by se tak nestalo a nástroj by přejížděl z jedné strany na druhou, tak bude jednou frézovat sousledně a následně další plochu nesousledně. To by mělo za následek odlišný povrch a větší nepřesnost šestihenného prvku.

Jak lze vidět z dílenského programování, tak pro vytvoření programu je zapotřebí znát pouze startovní a koncový bod a následně ho rozkopírovat. Modifikace v této metodě je snadnější než v první metodě. Změna velikosti nebo tvaru v této metodě je pouhou otázkou změn dvou hodnot.

8 Třetí metoda

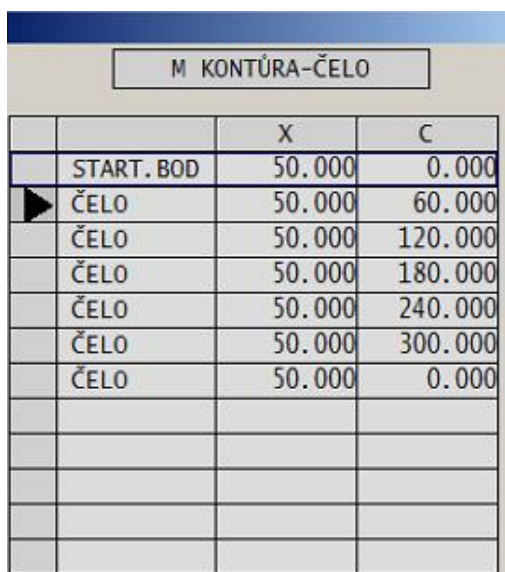
Poslední metoda, kterou jsem si zvolil pro obrábění šestihranného prvku na konci, resp. začátku hřídele je za využití os X a rotační osy C.

Nástroj přijede do startovního bodu. V dalším kroku se začne obrobek otáčet o 360 stupňů a zároveň se nástroj začne pohybovat v ose X. Osy se začnou pohybovat souměrně tak, aby vytvořily jednu třískou šestihran na konci hřídele.

Pro tuto metodu jsem nadefinoval počáteční a koncový bod. V dalším kroku jsem zvolil možnost 6krát opakovat po 60 stupních viz obr. 21. Bohužel po odjeté dráze se nástroj vysunul do počátečního bodu v ose Z. Jedinou možností bylo naprogramovat metodu ručním vypisováním viz obr. 22.

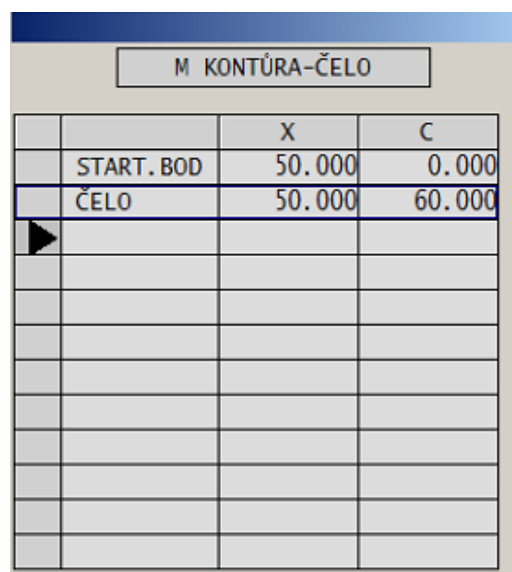
Dle simulace je strojní čas pro obě formy programování stejný. Proto budu dále uvažovat metodu z obr. 21, jelikož pro naprogramování je tato metoda rychlejší.

Ve své práci budu dále pokračovat s hodnotami z obr. 21.



M KONTÚRA-ČELO			
		X	C
	START.BOD	50.000	0.000
▶	ČELO	50.000	60.000
	ČELO	50.000	120.000
	ČELO	50.000	180.000
	ČELO	50.000	240.000
	ČELO	50.000	300.000
	ČELO	50.000	0.000

Obrázek 22: Vložené body bez opakování



M KONTÚRA-ČELO			
		X	C
	START.BOD	50.000	0.000
	ČELO	50.000	60.000
▶			

Obrázek 21: Vložené body pro opakování

8.1 Dílenské programování

V této metodě jsem opět využil funkci osy C, kterou nabízí systém stroje. Dále jsem musel zvolit startovní bod. Následně jsem použil funkci čelo. Pokaždé jsem volil osu X 50 mm. Osu C jsem nechal rotovat po 60 stupních a následně celý cyklus 6krát opakovat.

Jak jsem již zmínil výše, tato metoda využívá rotační osu C a základní osu X souměrně. Obrobek se otáčí a ve stejném čase se nástroj přibližuje, popř. oddaluje tak, aby vytvořil rovné plochy na šestihranu.

Pro naprogramování je již zapotřebí výpočetní technika CNC stroje. V předchozí dvou metodách šlo o manuální dopočítání počátečních bodů a natáčení polotovaru o 60 stupňů. V této metodě si CNC program musí dopočítat všechny body v daný okamžik tak, aby po daném pootočení polotovaru se nástroj dostatečně přiblížil, resp. oddálil.

8.2 Strojní čas

Strojní čas v této metodě byl nejrychlejší. Hlavním důvodem je uražená krátká vzdálenost nástroje.

8.3 Poznámky k metodě

Oproti předchozím metodám zde předpokládám nejkvalitnější povrch, jelikož osa C se bude otáčet proti otáčkám nástroje, tím pádem zajistí lepší a hladší povrch.

Přesnost odhaduji jako jednu z nejvyšších, protože kombinace základních os C a X bude přesnější než v metodách, kde je využívána osa Y.

Čas je téměř stejný, jako v první metodě z důvodu využití pouze dvou os a nepřetržitého záběru bez zbytečně dlouhých odjezdů.

Naprogramování je taktéž obdobné jako u první metody. Určíme pouze osu X, která představuje průměru kruhové tyče. Následně je zapotřebí zvolit stupně koncových bodů. Rozdíl oproti první metodě je v tom, že startovní i koncové body se určují přes osu X a C.

9 Čtvrtá metoda

Poslední metoda, je obrábění uprostřed kruhové tyče. Tato metoda je relativně podobná druhé metodě. Rozdíl je v tom, že je zde osa nástroje kolmá na osu Z. Nástroj bude obrábět čelem.

