

Návrh a výroba trnu pomocí CNC obrábění

Filip Vápeník

Bakalářská práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Filip Vápeník
Osobní číslo:	T18230
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh a výroba trnu pomocí CNC obrábění

Zásady pro vypracování

- 1. Teoretická studie na dané téma**
- 2. Návrh a příprava modelu pro programování**
- 3. Programování modelu**
- 4. Výroba na obráběcím centru NTX 1000**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ŠTULPA, Miloslav. CNC: programování obráběcích strojů. Praha: Grada, 2015. ISBN 9788024752693.

YU, Ben-fong a Jenq-shyong CHEN. Development of an Analyzing and Tuning Methodology for the CNC Parameters Based on Machining Performance. Applied Sciences [online]. 2020, 10(2702), 2702-2702 [cit. 2020-04-21]. DOI: 10.3390/app10082702. ISSN 20763417.

SMID, Peter. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, c2008, xx, 540 s. ISBN 9780831133474. Dostupné také z: <http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip084/2007045901.html>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radoslav Milde**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje moderní výrobní proces třískového obrábění na pětiosém CNC soustružnicko - frézovacím centru.

Teoretická část rozebírá od základů pojmy technologie obrábění včetně konkrétních metod soustružení a frézování. Dále popisuje problematiku CNC strojů od její historie až po konstrukci a programování.

Praktická část byla zaměřena na návrh a výrobu trnu. Byl zde sestaven detailní technologický postup včetně použitých nástrojů. V závislosti na tomto postupu byl vytvořen program pomocí metody dílenského programování v systému Celos, podle kterého byl následně zhotoven konečný tvar součásti.

Klíčová slova: soustružení, frézování, CNC stroj, programování

ABSTRACT

This bachelor thesis describes a modern production process of machining on a five - axis CNC turning - milling center.

The theoretical part analyzes from the ground up the concepts of machining technology, including specific methods of turning and milling. It further describes the issue of CNC machines starting with their history, continuing with design and programming.

The practical part was focused on the design and production of the mandrel. A detailed technological procedure was compiled here, including the tools used. Relying on this procedure, a program was created using the workshop programming method in the Celos system, according to which the final shape of the part was subsequently made.

Keywords: turning, milling, CNC machine, programming

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Radoslavu Milde za odborné rady a profesionální přístup, který mi během zpracování bakalářské práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Dále také prohlašuji, že na bakalářské práci (dále jen BP) jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval a zmínil na konci této BP. Modely a výkresová dokumentace, které byli předmětem této BP, byli vytvořeny v softwaru s platnou licencí .

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ	12
1.1 TECHNOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY OBRÁBĚCÍHO PROCESU	12
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY	12
2 TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ	14
2.1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA SOUSTRUŽENÍ	14
2.2 METODY SOUSTRUŽENÍ	15
2.2.1 Podélné soustružení válcových ploch	15
2.2.4 Zapichování, upichování	17
2.2.5 Soustružení závitů	17
2.2.7 Metoda PrimeTurning	17
2.3 NÁSTROJE	18
2.4 ŘEZNÉ PODMÍNKY	20
3 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ	21
3.1 KINEMATIKA OBRÁBĚCÍHO PROCESU FRÉZOVÁNÍ	21
3.2 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ	22
3.3 FRÉZOVAČÍ NÁSTROJE	23
4 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE	24
4.1 VZNIK A VÝVOJ ČÍSLICOVĚ OBRÁBĚCÍCH ŘÍZENÝCH STROJŮ	24
4.2 KONSTRUKCE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH STROJŮ	25
4.3 REŽIMY PRÁCE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH STROJŮ	28
4.4 ČÍSLICOVĚ ŘÍDÍCÍ SYSTÉM	28
4.5 DĚLENÍ CNC STROJŮ PODLE ZPŮSOBU ŘÍZENÍ	29
4.5.1 Soustružnicko – frézovací centrum	29

5	ZÁKLADY PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	30
5.1	SOUŘADNÉ SYSTÉMY CNC STROJŮ	30
5.1.1	Kartézský souřadný systém.....	30
5.2	ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ PRO TVORBU CNC PROGRAMŮ.....	31
5.3	VZTAŽNÉ BODY CNC STROJŮ	32
6	CNC PROGRAM	34
6.1	VYTVOŘENÍ CNC PROGRAMU	34
6.2	STRUKTURA CNC PROGRAMU.....	34
6.3	POSTUP VYTVÁŘENÍ CNC PROGRAMU.....	35
7	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
8	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	38
9	OBRÁBĚCÍ CENTRUM	39
10	PROGRAMOVÁNÍ.....	40
10.1	SYSTÉM CELOS	41
10.2	POSTUP PROGRAMOVÁNÍ.....	41
10.2.1	Charakteristika polotovaru	41
10.2.2	Volba obráběcích cyklů.....	41
10.3	PRVNÍ PROGRAM	42
10.3.1	Zarovnání čela	43
10.3.2	Soustružení tvaru součásti.....	44
10.4	DRUHÝ PROGRAM.....	46
10.4.1	Soustružení celkové délky.....	46
10.4.2	Frézování rovinné plochy.....	47
10.5	SIMULACE	49
11	PŘÍPRAVA VÝROBNÍHO PROCESU.....	50

11.1	UPNUTÍ POLOTOVARU	50
11.2	NASTAVENÍ NULOVÉHO BODU OBROBKU	51
12	VÝROBNÍ PROCES	52
12.1	VÝROBA	52
12.2	OPTIMALIZACE	53
	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM TABULEK	60
	SEZNAM PŘÍLOH	61

ÚVOD

Cílem tohoto tématu byl teoretický rozbor daných problémů týkajících se technologie třískového obrábění s využitím konkrétních metod soustružení a frézování. Kdy se krátká část zabývá revoluční myšlenkou v oblasti soustružení, kterou je metoda PrimeTurning neboli soustružení ve všech směrech. Následně došlo k popisu moderních strojů, na kterých byly tyto metody aplikovány. V závislosti na teoretickém rozboru mohla být pomocí této technologie vyrobena navrhnutá součást.

Přínosem bakalářské práce je detailní popis moderní výroby na obráběcím centru. Při výrobě této součásti na samostatných soustružnických či frézovacích strojích ať už konvenčních nebo číslicově řízených by došlo k problému, kdy by musela být každá strana součásti obráběna na jiném typu stroje. Použitím tohoto centra, které umožňuje využití více obráběcích metod současně byl tento problém odstraněn a tím zvýšena produktivita a následně snížena náročnost výroby. Při sériově výrobě těchto součástí by dalším problémem mohlo být sledování časové náročnosti výrobního procesu, kdy by pomocí optimalizace mohla být snížena doba jednotlivých cyklů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Vědní obor technologie obrábění studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti s faktory obráběcího procesu. Tento proces se realizuje v systému, který lze členit na podsystemy jednotlivých strojů, řezných nástrojů, manipulačních prostředků a obráběcího prostředí [1].

1.1 Technologické charakteristiky obráběcího procesu

Při obrábění dochází k fyzikálně-mechanickému procesu odebrání materiálu obrobku. Podle způsobu odebrání materiálu lze řezný proces rozlišit na kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). Řezný proces probíhá za předem daných řezných podmínek [1].

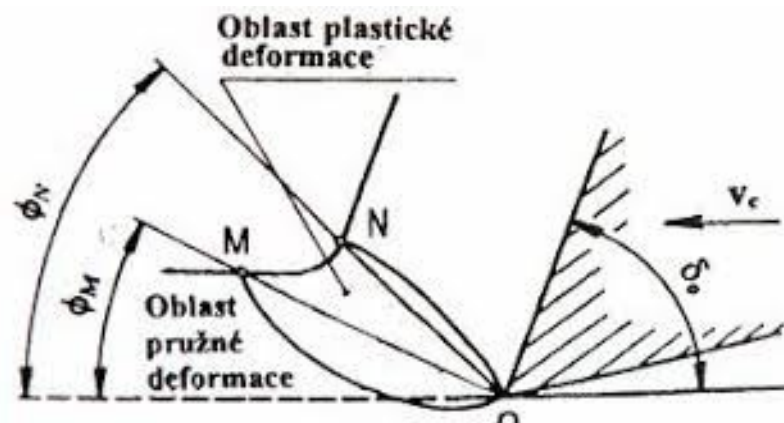
1.2 Základní pojmy

Polotovár je nedokončený výrobek, který je určen k obrábění. Každá nehotová součást je z hlediska uskutečněných výrobních činností výrobkem, ale z hlediska dalších činností polotovarem.

Obrobek je částečně nebo úplně obrobená součást.

Nástroj ve vzájemném působení s obrobkem realizuje řezný proces. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, a rozměry ostří. Řezná část je funkční částí nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku, kterými jsou zejména ostří, čelo a hřbet. Pokud se jedná o vícebřítý nástroj má každý zub svou řeznou část. Základna je plochý prvek stopky nástroje, který bývá zpravidla rovnoběžný nebo kolmý k základní rovině nástroje. Slouží pro umístění a orientaci nástroje při jeho výrobě, kontrole a ostření, ne u všech nástrojů je jednoznačně určena základna. Břit je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem nástroje, může být spojený jak s hlavním, tak i s vedlejším ostřím.

Průběh tvorby a oddělování třísky závisí na vícero činitelích, kterými jsou zejména fyzikální vlastnosti obráběného materiálu a jejich závislosti na podmínkách plastické deformace. Druh třísky určuje poměr meze pevnosti v tahu R_m , meze kluzu ve smyku R_{es} a meze pevnosti ve smyku R_{ms} [1,2,3].



Obr. 1 - Oblast plastických deformací v odřezávané vrstvě [1]

2 TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ

Soustružení je metoda třískového obrábění, která se používá pro zhotovení tvaru rotačních součástí. Při soustružení se zpravidla používají jednobřité nástroje, které mají vícero provedení. Soustružení z mnoha hledisek představuje nejjednodušší a také nejpoužívanější metodu obrábění [1].

2.1 Technologická charakteristika soustružení

Při soustružení je obvykle hlavním pohybem rotační pohyb obrobku, přičemž jeho rychlost je zároveň řeznou rychlostí v_c .

Vedlejší (posuvný) pohyb je přímočarý, většinou ho vykonává nástroj a rychlost tohoto pohybu se stanoví dle řezných sil.

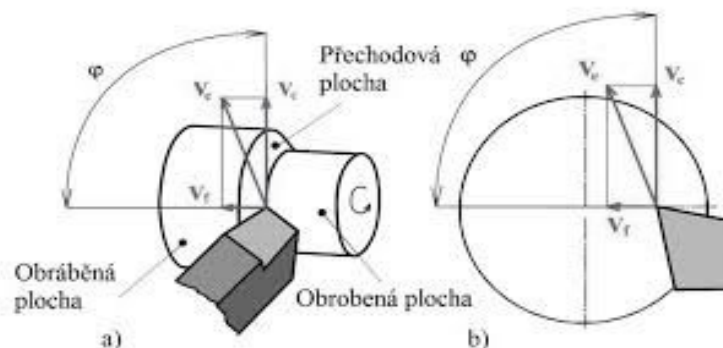
Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici, při soustružení čelní plochy po Archimédově spirále a při soustružení rotační plochy po prostorové křivce [1].

Rychlost řezného pohybu v_e je dána rovnicí:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (1)$$

v_c – řezná rychlost [m/min]

v_f – posuvová rychlost [mm/min]



Obr. 2 - Vektory pohybů při soustružení [1]

2.2 Metody soustružení

Pomocí soustružení se vyrábí vnější a vnitřní válcové nebo kuželové plochy. Na soustružnických strojích lze také vrtat, řezat závity, případně provádět další práce (vroubkování, válečkování) [4,8].