9.1 Dílenské programování

Nástroj přijede do startovní polohy a následně řezným posuvem projede v ose Y přes polotovar, tudíž vytvoří jednu plochu šestihranu. Poté nástroj vyjede v ose X a vrátí se

do počáteční polohy. Mezi tím se však polotovár pootočí v ose C o 60 stupňů. Tento cyklus se 6krát opakuje.

M DRÁŽKA-STRANA			
		Y	Z
	START. BOD	20.000	-100.000
▶	ČELO	-20.000	-100.000

Obrázek 23: Vložené body pro opakování

Přesnost obrábění očekávám podobnou, jako u ostatních metod ale povrch bude odlišný z důvodu zanechání stop po nástroji. Povrch předpokládám s horší drsností, jelikož fréza bude zabírat čelem a bude za sebou zanechávat stopy po nástroji.

9.2 Strojní čas

Ač je naprogramování obdobné jako u druhé metody, strojní čas se liší téměř dvojnásobně. Tento delší čas byl zapříčiněn tím, že nástroj se po každém přjetí vrátil do počátečního bodu. Tím pádem jede při návratu naprázdno. Chtěl jsem program nastavit tak, aby nástroj projel obráběcím posuvem dráhu. Následně se osa C potočila o 60 stupňů. Poté by se nástroj vrátil obráběcím posuvem zpět do počátečního bodu. Jednoduše řečeno nástroj by přejížděl z koncového bodu do počátečního s tím, že osa C by se natáčela po každém přjetí dráhy. Bohužel, žádnou z těchto funkcí jsem nenalezl.

9.3 Poznámky k metodě

Povrch v této metodě bude odlišný oproti povrchům v předešlých metodách. Nástroj bude frézovat čelem frézy a bude po sobě zanechávat stopy. Proto se bude drsnost povrchu nejvíce lišit.

Přesnost odhaduji totožnou jako v druhé metodě, jelikož program je téměř obdobný.

10 Porovnání metod

10.1 Kritéria hodnocení

Všechny metody, které byly naprogramovány mají stejný tvar šestihranného prvku. Přesto každý program je vytvořen s odlišným použitím os na stroji, a proto konečný výsledek bude odlišný. Metody vyhodnotím i bez provedení praktického experimentu.

Na základě simulace a dosavadních zkušeností srovnávám metody podle kritérií:

- Strojní čas
- Čas programování
- Modifikace programu
- Povrch
- Přesnost

10.2 Strojní čas

Strojní čas byl vyhodnocen v simulaci stroje. Tento čas je zatížený chybou cca jedné vteřiny. Jelikož se jedná o čas vyhodnocený simulací, tak tuto chybu nebudu zahrnovat do výsledků.

Pro první až třetí metodu budou nastavené řezné podmínky:

- $v_c = 188 \text{ m/min}$
- $f_z = 0,062 \text{ mm}$

Pro čtvrtou metodu budou nastavené řezné podmínky:

- $v_c = 160 \text{ m/min}$
- $f_z = 0,056 \text{ mm}$

Čas pro všechny metody bude stanoven v minutách.

10.3 Čas programování

Každá metoda zabere rozdílný čas. Proto jsem změřil čas programování každé metody. Tento čas závisí na schopnostech a znalostech daného programu. Do času programování jsem zahrnul vytvoření a pojmenování složky. Pro zvolení nástroje jsem využil již předdefinovanou tabulku nástrojů s nastavenými řeznými podmínkami. Stopky jsem vypnul až po simulaci šestihranu.

Všechny metody jsem změřil za použití stopek. Program jsem již jednou vytvářel. Z tohoto důvodu naměřený čas nezahrnuje seznámení se s programem. Nicméně lze předpokládat, že nejkratší čas odpovídá nejjednodušší formě naprogramování.

Čas pro všechny metody bude stanoven v minutách.

10.4 Modifikace programu

Modifikace programu je důležitou součástí programování. Každý programátor se snaží zanechat svůj program dostatečně čitelný a snadno přehledný pro následné úpravy. Pro hromadnou a sériovou výrobu není modifikace programu tak zásadní, jako v kusové a malosériové výrobě. Proto důležitost tohoto kritéria závisí na typu výroby.

Modifikací programu je myšlena změna průměru, nebo tvaru vícehranného prvku. Čím více kroků je zapotřebí k patřičné změně, tím horší je modifikovatelnost. Zároveň hodnotím obtížnost úpravy hodnot v programu.

10.5 Povrch

Povrch bude definován drsností a celkovým vzhledem. Drsnost materiálu se vyjadřuje hodnotou Ra. Při frézování materiálů se obecně Ra pohybuje mezi 3,2 – 0,8. Vzhledem k tomu, že budou využity optimální podmínky, tak můžeme předpokládat Ra až 0,2. Vzhled následně určuje velikost Ra. Čím je menší, tím je povrch hladší a lesklejší.

Z důvodu absence reálného měření hodnotím povrch na základě:

- frézování bokem nebo čelem nástroje.
- obrobení na jeden záběr třísky nebo na více záběru třísky

10.6 Přesnost

Finální přesnost by měla být adekvátní ke konečnému využití. Čím přesnější tvary jsou požadovány, tím je cena výrobku vyšší. Proto by měl každý konstruktér vyhodnotit důležitost rozměrových a geometrických tolerancí pro dané využití.

Z důvodu absence reálného měření budu přesnost šestihranného prvku hodnotit na základě použití kombinací strojních os X, Y, C.

11 Vyhodnocení



11.1 Strojní čas

První metoda – čas byl druhý nejkratší, jelikož nástroj přijel k obrobku rychloposuvem a následně obráběcím posuvem vyfrézoval šestihran, bez zbytečného odjíždění nástroje nebo natáčení osy C. Viz obr. 24.


Druhá metoda – čas pro tuto metodu byl delší z důvodu přejíždění nástroje z jedné strany na druhou. Pro sousledné frézování se nástroj musel vždy vrátit do počátečního bodu po vytvoření jedné plochy šestihranu. Následně se osa C otočila o 60 stupňů. Toto zdržení zapříčinilo třetí nejdelší čas. Viz obr. 25.

Třetí metoda – čas této metody je nejrychlejší. Tato metoda je rychlejší oproti první, protože nástroj urazí kratší vzdálenost. Viz obr. 26.



Čtvrtá metoda – poslední metoda je nejdelší ze všech. Princip programu je stejný jako v druhé metodě, ale nástroj frézuje čelem frézy. Proto jsem musel ubrat řezné podmínky. Viz obr. 27.

ROT.	Ř. RYCH.	POSUV	HLOUB. ŘEZU	ČAS OBRÁBĚNÍ	H: M: S
6000	✓ 188	0.062			00:00:13
6000	✓ 188	0.062			00:00:13


Obrázek 24 Strojní čas první metody s korekcí a bez korekce

ROT.	Ř. RYCH.	POSUV	HLOUB. ŘEZU	ČAS OBRÁBĚNÍ	H: M: S
6000	✓ 188	0.062			00:00:18

Obrázek 25 Strojní čas druhé metody

ROT.	Ř. RYCH.	POSUV	HLOUB. ŘEZU	ČAS OBRÁBĚNÍ	H: M: S
6000	✓ 188	0.062			00:00:11
6000	✓ 188	0.062			00:00:11

Obrázek 26 Strojní čas třetí metody s opakováním a bez opakování

ROT.	Ř. RYCH.	POSUV	HLOUB. ŘEZU	ČAS OBRÁBĚNÍ	H: M: S
5093	✓ 160	0.056			00:00:24

Obrázek 27 Strojní čas čtvrté metody s úpravou řezných podmínek

11.2 Čas programování

První metoda – pro naprogramování je jednou z nejdelších, protože bylo zapotřebí dopočítat všechny vrcholy. K výpočtu vrcholů jsem využil CAD program pro rychlost a snadnost. Následně jsem musel všechny hodnoty zadat do programu.

Druhá metoda – pro naprogramování druhé metody bylo zapotřebí znát pouze počáteční a koncový bod. Následně jsem nechal tuto akci zopakovat. Tato metoda je druhá nejrychlejší.

Třetí metoda – programování bylo obdobné, jako v druhé metodě. Každopádně pro mě byla více příjemnější. Nemusel jsem nic počítat, ani se více zamýšlet nad tvorbou programů. Tato metoda je nejrychlejší a nejlépe modifikovatelná.

Čtvrtá metoda – pro tuto metodu jsem využil CAD program, k výpočtu koncového bodu. Oproti první metodě je rychlejší, jelikož stačil dopočítat pouze jeden bod a následně nechat přímku rozkopírovat po 60 stupních. Tato metoda je druhá nejpomalejší.

11.3 Modifikace programu

První metoda – pro změnu programu je zapotřebí znova dopočítat všechny vrcholy. Pro usnadnění pomůže CAD program. Každopádně je zapotřebí přepsat všechny vrcholy, proto tuto metodu hodnotím jako nejhůře modifikovatelnou.

Druhá metoda – naprogramování této metody hodnotím jako docela jednoduché. Stejně tak modifikace programu je otázkou nadefinování počátečního a koncového bodu. V dalším kroku již je zapotřebí zvolit, kolikrát se tato dráha bude opakovat při natočení osy C. Při úpravě počátečního a koncového bodu lze modifikovat průměr. Při určení stupně pootočení osy C lze definovat počet vrcholů vícehranu. Nicméně je zapotřebí vypočítat hodnotu v ose Y. Proto tuto metodu hodnotím jako přijatelně modifikovatelnou.

Třetí metoda – programování bylo obdobné jako v druhé metodě. Zvolení počátečního a koncového bodu a s následným opakováním tohoto cyklu. Pro naprogramování a následnou modifikaci není zapotřebí žádného výpočtu. Proto hodnotím tuto metodu jako nejlépe programovatelnou a modifikovatelnou.

Čtvrtá metoda – až na rozdíl, že tato metoda se zaměřuje na obrábění čelem frézy, tak programování je obdobné jako v druhé metodě. Opět je nadefinovaný počáteční a koncový bod a následným opakováním cyklu. Pro definování koncového bodu je

zapotřebí vypočítat hodnotu v ose X. Proto tuto metodu hodnotím opět jako přijatelně modifikovatelnou.

11.4 Povrch

První metoda – předpokládám, že drsnost v této metodě se bude nejmenší z důvodu frézování bokem nástroje. Jelikož fréza půjde při každé přejeté ploše ihned do záběru, tak nepředpokládám ani odlišný povrch na ploškách šestihranu. Povrch této metody hodnotím jako nejlepší.

Druhá metoda – jelikož v této metodě nástroje musí po každém obrobení plošky odjet a poté se znova vrátí do počátečního bodu, tak předpokládám, že povrch v této metodě může být lehce rozlišný. Zde je také obrábění bokem nástroje. Tuto metodu hodnotím jako druhou nejlepší.

Třetí metoda – kombinace osy X a C, vytvoří obdobný povrch, jako v druhé metodě. Nástroj po vyjetí na vrchol automaticky najede rychloposuvem do počátečního bodu. Obrábění je také bokem nástroje. Stejně jako v druhé metodě hodnotím jako druhý nejlepší povrch.

Čtvrtá metoda – poslední metoda bude mít nejvíce drsný povrch, jelikož nástroj bude obrábět čelem frézy. Jakmile se nástroj dostane do záběru, tak bude frézovat z jedné poloviny sousledně a z druhé poloviny nesousledně. Povrch v této metodě bude nesouměrný. Pro hladký povrch jsou zapotřebí přísnější řezné podmínky oproti zbylým třem metodám. Metodu hodnotím jako nejhorší.

11.5 Přesnost

První metoda – využitím kombinací os X a Y může vést k mírným nepřesnostem. Důvodem je osa Y, která je závislá na ose X. Tuto metodu hodnotím jako méně přesnou.

Druhá metoda – nástroj se pohybuje obráběcím posuvem po ose X. Při přejezdech a natočení obrobku mohou vznikat malé nepřesnosti. Tuto metodu hodnotím přesnější než první, protože předpokládám, že přejetí nástroje do startovního bodu bude mít za následek menší nepřesnost než závislost osy Y na ose X.

Třetí metoda – třetí metoda je kombinací základních os X a C. Pokud stroj využívá základní osy, tak lze předpokládat nejvyšší přesnost. Stejně jako u všech metod, které byly naprogramované formou opakování cyklu, tak nástroj po každém přejetí dráhy vyjede do startovního bodu. Proto tuto metodu hodnotím jako stejně přesnou jako druhou metodu.