2.2.1 Podélné soustružení válcových ploch

Při podélném soustružení vnějších válcových ploch probíhá posuvný pohyb soustružnického nástroje podél osy obráběné součásti, tímto pohybem dochází ke zmenšení jejího průměru. Můžeme jej rozdělit na hrubování a soustružení na čisto (hlazení).

Při hrubování je účelem odebrat co největší vrstvu materiálu za co nejkratší možnou jednotku času bez ohledu na přesnost a jakost povrchu obrobené plochy.

Při soustružení na čisto se odebírá pouze malá vrstva materiálu v desetinách mm. Hlavním účelem je dodržení předepsané přesnosti a jakosti povrchu obráběné součásti. K dosažení drsnosti povrchů od $R_a = 0,8$ až $1,6$ do $R_a = 0,4$ až $0,8$ musí být posuv $1/3$ až $1/4$ délky přímočarého úseku ostří, ale pro povrchy $R_a = 1,6$ až $3,2$ může být posuv $2/3$ až $1/2$ uvedené délky. Hloubka řezu se volí od $0,3$ do $0,5$ mm pro první záběr a nanejvýš $0,1$ mm pro záběr druhý. Řezná rychlost je větší než při hrubování.

Při podélném soustružení vnitřních válcových ploch probíhá posuv podél osy v již vyvrtané díře obráběné součásti, což znamená, že dochází ke zvětšování průměru díry [4,5,8].

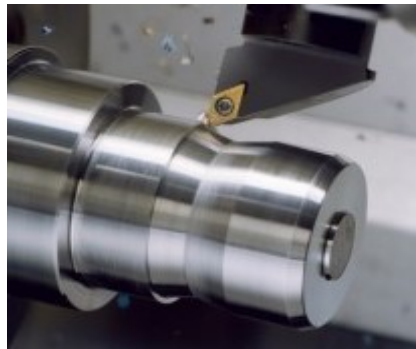


Obr. 3 - Podélné soustružení vnějších a vnitřních válcových ploch [6]

2.2.2 Soustružení tvarových a kuželových ploch

Tyto plochy obvykle bývají zakřivené, vypouklé nebo vyduté. Dle složitosti ploch je lze soustružit noži při sdruženém pohybu posuvů nebo kopírováním, lze také použít speciální tvarové nože. Tyto nástroje jsou v důsledku střídání směru obrábění a měnícího se průměru vystaveny velkým změnám namáhání a hloubky řezu.

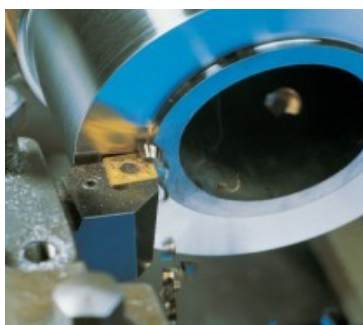
Při podélném soustružení kuželových ploch musí být dle požadavku nastaven úhel sklonu kužele. Lze ho nastavit několika způsoby např. pootočením nožových saní, pomocí vodícího pravítka nebo vyosením koníku z osy soustružení [5].



Obr. 4 - Tvarové soustružení [6]

2.2.3 Čelní soustružení

Při soustružení čelní plochy se nástroj příčně posouvá po konci obráběné součásti směrem do její osy. Vznikají větší drsnosti na obráběné ploše za stejných řezných podmínek jako u podélného soustružení. Příčinou je zmenšující se řezná rychlost od obvodu ke středu obráběné plochy. Při špatném nastavení nože, nebo špatném nastavení řezných podmínek může dojít k tvorbě vypouklin nebo prohlubní [5,8].



Obr. 5 - Čelní soustružení [6]

2.2.4 Zapichování, upichování

Zapichováním se vytváří drážky různého profilu na vnějším obvodu obrobku nebo v otvorech.

Při upichování je soustružením oddělován obrobek od polotovaru, nebo je materiál rozřezán na několik kusů [5,8].

2.2.5 Soustružení závitů

Vnější závity na soustruhu lze vyrábět dvěma způsoby podle požadovaného rozměru a typu závitu. Tyto způsoby jsou řezání závitu závitovými čelistmi nebo soustružnickým nožem.

Řezání závitu pomocí závitových čelistí se používá u menších profilů závitu a jedná se o jednodušší metodu výroby. Závitové čelisti se upínají do držáků - (vratidel) ve kterých se zajišťují stavěcími šrouby.

Řezání závitu pomocí soustružnického nože lze provádět pouze na univerzálních hrotových soustruzích, které jsou vybaveny vodícím šroubem. Jedná se o složitější způsob řezání závitů, protože musí být předem nastaveny podmínky pro posuv nože a nelze závit vyřezat na jeden záběr, protože by došlo k deformaci. Používá se u větších profilů závitů.

Vnitřní závity na soustruhu se běžně vyrábějí pomocí závitníků, další způsob je pomocí závitorezné hlavy. Vnitřní závit je také možné řezat pomocí soustružnického nože, ale vzhledem ke složitosti je použití tohoto způsobu velmi malé [5,8].

2.2.6 Vrtání

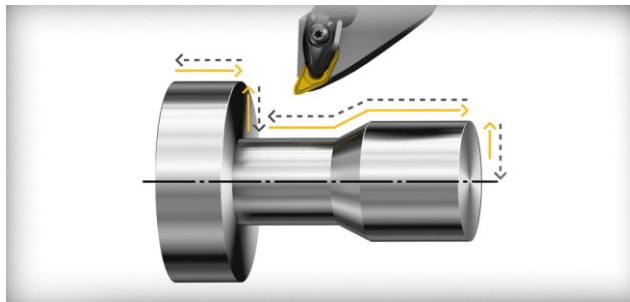
Vrtáním do materiálu vytváříme díry. Při vrtání na soustruhu koná hlavní pohyb nástroj - (vrták), který je upnutý v koníku a vedlejší rotační pohyb vykonává obrobek. Před vrtáním je nutné díru předvrtat a vystředít pomocí středícího důlku, který zajistí souosost osy vrtáku s osou soustružení.

Dalším úkonem po vrtání může být vyvrtávání - při kterém dochází ke zvětšování již předvrtané díry. Vyhrubování a vystružování slouží ke zlepšení jakosti a přesnosti díry [4,5,8].

2.2.7 Metoda PrimeTurning

Metoda vyvinutá společností Sandvik Coromant, která představuje zcela nový revoluční výrobní postup a od základu mění pojem soustružení. Ve srovnání s konvenčními metodami

nabízí flexibilitu soustružení ve všech směrech. Umožňuje použití vyšší řezné rychlosti a posuvu, tím dochází ke zvýšení efektivity a produktivity celého procesu až o 50 % při zachování stejně přesných tolerancí. Dále umožňuje velmi dobrou kontrolu utváření třísek a také podstatně delší životnost nástrojů [23]



Obr. 6 – PrimeTurning [6]

2.3 Nástroje

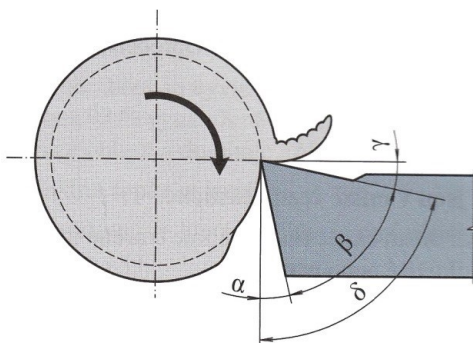
Při soustružení se používá široká škála nástrojů. Hlavním používaným nástrojem je soustružnický nůž [4].

Soustružnický nůž

Soustružnický nůž může být na soustruhu upnut pomocí nožové nebo revolverové hlavy. Ostří soustružnického nože při obrábění vniká do materiálu a tím z něj odděluje třísky.

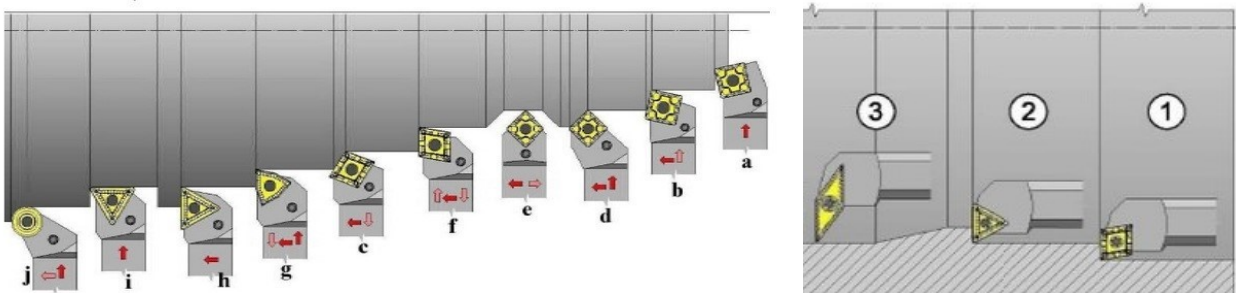
Z hlediska geometrie soustružnického nože se jeho tvar vyrábí podle způsobu obrábění. Hlavními závislostmi jsou tvar a materiál obrobku. Řezné úhly se volí tak, aby mělo ostří co největší životnost a aby bylo možno docílit požadované kvality povrchu obráběné součásti. Geometrie také dále závisí na velikosti řezného odporu a tuhosti soustruhu. Velikosti jednotlivých řezných úhlů se určují dle tabulek.

Základními řeznými úhly nože jsou úhel hřbetu α , břitu β , čela λ a řezu δ [7].



Obr. 7 - Geometrie soustružnického nože [6]

Soustružnické nože můžeme rozdělit například podle tvaru soustružnického tělesa na přímé, ohnuté a stranové. Můžeme je také rozlišit podle směru řezu na pravé a levé, nebo obousměrné. Dále podle místa záběru na vnější a vnitřní. Tvary držáků nástrojů a břitových destiček jsou přesně stanoveny mezinárodní normou ISO. V dnešní době roste využití nožů s mechanicky upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami, které mají obvykle více břitů. Po opotřebení všech břitů jedné destičky se jednoduše vymění za jinou [7,8].



Obr. 8 - Přehled soustružnických nožů

a – ubírací čelní, b – ubírací přímý, c – ubírací přímý, d – ubírací ohnutý, e – ubírací oboustranný, f – rohový, g – rohový, h – ubírací stranový, i – hladicí, j – rádiusový, 1 – vnitřní ubírací, 2 – vnitřní rohový, 3 – vnitřní kopírovací [9]

Pro metodu PrimeTurning bývá využíváno dvou typů speciálních nožů, které umožňují dosažení mimořádné produktivity.

Nástroj CoroTurn Prime typu A využívá rohy s úhlem 35° a je určen pro lehké hrubování, dokončování a tvarové obrábění. Nůž typu B se dvěma extrémně odolnými rohy byl navržen speciálně pro hrubovací obrábění [23].



Obr. 9 - Soustružnický nůž CoroTurn typu A a typu B [23]

Vrtáky

Vrtáky se volí podle druhu materiálu, který je vrtán. Pro přesnost vrtání je vždy zapotřebí zkontrolovat kvalitu vrtáku, především jeho nabroušení a uchycení.

Mezi základní druhy vrtáků se řadí:

Šroubovitý vrták - nejrozšířenější a nejpoužívanější vrták. Pomocí šroubovitě drážkového těla je umožněno účinné oddělování třísek a zároveň dobré chlazení místa řezu. Úhel sklonu šroubovice k ose vrtáku se pohybuje od 10 do 45°, který závisí na vrtaném materiálu.