Čtvrtá metoda – programování je téměř stejné jako v druhé metodě. Nicméně, v této metodě nástroj vjede do záběru čelem frézy. Frézování materiálu je soustředěno na menší plochu nástroje. Z tohoto důvodu mohou vznikat vyšší vibrace a tím vyšší drsnost. Metodu hodnotím jako nejméně přesnou.

11.6 Souhrnná tabulka

Tabulka 1 - Porovnání metod podle kritérií

Metody	Strojní čas [min]	Čas programování [min]	Modifikace programu	Povrch	Přesnost
První	0,13	7,13	3.	1.	2.
Druhá	0,18	3,07	2.	2.	1.
Třetí	0,11	2,47	1.	2.	1.
Čtvrtá	0,24	4.1	2.	3.	3.

Pozn. Hodnoty 1.-3. vyjadřují pořadí, v jakém se metody umístily vyhověly z pohledu toho, jak nejlépe vyhověli daným kritériím.

12 Praktické měření

Důležité je změřit:

- Velikost všech ploch. Všechny plochy musí být stejně rozměrově velké.
- Úhel mezi sousedními plochami. Šestihran musí být symetrický.
- Změřit rovnoběžnost protilehlých ploch .
- Rovinnost každé plochy šestihranu
- Drsnost povrchu

Pro praktického měření doporučuji využít CNC měřicí stroj pro rozměrové a geometrické tolerance. Souřadnicově řízený měřicí stroj zamezí nepřesnostem, které mohou vzniknout ručním měřením. V tomto případě bude dostačující pouze jedno měření.

Pokud se bude muset měřit dílenskými měřidly, tak jsou zapotřebí následující měřidla:

- Posuvné měřítko
- Mikrometr
- Úhломěr

Předpokládám, že odchylka bude v rámci mikrometrů, nanejvýš milimetrů, proto posuvné měřítko bude využité pro kontrolní měření. Pro změření rovnoběžnosti ploch a rovinnost doporučuji úchylkoměr. Při použití dílenských měřidel bude měření probíhat minimálně třikrát a výsledek se zprůměruje.

Pro naměření drsnosti je zapotřebí drsnoměr. Doporučuji použít laboratorní drsnoměr, jelikož je přesnější. Pokud jej nebude možné použít, tak využijeme dílenský drsnoměr, kterým se minimálně třikrát provede měření s následným zprůměrováním výsledků.

13 Závěr

Předmětem bakalářské práce bylo vyrobit šestihranný prvek. Hlavní cílem bylo najít optimální metodu programování dle zvolených kritérií na stroji OKUMA genos L200E-MY s revolverovou hlavou.

Nejvýznamnější funkcí vícehranných prvků je přenos kroutícího momentu. Jelikož se vícehranné prvky používají ve strojírenství velmi často, tak jsem se snažil najít nejvíce optimální řešení výroby.

Pro naprogramování a následné relevantní porovnání kritérií jsem musel nastavit pro všechny metody stejné podmínky. Použitý nástroj byl pro všechny metody stejný. Pro první až třetí metodu byly nastaveny stejné řezné podmínky. Pro čtvrtou metodu jsem musel upravit řezné podmínky z důvodu obrábění čelem frézy.

Všechny metody lze naprogramovat více způsoby. Z důvodu porovnatelnosti kritérií jsem vybral čtyři metody programování. Každá metoda byla programována tak, aby využívala kombinaci různých os CNC soustruhu. Následně bylo zapotřebí určit kritéria, podle kterých se metody budou porovnávat. Z důvodu absence reálného měření mohou být výstupy pro kritéria přesnost a povrch nepřesné. Nicméně kritéria pro strojní čas, čas programování a modifikace programu jsou relevantní pro následné použití v praxi.

Všechny metody jsem porovnal v souhrnné tabulce. Nelze přesně určit, která metoda je nejlepší z důvodu absence reálného měření. Proto pokud pomineme přesnost a povrch, tak hlavním ukazatelem bude čas. Čas strávený nad samotným programováním může být delší, ale pro kusovou výrobu je důležité v co nejkratším čase upravit program. Proto hlavním kritériem pro kusovou výrobu bude modifikace programu. Pro malosériovou výrobu je zapotřebí nalézt optimální čas mezi strojním časem, časem programování a modifikací programu. Pro hromadnou a velkosériovou výrobu je hlavním ukazatelem strojní čas.

Podle souhrnné tabulky je pro všechny druhy výroby nejlepší třetí metoda. Přesto tato metoda je omezená pouze na délku nástroje. Čtvrtá metoda toto omezení nemá, proto také záleží na počátečních rozměrových podmínkách pro výrobu vícehranného prvku.

14 Seznam použitých zdrojů

- [1] NLX 1500 / NLX 2000: Main features. *DMG MORI* [online]. 2014 [cit. 2020-07-01]. Dostupné z:
https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/244423/pt0uk14-nlx1500-2000-pdf-data.pdf
- [2] Multi-Axis Turning Center: Multi-Axis CNC Turning Center YT-52L. *KAMIOKA* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z:
https://kamioka.com.tw/product_description.php?pno=148
- [3] POHÁNĚNÉ NÁSTROJE. *Upínání horní hlava* [online]. Multistation, 2015 [cit. 2020-07-01]. Dostupné z: <http://www.multistation.com/Centre-d-usinage-Turbomill-i>
- [4] DURĎÁK, Tomáš. Strategie víceosého soustružení v CAM systému s aplikací multimediální podpory: Typy víceosých obráběcích strojů. *Fakulta Strojní VŠB - TUO* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2020-07-01]. Dostupné z:
https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/114728/DUR0065_FS_B2341_2303R002_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=n
- [5] BORO VAN, Petr. Poháněné nástroje a jejich upínání. *Technický týdeník* [online]. Business Media CZ, 2012 [cit. 2020-07-01]. Dostupné z:
https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-5-pohanene-nastroje-a-jejich-upinani_8501.html
- [6] ŘASA, J. Kompaktní stroje pro široké spektrum použití. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2016 [cit. 2020-07-01]. Dostupné z:
<http://firmy.mmspektrum.com/clanek/kompaktni-stroje-pro-siroke-spektrum-pouziti.html>
- [7] Poháněné nástroje a revolverové hlavy. *F.I.S.M.* [online]. [cit. 2020-07-01]. Dostupné z: <https://www.fism.cz/nabizime/produkty/item/86-poh%C3%A1n%C4%9Bn%C3%A9-n%C3%A1stroje-a-revolverove-hlavy.html>
- [8] Toolholder Program. *WTO-tools* [online]. 2019 [cit. 2020-07-01]. Dostupné z:
https://www.wtotools.com/fileadmin/user_upload/Katalog_Download/Maschinenspezifisch/Okuma/Okuma_Toolholder_Program_en.pdf
- [9] BRYCHTA, Josef. *Technologie II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1641-8