Dělový vrták - vrták využívaný pro vrtání dlouhých, přesných a přímých děr.

Středící vrták - je vyznačován značnou tuhostí. Používá se pro vyvrtání středících důlků a k vrtání krátkých děr [7].

2.4 Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c používaná při soustružení závisí na vlastnostech obráběného materiálu, rezných vlastnostech materiálu nástroje, jmenovitému průřezu třísky a zvolené trvanlivosti břitu.

Posuv na otáčku f se volí v závislosti na tuhosti obrobku a v závislosti na požadovaných parametrech struktury povrchu obrobene plochy [1].

Tab. 1 - Orientační hodnoty posuvů pro různé typy operací [1]

Hrubování	Soustružení na čisto	Jemné soustružení
$f = 0,4 \div 0,7mm$	$f = 0,06 \div 0,3$	$f = 0,005 \div 0,05$

Šířku záběru ostří a_p limitují mechanické vlastnosti obráběného materiálu, tuhost obrobku a způsob obrábění. Z ekonomického hlediska se volí tato šířka co největší a pokud možno tak, aby celý přídavek na obrábění mohl být odebrán na jeden záběr [1].

3 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

Při frézování dochází k odebrání materiálu břitou otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná obrobek, převážně ve směru kolmém v ose nástroje. Moderní frézovací stroje nabízejí plynule měnitelnou výměnu posuvných pohybů, kterou je možné realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, CNC frézky).

V závislosti na aplikovaném nástroji se z technologického hlediska frézování rozlišuje na frézování válcové (obvodem frézy) a frézování čelní (čelem frézy). Od těchto základních způsobů se odvozují další způsoby frézování, kterými mohou například být frézování planetové, nebo frézování okružní [1,4,8].

3.1 Kinematika obráběcího procesu frézování

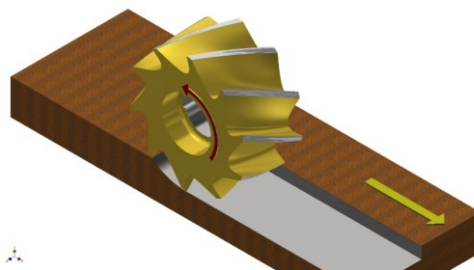
Kinematika obráběcího procesu rozlišuje frézování na dva způsoby, kterými jsou frézování sousledné a frézování nesousledné [1,8].

Sousledné frézování

Při sousledném frézování se otáčí fréza ve směru posuvu, zuby se přitom postupně zařezávají do maximální tloušťky, díky tomu se tříska postupně zmenšuje a tím rapidně klesá namáhání břitu.

Výhodami sousledného frézování je například hladší obrobená plocha, příznivé působení řezné síly nebo také vyšší trvanlivost nástroje.

Nevýhodami sousledného frézování bývají například velké silové rázy (je možné je odstranit použitím šikmých zubů), velké požadavky na tuhost soustavy stroj – nástroj – obrobek [1,8,10].



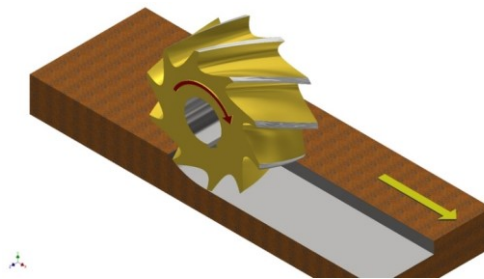
Obr. 10 - Sousledné frézování [9]

Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování se fréza otáčí proti směru posuvu a průřez třísky se postupně zvětšuje od nuly do maximální tloušťky.

Hlavní výhodou nesousledného frézování je menší nebo žádné působení rázů při obrábění a tím pádem klidnější záběr břitů, dalšími výhodami jsou nižší požadavky na tuhost soustavy stroj - nástroj - obrobek.

Nevýhodami mohou být nižší kvalita obrobené plochy, nepříznivé působení řezné síly a také nižší trvanlivost nástroje [1,8].



Obr. 11 - Nesousledné frézování [9]

3.2 Základní způsoby frézování

Při frézování je řezný proces přerušovaný, jednotlivé zuby přitom postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísky proměnných průřezů. Ideálním způsobem z hlediska chvění je, záběr více břitů s obrobkem současně [10].

Frézování obvodem frézy

Při frézování obvodem válcové frézy reže nástroj zuby, které má na svém obvodu. Obvykle bývá osa nástroje rovnoběžná s obrobenou plochou.

Stroj bývá nerovnoměrně zatížen ubíráním třísky, proto může docházet k nepatrnému obvodovému házení, na frézované ploše pak vzniká vlnitá stopa [10].

Frézování čelem frézy

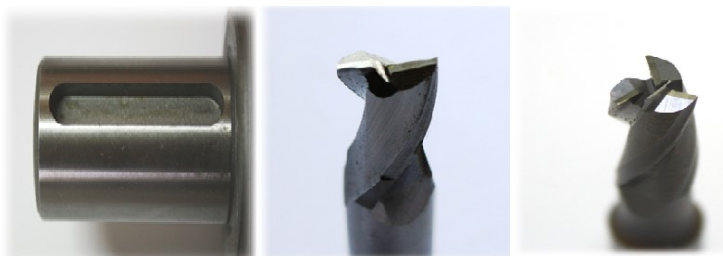
Při frézování čelem reže nástroj současně zuby, které má umístěné na svém obvodu a čele. Stroj bývá rovnoměrně zatížen a díky tomu bývá využíván vyšší řezný výkon a frézovaná plocha má větší kvalitu povrchu. Tento způsob frézování bývá upřednostňován před ostatními způsoby [10].

Frézování výřezů a drážek

Podle funkce mívají drážky více druhů tvarů a vyskytují se na různých strojích a technologických zařízeních. Tyto plochy můžou být v konečném tvaru uzavřené či otevřené, průchozí nebo neprůchozí. Drážky mohou mít tvary (pravoúhlé, tvarové, úhlové, souměrné, nesouměrné, rybinové atd.) [10].

Frézování drážek pro pero

Při frézování drážek pro pero se používají čelní válcové (stopkové) frézy. Drážka se frézuje dle hloubky a řezných podmínek na jeden nebo více záběrů [10].



Obr. 12 - Frézování drážek na hřídeli [9]

3.3 Frézovací nástroje

Z hlediska charakteristiky jsou frézy vícebřité rotační nástroje. Břity jsou vytvořeny na povrchu základního tělesa, kterým nejčastěji bývá válec či kužel. Hlavním pohybem frézy je pohyb rotační (otáčivý)

Výroba fréz je možná pomocí více technologií a frézy jsou vyráběny v mnoha druzích a velikostech. Tvary a velikosti nejpoužívanějších fréz jsou normalizovány.

Frézy lze rozdělit podle mnoha parametrů v závislostech na geometrii, tvaru, upínání, konstrukce nebo technologii výroby. Např. podle plochy, na níž jsou vytvořeny břity (válcové, čelní válcové, kulové apod.) [7,8].

4 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE

Hlavní charakteristikou číslicově řízených obráběcích strojů je ovládání pracovních funkcí stroje řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které jsou nazývány bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby výroba požadované součásti proběhla dle pořadí technologického postupu zadaném po jednotlivých blocích, které jsou napsány v NC kódu [11].

- CNC (Computer Numerical Control) - Stroj řízený počítačem.
- NC (Numerical Control) - Číslicově řízený stroj [**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**].

4.1 Vznik a vývoj číslicově obráběcích řízených strojů

Moderní pilíř výroby počítačového řízení neboli CNC, sahá až do 40. let 20. století, kdy se objevili první stroje s numerickým řízením neboli NC. Stroj byl ve skutečnosti použit k nahrazení ruční výroby a ke zvýšení přesnosti. Postupem času koncept převzal moderní CNC výrobní stroj [13].

Stroje 1. generace

Mechanická část strojů byla stejná jako u konvekčních obráběcích strojů a dále byla doplněna řídicím systémem. Nositelem programu byla děrná nebo magnetická páska a šítek. Umožňují řízení v pravoúhlých cyklech [13].



Obr. 13 - Děrná páska [14]

Stroje 2. generace

Mechanická část strojů je již upravena pomocí zásobníku nástrojů. Stroje jsou vybaveny servosystémy a umožňují řízení v obecných cyklech [13].

Stroje 3. generace

K pohonu posuvů se používají kuličkové šrouby, jsou použity velkoobjemové zásobníky nástrojů řízené počítačem, pro zlepšení přesnosti je lože vybaveno kalenými lištami. Jsou řízeny počítačem, který současně realizuje i další úkoly [13].



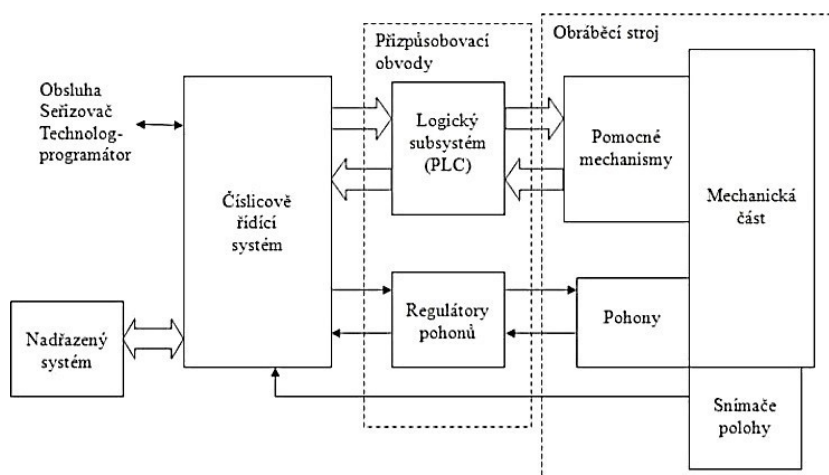
Obr. 14 - Řez kuličkovým šroubem s ukázkou oběhu kuliček [15]

Stroje 4. generace

Adaptivní řízení celého výrobního procesu. Systém sleduje výstupy při obrábění, hodnoty se vyhodnocují a systém sám vyhledá takové řezné podmínky, které zaručí požadovaný průběh [13].

4.2 Konstrukce číslicově řízených strojů

NC stoj je složitý strojní systém tvořený jednotlivými subsystemy na principech mechanických, elektrických a hydraulických. [16].



Obr. 15 - Blokové schéma číslicově řízeného stroje [17]

Mechanická část

Mechanická část NC stroje závisí na typu stroje a jeho technické realizaci. Je tvořen různými konstrukčními skupinami (lože, stůl, stojan, vřeteník, převodová skříň, vřeteno apod.). Tyto konstrukční skupiny jsou zpravidla tvořeny litinovými odlitky, které mají potřebné vlastnosti pro přenos zatěžujících sil z hlediska deformací a tlumení chvění. Hlavními požadavky pro mechanickou část stroje jsou především tuhost soustavy a umožnění snadné obsluhy a údržby. Dále musí umožňovat dobrý odvod tepla, třísek apod. Součástí mechanického řešení NC stroje jsou vodící plochy, jejich kvalita a provedení má přímý vliv na přesnost stroje.

Nejčastěji používanými typy vodících ploch jsou vedení kluzná s polosuchým třením, vedení kluzná hydrodynamická a vedení valivá [16,17].