- [10] JELÍNEK, Adam. ANALÝZA PODMÍNEK OBRÁBĚNÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN. *VUT* [online]. 2009 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18575
- [11] FIREX. *GUHRING* [online]. 2020 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.guhring.com/Coatings>
- [12] UNI PRO R standard length end mill (4-fluted), corner radius, metric. *GUHRING* [online]. 2020 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://www.guhring.com/ProductsServices/SeriesDetails?Series=3562>
- [13] GENOS series. *OKUMA* [online]. Japan, 2015 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://bulmakmetal.com/wp-content/uploads/2016/10/GENOS-L-E-7a-300Mar2015.pdf>
- [14] Geometrie břitu obecně. *Tumlikovo* [online]. 2010 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/geometrie-britu-obecne/>
- [15] Drsnost (materiál). *WIKIPEDIE* [online]. 2020 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Drsnost_\(materi%C3%A1l\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Drsnost_(materi%C3%A1l))
- [16] GEOMETRICKÉ TOLERANCE. *StudentCar* [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <http://www.studentcar.cz/files/vyuka/TTD/lesson06.pdf>
- [17] Měření drsnosti povrchu. *UZIMEX* [online]. 2006 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.uzimex.cz/Sortiment/Mereni-drsnosti-povrchu.html>
- [18] Uni-Pro end mills 2 / 3 / 4-flute. *GUHRING* [online]. [cit. 2020-07-18]. Dostupné z: <https://www.guhring.com/Documents/Tech/SpeedFeed/3562.pdf?version=080717114203>
- [19] Osa středová 4-hran. *Barta.bike* [online]. [cit. 2020-07-18]. Dostupné z: <https://bartabike.cz/produkt/osa-stredova-4-hran-129-mm-2830?cid=475>
- [20] Hřídel pro 2051 - staré provedení, 34mm. *KOBRAS* [online]. [cit. 2020-07-18]. Dostupné z: <https://kobras.cz/produkt/hridel-pro-2051-stare-provedeni-34mm>

15 Seznam obrázků a tabulek

15.1 Tabulky

Tabulka 1 - Porovnání metod podle kritérií	31
--	----

15.2 Obrázky

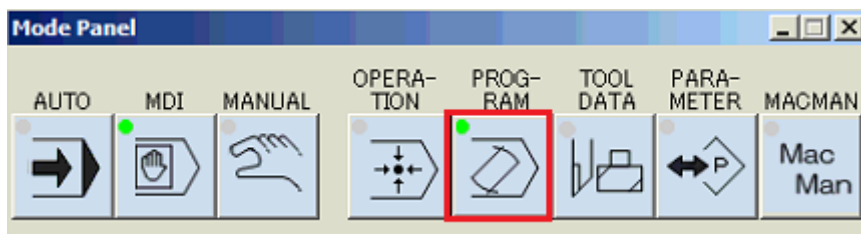
Obrázek 1: Kinematika víceosého soustruh [1].....	10
Obrázek 2: Samostatná osa Y [3].....	11
Obrázek 3: Osa Y závislá na ose X [2]	11
Obrázek 4: Kinematika stroje bez osy Y a s osou Y [1].....	11
Obrázek 5: Kinematika stroje se dvěma sklíčidly bez osy Y a s osou Y [1]	11
Obrázek 6: Vřeteno s osazeným nástrojem [6]	12
Obrázek 7: Osazení poháněných nástrojů v revolverové nástrojové hlavě [7]	13
Obrázek 8: Axiálně osazený nástroj	13
Obrázek 9: Radiálně osazený nástroj.....	13
Obrázek 10: Válcová fréza o průměru 10 mm [12]	14
Obrázek 11: Víceosý soustruh OKUMA genos L200E – MY [13]	15
Obrázek 12: Drsnoměr Marsurf PS 10	16
Obrázek 13: Řezné podmínky pro první až třetí metodu.....	17
Obrázek 14: Řezné podmínky pro čtvrtou metodu	17
Obrázek 15: Středová osa se čtyřhranem [19].....	18
Obrázek 16: Hřídel s šestihranným prvkem [20].....	18
Obrázek 17: Vložené body s korekcí.....	20
Obrázek 18: Vložené body bez korekce	20
Obrázek 19: Simulace šestihranného prvku.....	20
Obrázek 20: Vložené body s korekcí.....	22
Obrázek 21: Vložené body pro opakování	23
Obrázek 22: Vložené body bez opakování.....	23
Obrázek 23: Vložené body pro opakování	25
Obrázek 24 Strojní čas první metody s korekcí a bez korekce	28
Obrázek 25 Strojní čas druhé metody	28
Obrázek 26 Strojní čas třetí metody s opakováním a bez opakování.....	28
Obrázek 27 Strojní čas čtvrté metody s úpravou řezných podmínek	28

16 Příloha

Příloha 1: Postup tvorby programu čtyř metod šestihranného prvku v OKUMA OSP

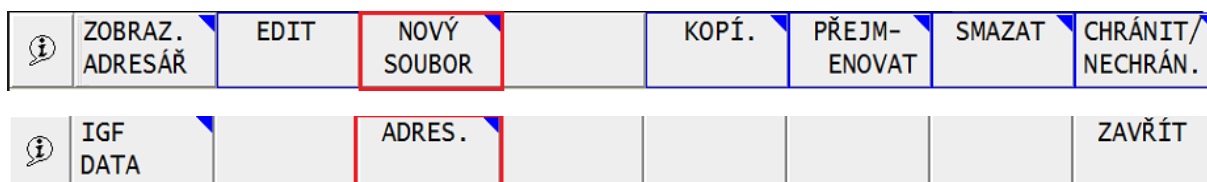
Postup založení složky v OKUMA OSP.

Po spuštění programu zvolíme v panelu „Mode panel“ možnost program.

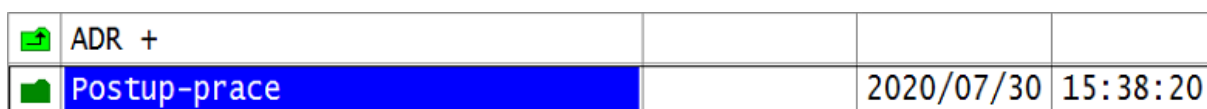


V dalším kroku vytvoříme složku, do které budeme ukládat programy.

Zvolíme možnost „NOVÝ SOUBOR“ následně označíme „ADRES.“, poté soubor pojmenujeme a potvrdíme.



Vytvoří se nám nová složka.

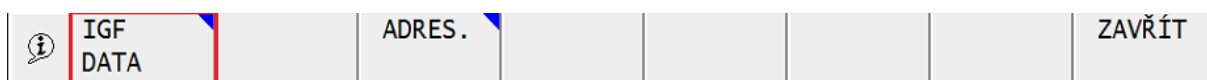


Složka bude prázdná. Budeme muset vytvořit nový soubor dat, do kterého se nám bude program ukládat.

Krok 1–8 a 10–11 bude pro všechny metody stejný.

1. Krok – založení programu

V otevřeném souboru zvolíme opět „NOVÝ SOUBOR“ a následně označíme „IGF DATA“. Soubor pojmenuje a následně potvrdíme.



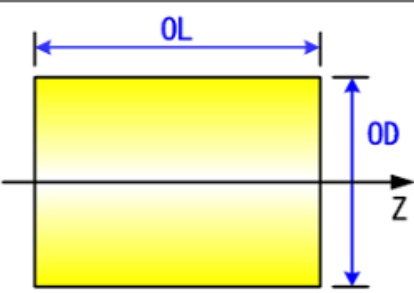
2. Krok – definování polotovaru

NASTAVENÍ PRÁZDNÉ/SYSTÉMU

PRÁZDNÉ | 1 VŘETENO | STŘED

MATERIÁL	AL	
TVAR	ROUNDBAR	
ZÁKLADNÍ PRÁZDNÝ TVAR		
VNĚJŠÍ PRUM.	OD	50.000
VNĚJŠÍ DÉLKA	OL	500.000
VNITŘNÍ PRŮM.	ŽÁDNÝ VNITŘNÍ	
1 VŘETENO		
POVRCH PODSTAVY	PRAVÝ KONEC	

* : can be omitted



Pro materiál volím hliník a tvar kulatý. Dále je zapotřebí nastavit rozměry polotovaru. V záložce „1 VŘETENO“ lze nastavit velikost čelistí ale toto ponechávám bez úprav. Záložka „STŘED“ je pro nastavení uchycení polotovaru koníkem, tuto možnost nenastavuji. Poté potvrdíme.

3. Krok – tvorba programu

Polotovar se všemi náležitostmi je vytvořen a nyní je zapotřebí vytvořit program.

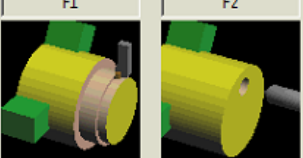
OBR. SEKCE LIST	NOVÝ EDITACE	PROCES TVAR	DRÁHA NÁST NASTAVENÍ	LIST EDIT	PROCES TEST	VYTVORIT PROGRAM	OBRÁBĚNÍ KON. /ULOŽ
--------------------	-------------------------	----------------	-------------------------	--------------	----------------	---------------------	------------------------

4. Krok – víceosé obrábění

DRUH PROCESU

SKUP INAOBRAB.

F1 F2 F4

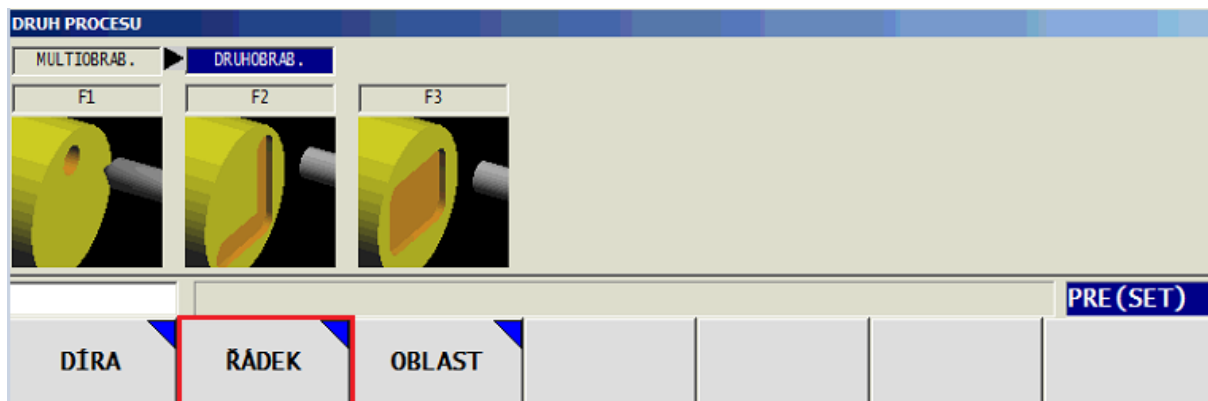


```
G00 X... Z...
G01 X... Z...
:
:
```

PRE (SET)