Snímače polohy

Důležitou částí NC stroje jsou snímače polohy, které podstatně ovlivňují výslednou přesnost stroje. Snímače polohy jsou součástí odměřovacího zařízení. Odměrování u NC systémů je součástí diferenčního členu. Na vstupu do diferenčního členu jsou informace z výpočetní části řídicího systému o požadovaných pokynech ve tvaru řídicích inkrementů. Na výstupu z diferenčního členu jsou informace pro servomechanizmy, které závisí na řadě dalších informací, především na informaci ze snímače polohy. Dle umístění snímače polohy na stroji můžeme rozdělit způsoby odměřování na přímé a nepřímé. Další rozdělení je závislé na principu odměřovacího zařízení [17].

Pohony

Pohony slouží jako zařízení, které umožňuje nastavení otáček na hodnotu optimální řezné rychlosti. Dle typu pohonu lze nastavení otáček provádět stupňovitou nebo plynulou změnou. Pro optimální nastavení řezné rychlosti slouží plynulá změna otáček, stupňovitá změna otáček umožní nastavení řezné rychlosti s určitou chybou. Pohony mohou být rozděleny na střídavé (AC) a stejnosměrné servopohony (DC). Charakteristikami těchto systémů jsou poměrně malé rozměry, menší hmotnost, vysoká účinnost a bezporuchový provoz. U obráběcího stroje se pohony dělí na hlavní a vedlejší.

Pohony hlavní slouží k uskutečnění hlavního řezného pohybu. Tento pohon vyvozuje řeznou sílu ve směru řezání a zabezpečuje optimální řeznou rychlost. Mimo tyto funkce musí pohon zabezpečit další funkce:

- zajistit nastavení řezných rychlostí v dostatečně velkém rozsahu;

- umožnit nastavení optimální řezné rychlosti s dostačující přesností (asi 1 %) a tuto rychlost udržovat bez ohledu na zatížení;
- zabezpečit potřebný výkon pro řezný pohyb;
- zabezpečit rychlé zajištění řezného pohybu;
- zabezpečit při vypnutí pohonu rychlé zabrzdění;
- zajistit konstantní řeznou rychlost v závislosti na měnícím se poloměru obrábění.

Pohony vedlejší zabezpečují další funkce NC stroje:

- pohony posuvů včetně rotačních souřadnic;
- otáčení revolverových hlav
- pohon dopravníku pro odvod třísek atd. [16,17].

Pomocné mechanizmy

Pomocné mechanizmy u NC strojů slouží pro realizaci potřebných činností a funkcí stroje. Můžou jimi být např. hydraulická zařízení, zařízení pro mazání apod.

Hydraulické zařízení je zdrojem tlakového oleje a tvoří zpravidla samostatný typizovaný celek. Využívá se k ovládní pomocných funkcí nejen samotného NC stroje, ale i k ovládní jeho příslušenství. Součástí hydraulického zařízení je zdroj tlakového oleje – hydrogenerátor, rozvod systémem hadic, ocelové trubky, rozvodné kostky a řídicí ventil.

Zařízení pro mazání tvoří samostatný celek, který tvoří tlakové čerpadlo, olejová nádrž, rozvod tlakového oleje a kontrolní systém. Používá se pro mazání kluzných ploch suportů, kuličkových šroubů apod. a to buď v automatickém nebo méně používaném ručním režimu [16,17].

Logický systém (PLC)

Logický systém je podřízen číslicovému řízení a je nazýván také jako tzv. přizpůsobovací obvod. Jeho řešení spočívá v programovatelném zařízení na bázi automatu - PA (PLC - Programmable Logic Controller), které na bázi vstupních signálů řeší logické funkce. Logický systém není součástí řídicího systému, ale je s ním propojen a existuje mezi nimi neustálá komunikace.

Kromě výkonných regulátorů pohonů obsahuje logický subsystém, řídicí pomocné mechanismy stroje a také předává řídicímu systému zpětná hlášení o stavu stroje a chybová hlášení. Subsystému PLC podléhá vlastní mechanika NC stroje [17].

4.3 Režimy práce číslicově řízených strojů

Režimy práce slouží ke komunikaci uživatele s řídicím systémem v předem definovaných podmínkách.

Ruční režim slouží k umožnění práce s NC strojem pomocí tlačítek definujících směr pohybu a velikost posuvu (pracovní posuv, rychloposuv). Dále umožňuje ovládání zapnutí otáček vřetena nebo jeho zastavení, nastavení stroje do pracovní polohy, spuštění nebo vypnutí chladicí kapaliny a další funkce.

Automatický režim vykonává postupně jednotlivé řídicí bloky NC programu a automaticky provádí všechny činnosti stroje pro dosažení požadovaného technického výsledku.

Editační režim slouží k provádění změn v NC programu, který je načten do NC řídicího systému, nebo uložen na HD disk CNC řídicího systému. Editace zpravidla umožňuje změnu, přidání nebo odstranění jednotlivých adres nebo celých bloků. Editační režim obsahuje také příkazy pro hledání znaků nebo jejich řetězců.

Ruční předvolba je režim, ve kterém může operátor zadávat jednotlivé bloky ručně z klávesnice NC systému. Zadané bloky se mohou uložit do paměti (ruční příprava programu u NC stroje) nebo je také možné jejich přímé vykonání.

Referenční režim slouží k najetí do referenčního bodu přímo z řídicího panelu NC stroje.

Servisní a diagnostický režim povolí zkontrolovat systém nebo lokalizovat vzniklou vadu stroje [Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.,16,17,22].

4.4 Číslicově řídicí systém

Během posledních let prošli NC systémy vývojem od první generace založených na reléových a elektronkových obvodech, přes polovodičové systémy první generace k současným technologiím založených na integrovaných obvodech a mikroprocesorech k NC systémům třetí generace - CNC. Tyto systémy jsou charakteristické modulární strukturou, velkou operační pamětí a použitím pevného disku pro ukládání programů apod.

Jsou vybaveny softwarem na vysoké úrovni umožňující programování pomocí cyklů, podprogramů i dialogových režimů [16,Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.,22].

4.5 Dělení CNC strojů podle způsobu řízení

Vývoj v oblasti konstrukce NC strojů a jejich řídicích systémů umožnil zvýšení počtu řízených os (souřadnic) a přechod z pravoúhlého systému řízení na souvislý způsob řízení. Tento způsob navíc umožnil i dosažení lepších technologických výsledků především při opracování tvarových prostorových ploch.

Podle počtu řízených os lze NC stroje rozdělit na dvouosé (soustruhy), tříosé (frézky nebo obráběcí centra), čtyřosé (frézky nebo horizontální vyvrtávačky), pětiosé (frézky nebo obráběcí centra) nebo víceosé [16,17].

4.5.1 Soustružnicko-frézovací centrum

Obráběcí stroje, které představují prvotřídní třídu univerzálních soustružnických center. Na těchto soustružnických strojích lze v jednom nastavení dosáhnout až šesti-stranného soustružení a až pětiosého CNC frézování. Dalšími vybaveními mohou být dynamické lineární pohony a rychlé revolvery sloužící jako nosiče nástrojů nebo otočně namontované protivřeteno [Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.,16,22].



Obr. 16 – Pracovní prostor obráběcího centra DMG Mori NTX 1000 [19]

5 ZÁKLADY PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Samotné programování CNC strojů je náročná a vysoce kvalifikovaná činnost, která bývá řazena do oblasti technické přípravy výroby. Konečná kvalita řídicích programů je závislá na stupních znalosti programátora jím programovaných strojů a řídicích systémů. Nároky na kvalitu programátora zvyšují technická úroveň a složitost procesu.

Pro souvislé systémy, kde je zpravidla nutné předpokládat i větší množství řízených souřadných os, vyžaduje větší soustředěnost práce programátora a tím minimalizaci rizika výskytu chyb. Proto je pozornost kladena na možnost tvorby a generování řídicích programů pomocí počítačové podpory s orientací na použitelné vhodné software [1].

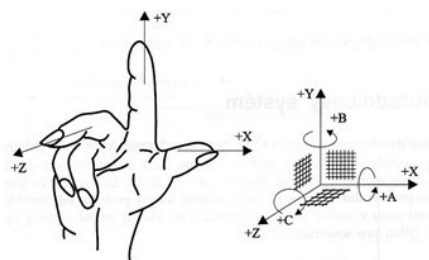
5.1 Souřadné systémy CNC strojů

Pro orientaci nástroje a obrobku v prostoru se využívá souřadných systémů. Souřadné systémy slouží k navedení nástrojů nebo obrobků k libovolně požadovanému bodu v prostoru. Pro správnou činnost číslicového řízení je zapotřebí jednoznačné určení souřadných os v pracovním prostředí CNC stroje [20].

5.1.1 Kartézský souřadný systém

Většina výrobních strojů využívá kartézský systém souřadnic, který je definován normou ČSN ISO „Terminologie os a pohybu“. Systém je pravotočivý, pravoúhlý a jeho základními osami jsou osy X, Y a Z, rotaci kolem těchto os značí A, B, C. Bývá využíváno i doplňkových os IJK a UVW, jejichž osy jsou rovnoběžné s osami základními. U kartézského souřadného systému vždy platí, že osa Z je ve směru osy vřetene, které přenáší řezný výkon, pro soustruh (vřeteno s obrobkem) a pro frézku (vřeteno s nástrojem). Hodnoty lze použít i v záporném poli souřadnic.

Počátek souřadnic kartézského systému je vkládán do nejvýhodnějšího místa obrobku, které bývá voleno dle kótování výkresu součásti a je nazýván nulový bod obrobku [11,20,22].



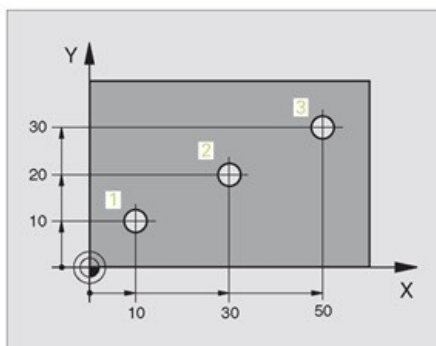
Obr. 17 - Definice kartézských souřadnic v pravotočivé soustavě [11]

5.2 Způsoby programování pro tvorbu CNC programů

Způsoby programování pro tvorbu CNC programů bývají psány pomocí kartézského systému souřadnic [11].

Programování absolutní

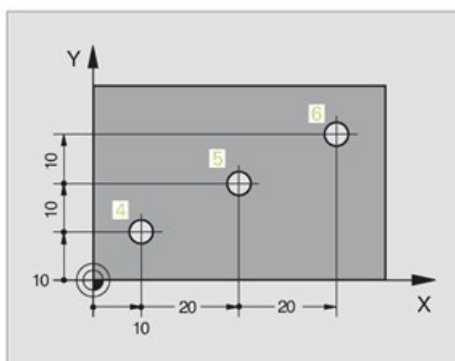
Počínající bod kartézských souřadnic je umístěn programátorem na co nejvhodnější místo obrobku. Tímto krokem je zvolen nulový bod obrobku, který má souřadnice X (0), Y (0) a Z (0). Absolutní způsob programování popisuje v blocích programu pohyb nástroje z počátečního do cílového bodu [11,22].



Obr. 18 - Programování absolutní [21]

Programování přírůstkové

Počátek kartézských souřadnic bývá umístěn na špičku nástroje (např. soustružnický nůž), nebo do osy rotace (např. vrták, fréza). Přírůstkové programování popisuje v bloku programu pohyb nástroje ze startovacího do cílového bodu ve smyslu o kolik v každé ose se má posunout nástroj. Může být nazýváno také jako programování inkrementální [11,22].



Obr. 19 - Programování přírůstkové [21]

Programování pomocí polárních souřadnic

Z určitého bodu kartézských souřadnic se stanoví délka pohybu U nástroje a úhel A . Příkaz může být zadán dvěma způsoby, a to z nulového bodu a z konce předchozího pohybu [11].

Programování parametrické

Parametrické programování využívá parametrů v blocích programu, ve kterých jsou vyjádřeny matematické funkce [11].

5.3 Vztažné body CNC strojů

Po zapnutí stroje aktivuje řídicí systém CNC stroje souřadnicový systém ve vlastním stroji. Pro práci stroje jsou důležité i další odvozené a vztažné (nulové) body, které mají své názvy.

Nulový bod stroje M bývá stanovován výrobcem stroje. Slouží jako výchozí bod pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. Soustruhy mají nulový bod stroje M umístěn v ose rotace na čele vřetene. Frézky mají tento bod obvykle umístěny v krajních polohách stolu frézky, v osách X , Y , Z .

Nulový bod obroku W bývá nastavován obsluhou nebo programátorem. Slouží k ztotožnění nulového bodu hotového programu s nulovým bodem polotovaru nebo obrobku.

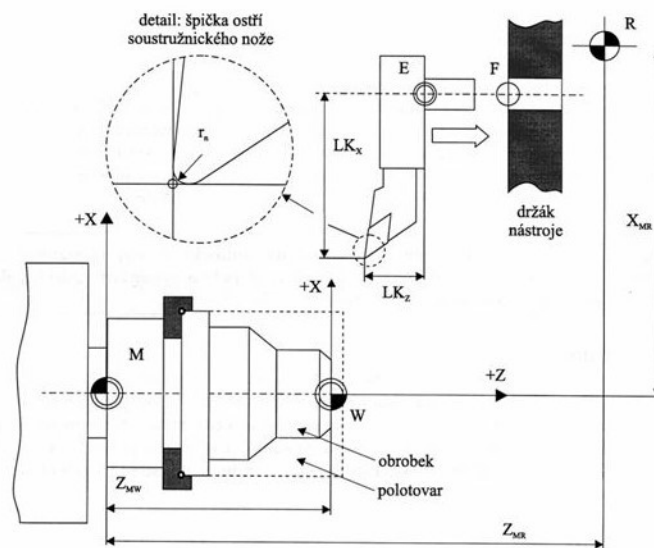
Referenční bod stroje R bývá stanoven výrobcem a je obvykle realizován koncovými spínači. Vzdálenosti nulového bodu stroje M a referenčního bodu stroje R jsou výrobcem stroje přesně odměřeny v osách souřadnicové soustavy stroje a vloženy do paměti řídicího systému jako strojní konstanty. Po najetí suporty do R zde řídicí systém dostane reference o své poloze a pokud je v aktivní poloze jeden z nástrojů, přičtou se k uvedeným souřadnicím i korekce tohoto nástroje z tabulky nástrojů. Při aktivní funkci $G54$ (a další) v řídicím systému, bere do výpočtu posunutí i souřadnicové soustavy.

Bod špičky nástroje P je nutný pro stanovení délkové korekce nástrojů, měří se z bodu nastavení nástroje E v osách kartézských souřadnic. Pro výpočet korekcí je také nutné změřit zaoblení špičky nože, resp. poloměr frézy.

Vztažný bod suportu nebo vřetene F je bod, do kterého se vkládá nástroj s jeho držákem. U soustruhu je umístěn na čele a v ose revolverové hlavy, u frézky je umístěn na čele vřetene a v ose její rotace. K bodu F se vztahuje délková korekce nástroje.

Bod nastavení nástroje E je bod na držáku nástroje, který se při upnutí do stroje ztotožní s bodem F. Je nutný pro zjištění korekcí nástroje mimo stroj na měřicím přístroji. Měření korekcí mimo stroj je více ekonomické, protože při měření korekce na stroji je stroj mimo provoz.

Bod výměny nástroje je určený programátorem s ohledem na stroj a používané nástroje, tak aby mohlo dojít k bezpečné výměně nástroje [11, **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, 18, 22].



Obr. 20 - Souřadnicový systém soustruhu a důležité body [11]

6 CNC PROGRAM

CNC program je technologický program, který popisuje, jak by měla vypadat konečná požadovaná součást. Je tvořen příkazy, podle kterých probíhá obrábění výrobku dle příslušných požadavků. CNC programy začínají hlavičkou a lze do nich psát textovou poznámku, např. název programu [12].

6.1 Vytvoření CNC programu

Na CNC obráběcích strojích nabízených v současnosti jak u nás, tak i ve světě lze obrábět pomocí tři základních způsobů. Prvním způsobem je obrábění na základě ručně napsaného NC kódu. Další způsob funguje na základě dialogu operátora se strojem tzv. dílenské programování, které je prováděno přímo na pracovišti přes obrazovku řídicího systému CNC stroje. Posledním způsobem je použití NC programu vytvořeného NC programátorem pomocí CAD/CAM softwaru na externím počítači a nahraným do CNC stroje [12].

6.2 Struktura CNC programu

Strukturou CNC programu jsou tzv. bloky. Blok je složen z jednotlivých příkazů. Příkaz bývá složen z adresové a významové části [18].

Tab. 2 - Složení programu (v bloku) [11]

Příklad				Název
N40 G00 X100 Z-50				Blok (věta)
N40	G00	X100	Z-50	Příkaz (slovo)
N	G	X	Z	Adresa
40		00		Významová část
100		-50		Rozměrová část

Doporučené pořadí adres jednotlivých slov ve větě je N G (M) X Y Z F S T D. Toto pořadí není nutné dodržovat, záleží na řídicím systému. Slouží pro lepší přehlednost a kontrolu [11].

Tab. 3 - Seznam nepoužívanějších G a M funkcí [11]

Označení funkce	Název funkce	Použití
G33	Řezání závitu	Programátor určuje v programu v bloku každou třísku její rozdílnou hloubkou.
M00	Zastavení stroje	Použití v samotném bloku programu, po stisknutí tlačítka start obrábění pokračuje.
M03	Otáčky vřetene	V protisměru hodinových ručiček.
M04		Ve směru hodinových ručiček.
M06	Výměna nástroje	
M07,M08	Zapnutí čerpadla	Chlazení, mazání obrobku při obrábění (možnost použití více čerpadel).
M09	Vypnutí čerpadla	
M17	Konec podprogramu	Návrat do hlavního programu.
M30	Konec hlavního programu	Návrat na začátek hlavního programu.

6.3 Postup vytváření CNC programu

Před tvorbou samotného CNC programu je nutné provést 6 základních kroků, které mohou zabránit jakémkoliv ztrátě programu. Tato ztráta může nejčastěji nastat při nahrávání CNC programu do řídicího systému stroje.

Prvním krokem je určení operací, které mají být prováděny. Tento krok přímo závisí na složitosti požadovaného produktu. Úkolem programátora je určení ploch, které mají být obráběny, tento úkol nemusí být jednoduchý, pokud výrobní výkres součásti obsahuje více pohledů rozdělených na několik stránek. Druhým krokem je vyhotovení tzv. technologického postupu, který by měl obsahovat informace o pořadí obrábění. Třetím krokem je pomocí matematických vztahů určit všechny potřebné výpočty, kterými můžou být souřadnice, řezné podmínky apod. Čtvrtým krokem je zajištění všech upínacích prostředků. Jako příklady lze uvést orientaci přípravku na stole, upínky, umístění povrchů a konfigurace čelistí. Pátý krok obsahuje vše, co se týká řezných nástrojů, které budou pro obrábění použity. Tyto nástroje by měli být uvedeny v tzv. nástrojovém listu. Posledním šestým krokem je vytvoření konečné dokumentace, která má sloužit jako manuál pro operátory CNC strojů. Tato dokumentace by měla obsahovat informace k nastavení a výrobě.

Po těchto krocích je vytvořeno tzv. tělo programu, které se skládá ze dvou částí, kterými jsou hlavní program, který určuje jak a čím bude výroba probíhat a vedlejším podprogramem, který popisuje, na jakých souřadnicích bude obrábění probíhat.

Konečný blok, který by měl obsahovat funkci pro ukončení programu např. M30.

Po zhotovení programu následuje kontrola simulací, která poukazuje na kvalitu obráběného povrchu a možné vzniklé chyby při obrábění. Zkontrolovaný program je přenesen na CNC stroj a konečným bodem je samotná výroba součásti [12,22].

7 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část bakalářské práce studuje a zkoumá technologii třískového obrábění. Popisuje její metody, stroje a jejich programování.

Úvodem se zabývá obecným popisem této technologie, čím charakterizuje její základní pojmy a rezný proces.

Dále se zabývá konkrétními typy obrábění, kterými jsou soustružení a frézování. Přičemž popisuje konkrétní operace, které bývají na strojích pomocí těchto metod prováděny včetně při nich použitých nástrojů.

V následující části je kladen důraz na číslicově řízené obráběcí stroje. Popisuje jejich základní charakteristiku a význam. Zmiňuje také jejich vznik a vývoj, který je rozdělen do čtyř generací. Nejdelsí úsek této kapitoly popisuje konstrukční řešení těchto strojů.

Předposlední kapitola navazuje základním popisem jejich programování. Přičemž charakterizuje souřadné systémy, konkrétní způsoby tvorby programu a vztažné body.

Závěr teoretické části se zabývá samotným CNC programem. Konkrétně zmiňuje způsoby jeho vytváření a strukturu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

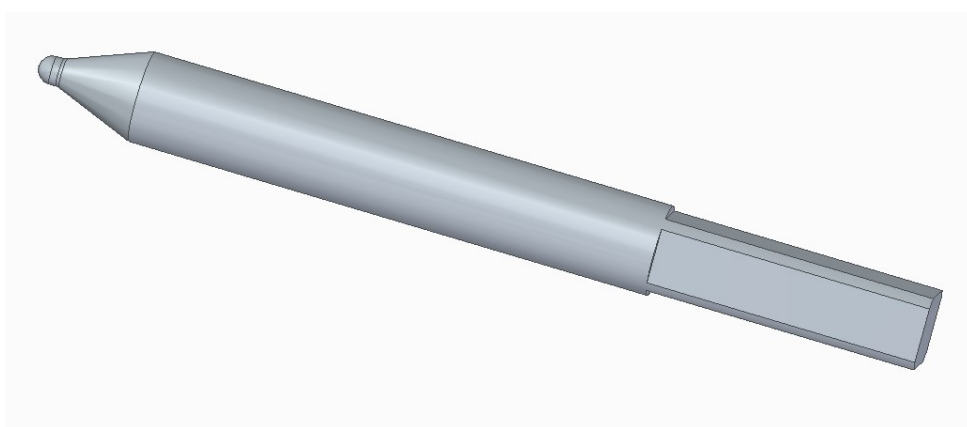
Cílem praktické části bakalářské práce je návrh a výroba tlačného trnu na soustružnicko-frézovacím centru, tak aby součást splňovala funkčnost a rozměry dle výkresové dokumentace. Materiálem součásti je nerezová ocel.

Základem bylo vytvoření výrobního postupu a promyšlení strategie pro obrábění. Další částí bylo dílenského programování výrobního procesu.

Jakmile bylo programování dokončeno následovala příprava a kontrola nástrojů potřebných pro obrábění.

Dalším krokem byl na pásové pile připraven polotovar o průměru 10 mm a délce 106 mm, ze kterého byl dílec vyroben.

Po výše uvedených úkonech následovala samotná výroba součásti a optimalizace řezných podmínek.