SOUSTRUŽ.	MULTI OBRÁB.	NC PROGRAM		
-----------	-------------------------	------------	--	--

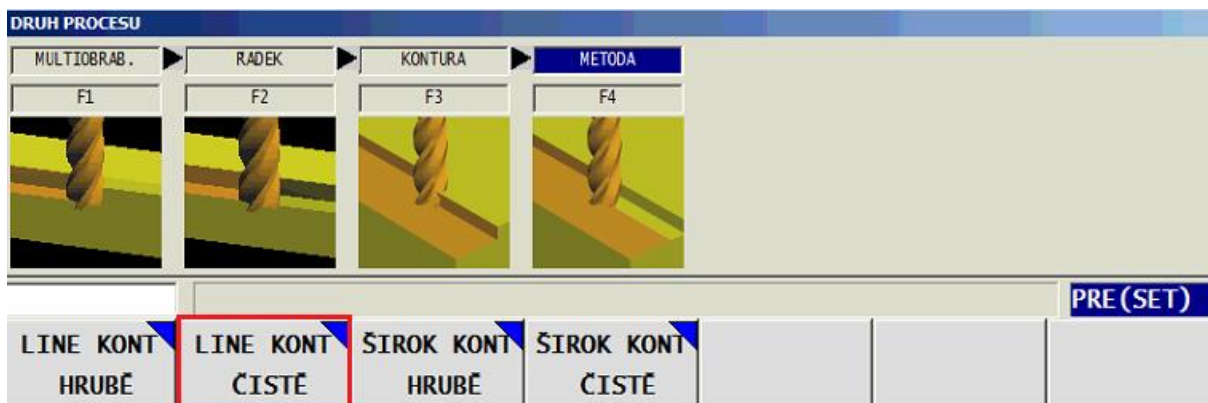
5. Krok – dráha nástroje



6. Krok – druh frézování

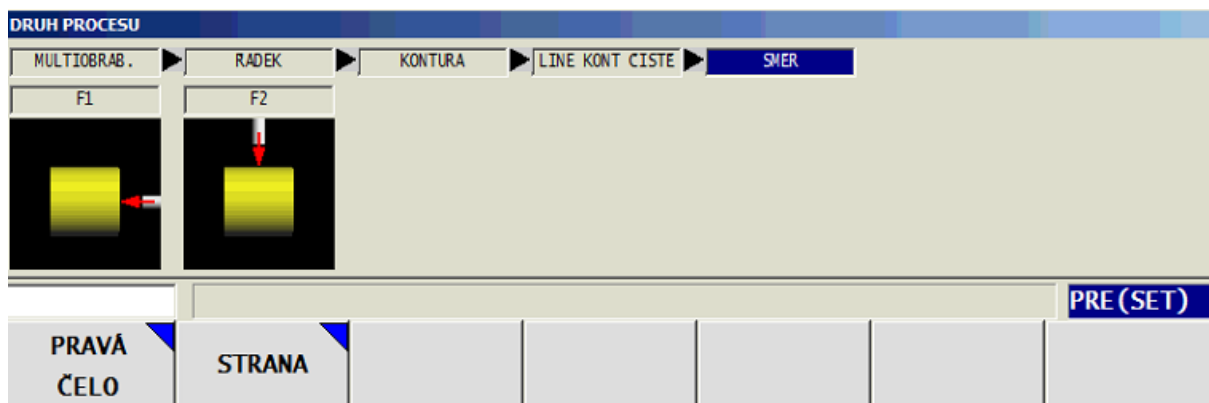


7. Krok – metoda obrábění



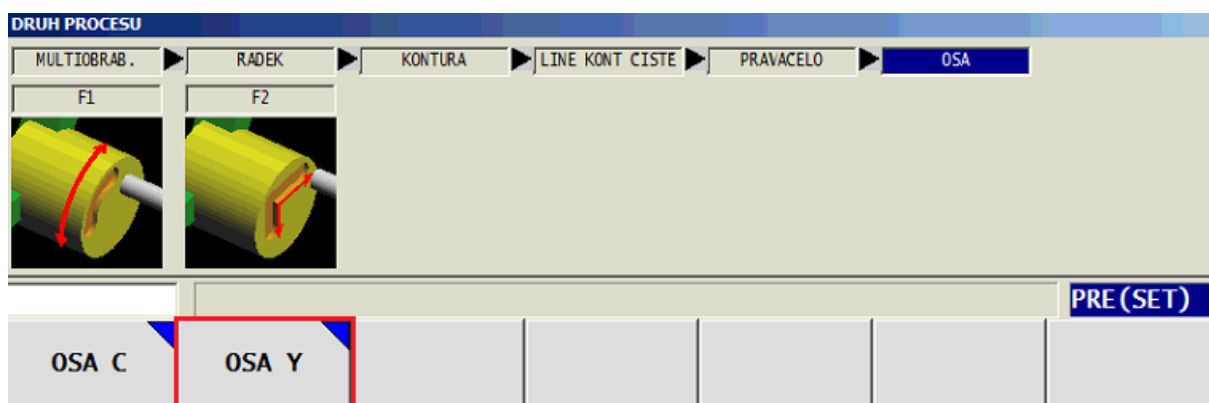
8. Krok – strana frézování

Pro první až třetí metodu volíme „PRAVÁ ČELO“ a pro čtvrtou „STRANA“.



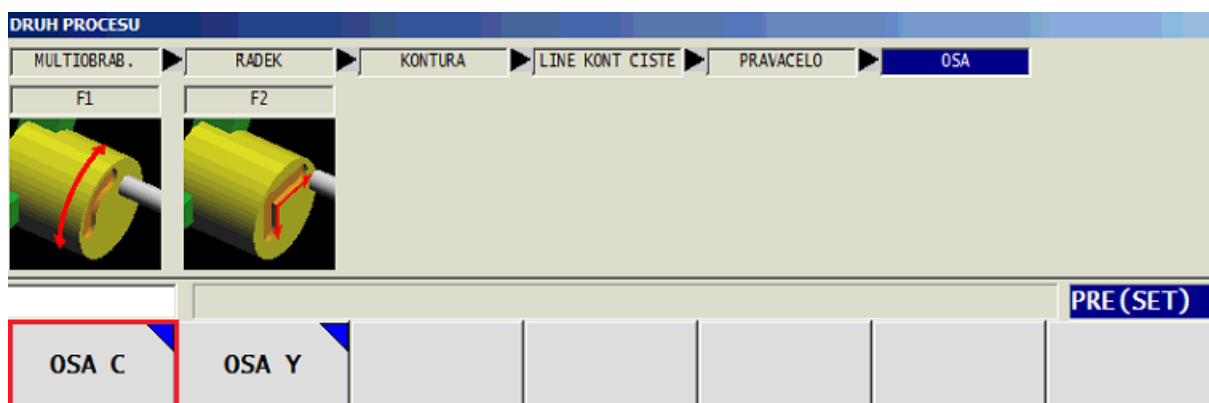
První metoda

9. Krok – volba osy pohybu „Y“

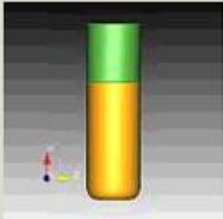
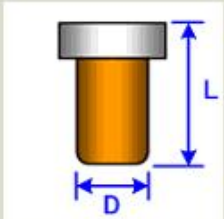