Obr. 21 - Vyráběná součást



Obr. 22 - Polotovar

9 OBRÁBĚCÍ CENTRUM

Výroba byla provedena na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru NTX 1000 od firmy DMG MORI. Stroj je vybaven vřetenem pro pětiosé simultánní obrábění s přímým pohonem v ose B a nástrojovým vřetenem Capto C5. Operačním systémem tohoto stroje je Celos.

Tab. 4 - Technické parametry stroje

Pracovní prostor	
Max. průměr soustružení	430 mm
Max. délka soustružení	800 mm
Max. vzdálenost mezi středy	1050 mm
Hlavní vřeteno	
Integrovaný motor vřetena s osou C	6000 ot/min
Max. pracovní průměr použité tyče	65mm
Frézovací vřeteno soustruhu	
Max. otáčky frézovacího vřetena	12 000 ot/min
Nástrojové vřeteno	
Max. počet nástrojových pozic	10
Max. otáčky vřetena rotačního nástroje	10 000 ot/min
Osa B	
Rozsah naklápění osy B	30° až 240°
Zásobník nástrojů	
Kapacita zásobníku nástrojů	38 nástrojů



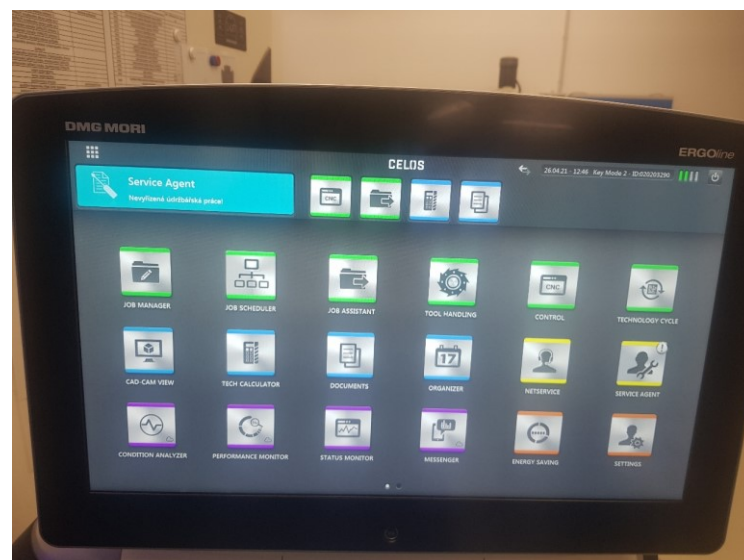
Obr. 23 - DMG MORI NTX 1000

10 PROGRAMOVÁNÍ

Program byl vytvořen přímo na stroji metodou tzv. dílenského programování v rozhraní systému Celos, kterým je stroj vybaven. Při tvorbě programu byli využity pouze cykly, které byly součástí tohoto systému. V závislosti na obrábění součásti z obou stran byl vytvořen zvlášť program pro každou stranu polotovaru.



Obr. 24 - Spodní ovládací panel stroje



Obr. 25 - Horní ovládací panel stroje

10.1 Systém CELOS

CELOS je systém vyvinutý společností DMG MORI. Uživatelské rozhraní je založené na APP, které umožňuje přístup ke všem výrobně relevantním informacím prostřednictvím řídicího systému. Umožňuje celkem 27 aplikací CELOS APP, optimální přípravu i rychlé a důsledné zpracování výrobních zakázek.

10.2 Postup programování

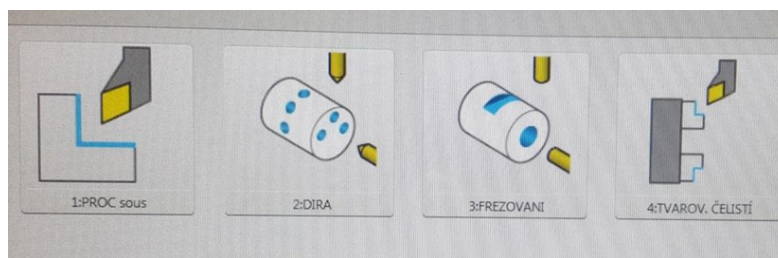
Tvorba programu obsahovala několik kroků většinou ve formě dialogů. Některé kroky vyžadovali zadávání tvaru nakreslením 2D geometrie požadovaného profilu součásti.

10.2.1 Charakteristika polotovaru

Úvodním krokem tvorby programu byla charakteristika polotovaru. Do dialogu byly vyplněny pole pro materiál, tvar, využívaný nulový bod a omezení otáček během obrábění. Toto omezení nadále platilo po celý průběh programu a v ISO kódu bylo značeno funkcí G50.

10.2.2 Volba obráběcích cyklů

Základem tvorby programu byl výběr ze seznamu nabízených cyklů. Nejprve byl zvolen druh obrábění, pomocí kterého bylo dosaženo požadovaného tvaru. Základním výběrem byli metody soustružení, frézování nebo vrtání. Každý druh obrábění dále obsahoval své konkrétní cykly.



Obr. 26 – Výběr základních obráběcích metod

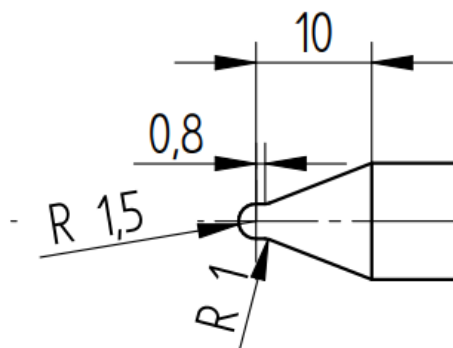
10.2.3 Volba nástrojů

Při tvorbě programu bylo využito několika nástrojů dle prováděných operací, které byli již založeny, zaměřeny a vloženy do zásobníku viz Obr. 23 část stroje vlevo. Výběr nástroje proběhl pomocí příslušného T - kódu.

10.3 První program

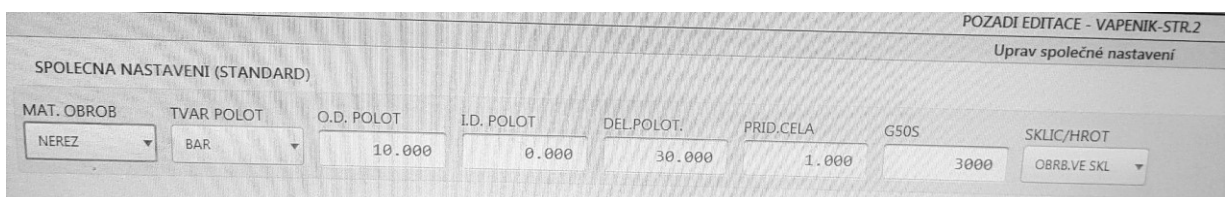
Úvodní operací během obrábění první strany bylo zarovnání čela polotovaru, ke kterému došlo odebráním 2 mm z této plochy. Celková délka poté byla 104 mm.

Během prvního upnutí bylo provedeno soustružení tvarové (kulové) plochy na konci obrobku o průměru 3 mm, na tento průměr byla soustružena i malá válcová část do délky 0,8 mm od konce kulové plochy. Dále byla obráběna kuželová část součásti pod úhlem 21,2° do délky 10 mm od konce kulové plochy resp. 11,5 mm od konce součásti. Zlom těchto dvou tvarů byl zaoblen o rozměr rádiusu 1 mm.



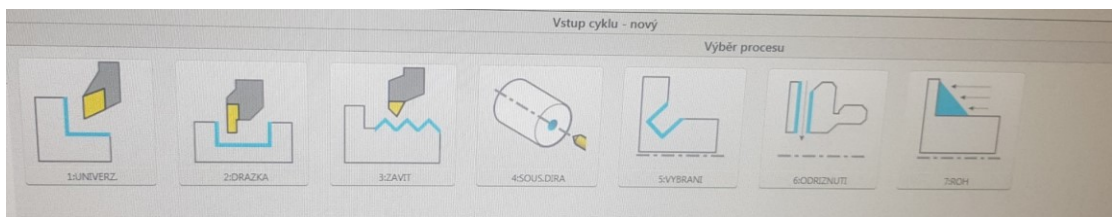
Obr. 27 – Nákres prováděné operace v prvním programu

V první fázi byli do programu zadány údaje o polotovaru. Délka 30 mm byla stanovena dle vysunutí polotovaru ze sklíčidla v závislosti na délce obráběné plochy.



Obr. 28 - Charakteristika polotovaru pro první obráběnou stranu

Dalším krokem byla stanovena obráběcí metoda pro soustružení. Následně byli vybírány konkrétní soustružnické cykly. Po výběru vhodného cyklu musel být vybrán ještě konkrétní proces.



Obr. 29 – Výběr soustružnických cyklů

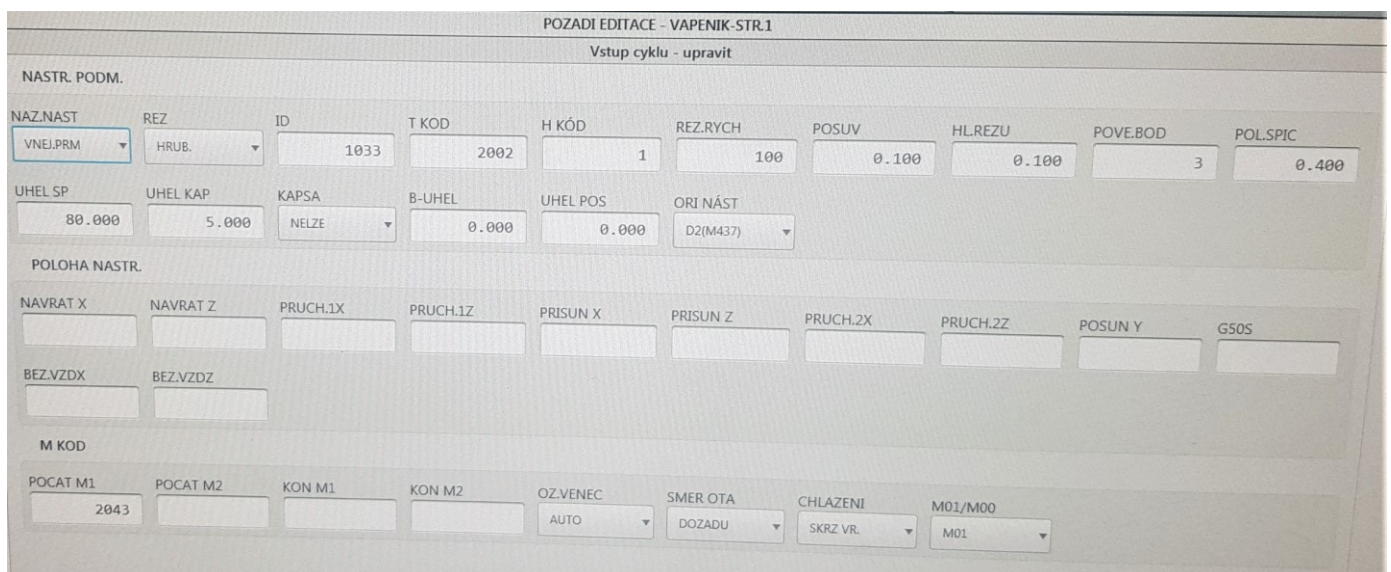


Obr. 30 - Výběr soustružnických procesů

10.3.1 Zarovnění čela

Z nabídky soustružnických cyklů byla vybrána možnost 1 pro univerzální soustružení. Z další nabídky byl poté vybrán proces 7 přímo pro soustružení čela. Po výběru vhodných metod systém obsahoval dialogy pro nastavení tvaru, obrábění a nástroje.

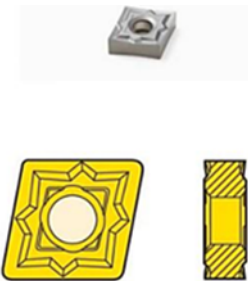
Pro zarovnění byli z čelní plochy odebrány 2 mm. Hloubka řezu a posuv byly z důvodů obrobitelnosti nerezové oceli stanoveny na 0,1mm. Drsnost povrchu byla s přihlédnutím na výkresovou dokumentaci stanovena na Ra 3,2. Funkce M 2043 stanovovala úroveň tlaku přívodu řezné kapaliny.



Obr. 31 - Dialog nastavení nástroje

Použitým nástrojem byl soustružnický nůž vnější hrubovací. Sestava celého nástroje byla složena z držáku, jeho prodloužení a břitové destičky typu CNMG120404-MF1 890.

Název	Hodnota
hlavní úhel hřbetu	0,0 deg
průměr stavěcího otvoru	5,20 mm
celkový úhel destičky	80,0 deg
průměr vepsné kružnice	12,70 mm
teoretická délka břitu	12,90 mm
rohový radius	0,40 mm
tloušťka destičky	4,76 mm
hmotnost	0,004 kg



Obr. 32 - Specifikace hrubovací břitové destičky CNMG120404-MF1 890



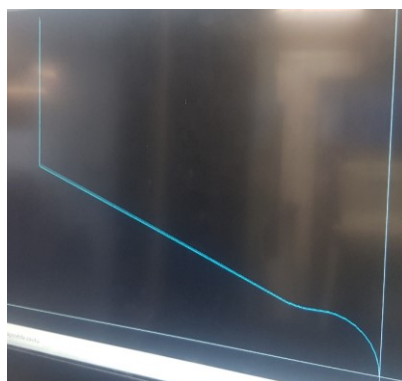
Obr. 33 - Komponenty sestavy hrubovacího nástroje
A – držák, B – prodloužení

10.3.2 Soustružení tvaru součásti

Hlavní částí programu pro první stranu dílce bylo soustružení vícero tvarů ploch. Pro tuto operaci byla opět zvolena z výběru cyklů nabídka 1 pro univerzální soustružení a dále byl vybrán proces 1 pro vnější průměr levý. Následovalo kreslení profilu dílce. Pomocí symetrie rotačního tvaru součásti stačilo nakreslit pouze jednu část profilu, která byla zrcadlena podél osy rotace. Na konci profilu bylo nutné nakreslit vertikální rovnou čáru pro bezpečný odjezd nástroje.

Dalším krokem bylo nastavení obrábění a nástroje za stejných podmínek jako v předešlém případě.

Na konci této operace byl vyměněn hrubovací nástroj za dokončovací, který následně obrobil tento tvar na požadovanou kvalitu součásti.

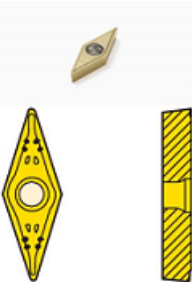


Obr. 34 – Náskres profilu obráběných ploch

Pro hrubování byl použit stejný výše uvedený nástroj jako pro zarovnání čela.

Pro dokončovací operaci byl použit soustružnický nůž vnější na čisto. Pomocí tohoto nástroje bylo dosaženo konečné předepsané kvality povrchu. Nůž odebral pouze poslední třísku před zhotovením finálního rozměru. I tento nástroj byl tak jako předešlý složen ze sestavy držáku, jeho prodloužení a břitové destičky VBMT110202-F1.

Název	Hodnota
hlavní úhel hřbetu	5,0 deg
průměr stavěcího otvoru	2,90 mm
celkový úhel destičky	35,0 deg
průměr vepsné kružnice	6,35 mm
teoretická délka břitu	11,07 mm
rohový radius	0,20 mm
tloušťka destičky	2,38 mm
hmotnost	0,002 kg



Obr. 35 - Specifikace dokončovací břitové destičky VBMT110202-F1

A)



B)

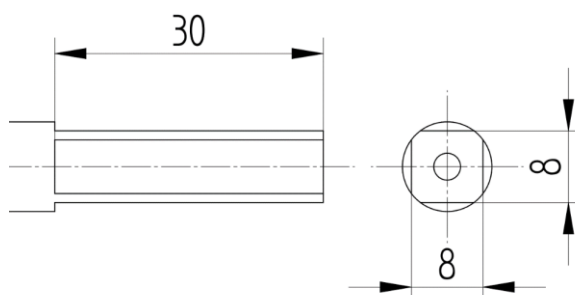


Obr. 36 - Komponenty sestavy dokončovacího nástroje
A – držák destičky, B – prodloužení

10.4 Druhý program

V rámci obrábění druhé strany nejprve proběhlo odebrání 4,5 mm z čela obrobku a tím bylo dosaženo celkové délky obrobku 99,5 mm.

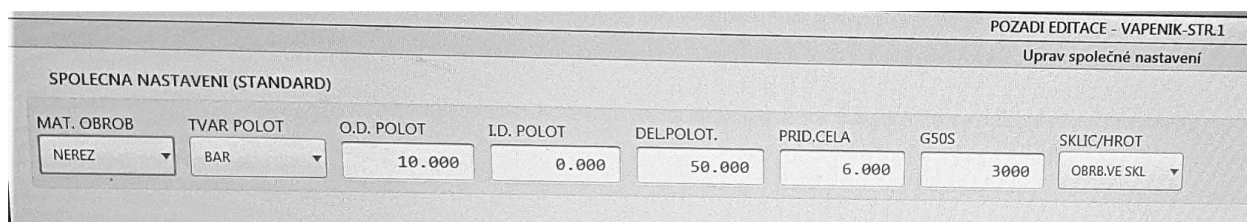
Dalším krokem bylo frézování válcového tvaru konce součásti. Po této operaci vznikla na konci obrobku plocha čtyřhranu o rozměrech 8 x 8 x 30 mm.



Obr. 37 - Náskres prováděné operace v druhém programu

Při tvorbě programu došlo k rozdělení do dvou obráběcích metod. V tomto případě byla první soustružnická a druhá frézovací.

Tak jako při programování první strany byli do programu zadány údaje o polotovaru. Délka 50 mm byla opět stanovena dle vysunutí polotovaru ze sklíčidla v závislosti na délce obráběné plochy.



Obr. 38 - Charakteristika polotovaru pro druhou obráběnou stranu

10.4.1 Soustružení celkové délky

Pro dosažení celkové délky součásti 99,5 mm bylo potřebné odebrání 4,5 mm z čelní plochy obrobku. Z výběru soustružnických procesů byla tedy opět zvolena možnost 7 pro soustružení čela. Všechna ostatní nastavení byla stejná jako v předešlém případě zarovnání čela, jediný rozdíl byl tedy pouze v tloušťce odebraného materiálu.

Použitým nástrojem byl výše uvedený hrubovací nůž.

10.4.2 Frézování rovinné plochy

Základem programování této operace bylo promyšlení strategie obrábění. Vzhledem k délce řezné části nástroje bylo nutné zvolit vertikální frézování jeho čelní plochou. Z tohoto důvodu byla vybrána z nabídky cyklů možnost 3 pro frézování bočních ploch a z následujícího výběru byl vybrán proces 3 pro obrábění boku součásti.

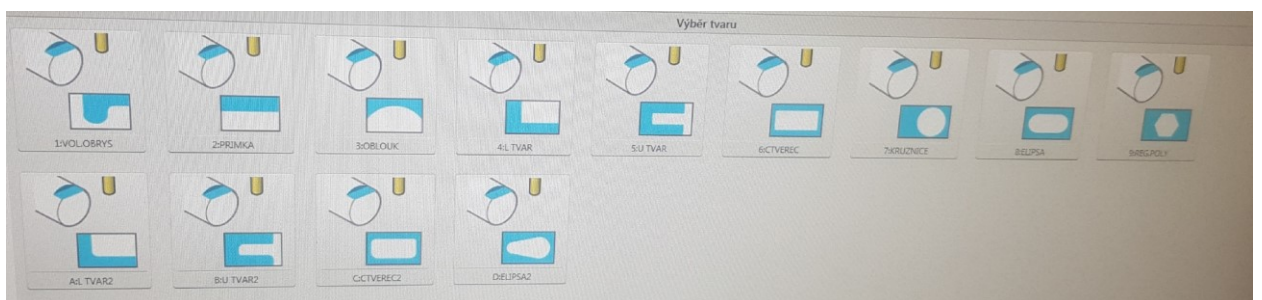


Obr. 39 - Výběr frézovacích cyklů



Obr. 40 – Výběr frézovacích procesů

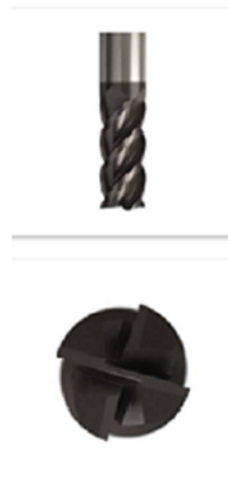
Dalším krokem byl výběr z nabídky tvarů frézovaných ploch. Vzhledem k požadavkům na výsledný výrobek byl zvolen typ 2 pro tvar přímky, který byl následně transformován do tvaru hranolu dle výkresové dokumentace.



Obr. 41 - Výběr tvarů frézovaných ploch

Použitým nástrojem byla monolitní fréza o průměru 6 mm. Sloužila, jak pro hrubování, kde mohla být volena hloubka řezu 0,3mm, tak i pro dokončení kde byla tato hodnota 0,1 mm. Šířka řezu byla dle výkresové dokumentace 4 mm.

Název	Hodnota
maximální hloubka řezu v bočním směru posuvu	13,0 mm
břity do středu nástroje	1
typová řada nástroje	JS514
šířka rohového sražení	0,06 mm
maximální průměr otvoru pro šroubovou interpolaci	11,9 mm
minimální průměr otvoru pro šroubovou interpolaci	7,8 mm
povlak břitů	NXT
obráběcí průměr	6,00 mm
průměr stopky / otvoru pro tm	6,00 mm
úhel šroubovice břitů	46,0 deg
úhel rohového sražení	45,0 deg
celková délka	57,0 mm
počet obvodových břitů	4
záběrový úhel nástroje	0,0 deg
hmotnost	0,025 kg