Druhá a třetí metoda

9. Krok – volba osy pohybu „C“



10. Krok – zvolení a nastavení nástroje

NASTAV. NÁSTROJ-Y ČE M KONT F	
DATA NÁSTROJE	REG. NÁSTROJ
T / G	TR GP
TNo	1
OFFSET č.1	1
REG. NO.	5050
KOMENTÁŘ	RADIALNIFREZA
 	
TYP NÁSTROJE	R STOPK. FRÉZA
MÓD ZPRAC.	0
DÉLKA NÁSTR. L	22.000
PRŮM. NÁSTR. D	10.000
ZUBY N	4

Pokud budeme chtít zvolit jiný nástroj, popř. upravit stávající, tak volíme ze spodní lišty panelů.

NÁSTROJ ZVOLIT	NÁSTROJ NASTAVENÍ	<ZPĚT VYBRAT	DALŠÍ> REZ. PODM.	OK	ZRUŠIT
----------------	-------------------	--------------	-------------------	----	--------

11. Krok – nastavení řezných podmínek

ŘEZNÉ PODMÍNKY-Y ČE M KONT F	
CHLAZENÍ	ZAP VYP
ČISTĚ RYCH.	24
POSUV(VZDUCH. ŘEZ)	0.200
FEEDRATE(ROUGH)	0.060
FEEDRATE(SEMI FIN.)	0.040
FEEDRATE(FINISH)	0.030
FEEDRATE(FINE FIN.)	0.020
ČIS. STOCK(HLOUB.)	0.000

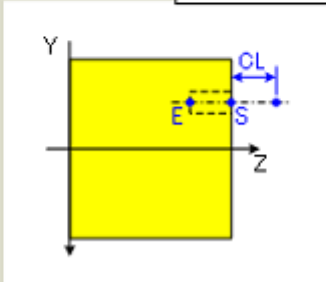
První metoda

12. Krok – nadefinování počátečního bodů

START.BOD

SOUŘADNICE	CK	X-Y-Z
REF. ÚHEL	CO	0.000
START. BOD	SX	25.000
START. BOD	SY	0.000
START. BOD	SZ	2.000
KONC. BOD ŘEZU	EZ	-10.000
SMĚR OFFSET OF		PRAVÁ

STŘED
PRAVÁ
LEVÁ



Možnost „SMĚR OFFSET OF“ je myšleno korekce nástroje. Nastavují „PRAVÁ“.

13. Krok – nadefinování všech bodů

M KONTÚRA-ČELO

	X	Y
START. BOD	25.000	0.000
▶ KUŽEL	12.500	21.650
KUŽEL	-12.500	21.650
KUŽEL	-25.000	0.000
KUŽEL	-12.500	-21.650
KUŽEL	12.500	-21.650
KUŽEL	25.000	0.000

14. Krok – opakování cyklu

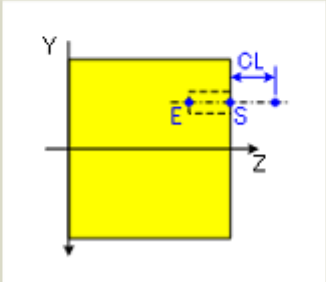
ŠABLONA-Y ČE M KONT F		
OPAKOVAT Č.	NM	1
C ROZTEČ	AC	0.000

Body jsem již všechny ručně vepsal a není zapotřebí cyklus opakovat.

Druhá metoda

12. Krok – nadefinování počátečního bodu

START.BOD		
SOUŘADNICE	CK	X-Y-Z
REF. ÚHEL	CO	0.000
START. BOD	SX	-12.500
START. BOD	SY	21.650
START. BOD	SZ	2.000
KONC. BOD ŘEZU	EZ	-10.000
SMĚR OFFSET OF		LEVÁ



13. Krok – nadefinování všech bodů

M KONTÚRA-ČELO			
		X	Y
	START. BOD	-12.500	21.650
	KUŽEL	12.500	21.650
▶			

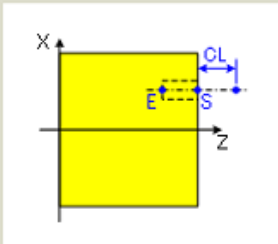
14. Krok – opakování cyklu

ŠABLONA-Y ČE M KONT F			
OPAKOVAT Č.	NM		1
C ROZTEČ	AC		0.000

Třetí metoda

12. Krok – nadefinování počátečního bodu

START.BOD		
SOUŘADNICE	CK	X-C-Z
REF. ÚHEL	CO	
START. BOD	SX	50.000
START. BOD	SC	0.000
START. BOD	SZ	2.000
KONC. BOD ŘEZU	EZ	-10.000
SMĚR OFFSET OF		PRAVÁ



13. Krok – nadefinování všech bodů

M KONTÚRA-ČELO			
		X	C
	START. BOD	50.000	0.000
▶	ČELO	50.000	60.000

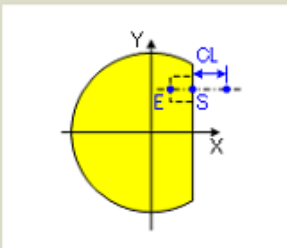
14. Krok – opakování cyklu

ŠABLONA-ČE M KONT F			
OPAKOVAT Č.	NM		6
C ROZTEČ	AC		60.000

Čtvrtá metoda

12. Krok – nadefinování počátečního bodu

START.BOD		
SOUŘADNICE	CK	X-Y-Z
REF. ÚHEL	CO	0.000
START. BOD	SX	25.000
START. BOD	SY	20.000
START. BOD	SZ	-100.000
KONC. BOD ŘEZU	EX	21.651
SMĚR OFFSET OF		PRAVÁ



13. Krok – nadefinování všech bodů

M KONTÚRA-STRANA			
		Y	Z
	START. BOD	20.000	-100.000
▶	ČELO	-20.000	-100.000

14. Krok – opakování cyklu

ŠABLONA-Y ST M KONTF			
OPAKOVAT Č.	NM	<input type="text" value="6"/>	
C ROZTEČ	AC	<input type="text" value="60.000"/>	