Obr. 42 - Specifikace monolitní karbidové frézy D6

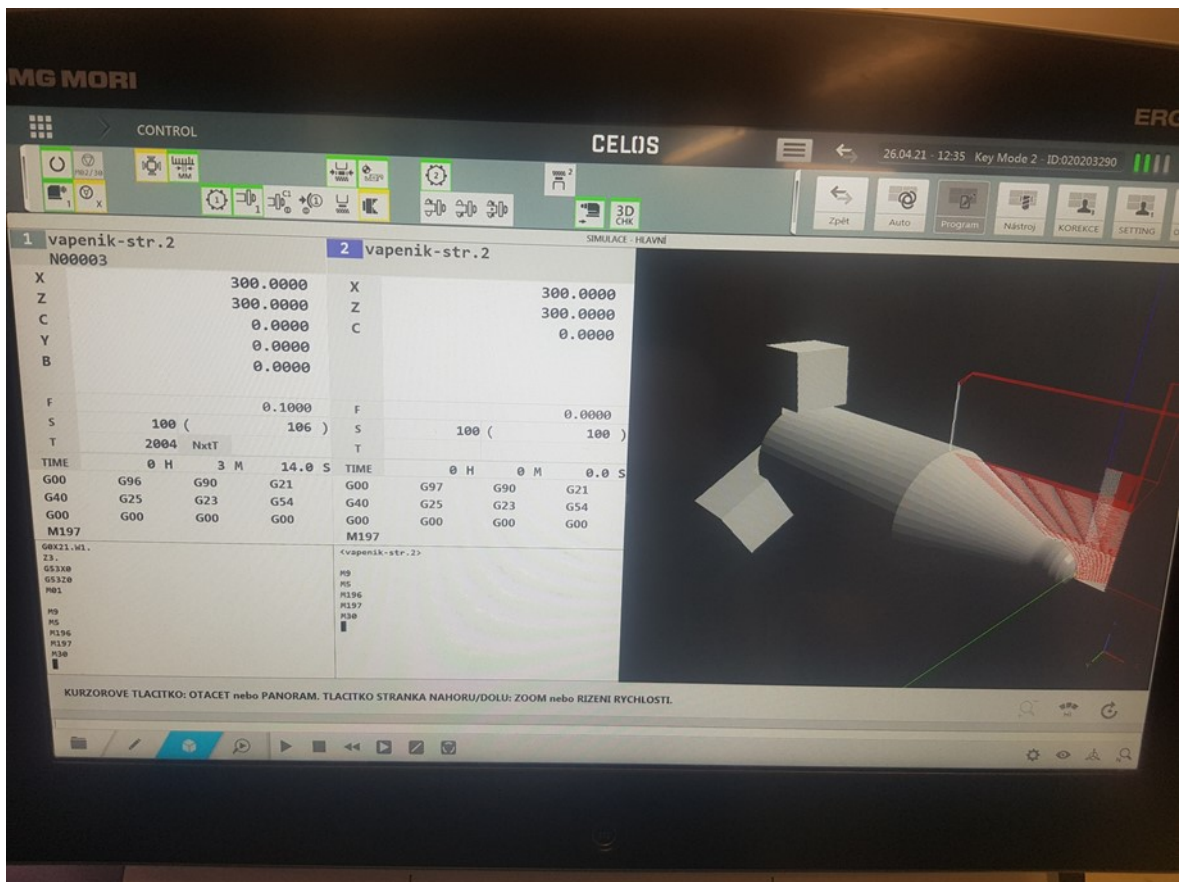


Obr. 43 - Upínací mechanismus frézy
A – kleština, B – kleštinový držák

10.5 Simulace

Poslední krok před zahájením výroby bylo spuštění tzv. simulace, která sloužila ke spuštění virtuální kontroly programu a bylo nutné jí věnovat velkou pozornost. Obě strany součásti měli tedy svoji simulaci.

Hlavním důvodem spuštění simulace byla postupná kontrola všech provedených operací, ze kterých byl program tvořen, tak aby nedošlo ke vzniku kolizí. Pokud by se tak stalo bylo by ještě možné chod programu upravit a tím zamezit vzniku těchto kolizí.



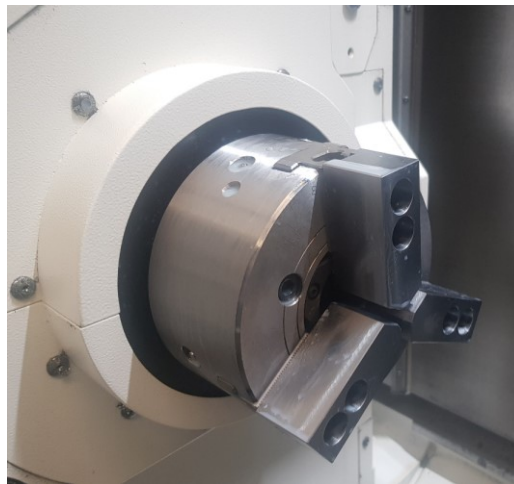
Obr. 44 - Simulace pro první stranu

11 PŘÍPRAVA VÝROBNÍHO PROCESU

Před samotným spuštěním připraveného programu bylo nutné provést několik kroků, které byly nezbytné před zahájením výrobního procesu.

11.1 Upnutí polotovaru

Prvním základním úkonem bylo upnutí polotovaru do sklíčidla. Čelisti byly zvoleny v závislosti na malém průměru polotovaru a následně byly nastaveny pomocí drážek a šroubů do rozměrů pro jeho upnutí. Dalším krokem byla kontrola správného upínacího tlaku, tak aby během obrábění nedošlo k jeho vymrštění. K ovládání sklíčidla sloužili speciální pedály, kterými je stroj vybaven.



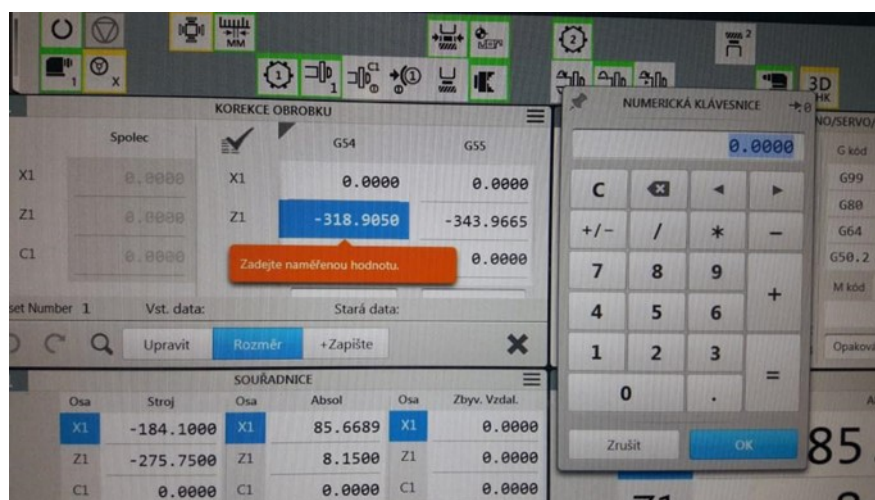
Obr. 45 – Sklíčidlo Kitagawa s měkkými čelistmi



Obr. 46 - Ukazatel upínacího tlaku

11.2 Nastavení nulového bodu obrobku

K zaměření nulového bodu obrobku (W) bylo využito tzv. metody naškrábnutí viz *Obr. 48*. Tato metoda spočívala v zapnutí vřetene a pomalému přiblížení soustružnickým nožem k polotovaru, dokud nedošlo k malému „naškrábnutí“ resp. k obrobení nepatrné třísky z čelní plochy polotovaru. V tomto okamžiku se odjelo nástrojem od obrobku v ose X směrem nahoru přibližně na úroveň konce sklíčidla a následně se Z-ová souřadnice zapsala jako nulový bod obrobku. Zapsání této souřadnice bylo provedeno v sekci korekce obrobku.



Obr. 47 - Tabulka korekce obrobku



Obr. 48 - Metoda naškrábnutí

12 VÝROBNÍ PROCES

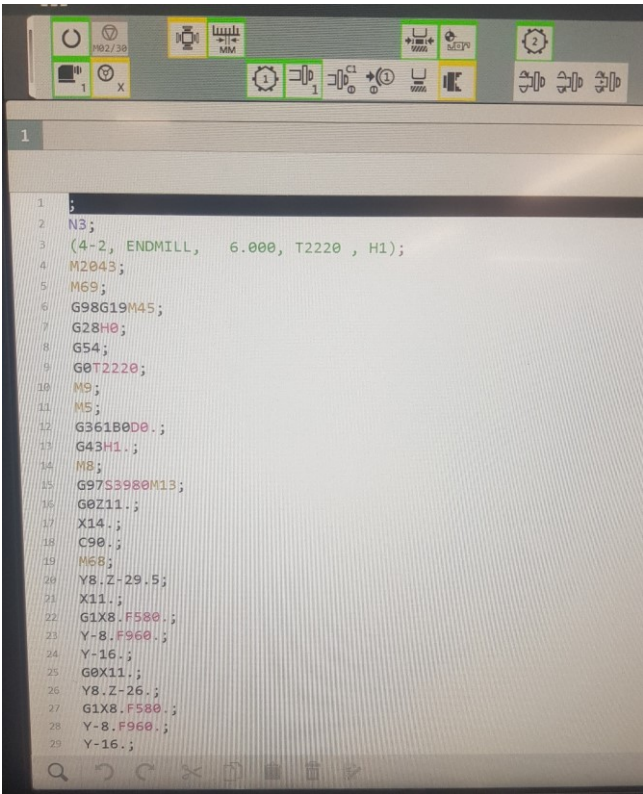
Po výše uvedených krocích přípravy mohl být spuštěn samotný výrobní proces. Před spuštěním programu bylo potřebné ještě zkontrolovat kvalitu řezných částí nástrojů, zda nejsou opotřebeny nebo poškozeny. Tento proces tedy obsahoval část výrobní, ale také optimalizaci řezných podmínek.

12.1 Výroba

Protože simulace je pouze virtuální kontrolou výroby muselo se vždy při prvním spuštění programu postupovat velmi pomalu a obezřetně. Hlavním úkolem bylo hlídat příjezd nástroje k obrobku, tak aby nedošlo k případné kolizi nástroje s obrobkem, resp. sklíčidlem.

Při této kontrole byl program spuštěn po bloku a za pomoci potenciometru byl regulován rychloposuv, tak aby v případě vzniku jakékoliv kolize bylo možné včas zareagovat a zastavit chod programu.

Výroba byla tedy rozdělena na dvě upnutí součásti z obou stran, kdy každá část měla svůj program. Po dokončení každé ze stran bylo nutné také měření součásti, tak aby rozměry odpovídali přiložené výkresové dokumentaci.



```
1 ;
2 N3;
3 (4-2, ENDMILL, 6.000, T2220 , H1);
4 M2043;
5 M69;
6 G98G19M45;
7 G28H0;
8 G54;
9 G0T2220;
10 M9;
11 M5;
12 G36180D0.;
13 G43H1.;
14 M8;
15 G97S3980M13;
16 G0Z11.;
17 X14.;
18 C90.;
19 M08;
20 Y8.Z-29.5;
21 X11.;
22 G1X8.F580.;
23 Y-8.F960.;
24 Y-16.;
25 G0X11.;
26 Y8.Z-26.;
27 G1X8.F580.;
28 Y-8.F960.;
29 Y-16.;
```

Obr. 49 - ISO kód programu

12.2 Optimalizace

Při výrobě součásti rovněž docházelo i k optimalizaci řezných podmínek. Tímto krokem docházelo např. k úpravě posuvu nebo otáček v případech špatné kvality povrchu obroběných ploch nebo při špatných odezvěch nástrojů.

V případě velkosériové výroby by bylo nutné se více věnovat také časové náročnosti výroby. V mém případě se jednalo pouze o výrobu jednoho kusu a nebylo nutné se touto problematikou zabývat.



Obr. 50 - Konečný tvar součásti vyrobené pomocí CNC obrábění

ZÁVĚR

Bakalářská práce detailně popisuje tvorbu programu v rozhraní systému Celos. Výroba byla rozdělena do dvou programů, kdy u každého je nejprve obráběna čelní plocha a poté provedena příslušná operace kdy jedna byla soustružnická a druhá frézovací. Rovněž jsou zde detailně specifikovány použité nástroje včetně jejich upínacího systému. Po vytvoření obou programů následovala jejich simulace, která zobrazuje virtuální kontrolu výrobního procesu.

Před zahájením výroby proběhla její příprava, která obsahovala v první fázi správné upnutí polotovaru. V dalším kroku musel být tzv. metodou naškrábnutí nastaven nulový bod obrobku.

Po těchto úkonech mohl být spuštěn výrobní proces při kterém došlo ke zhotovení konečného tvaru součásti. V jeho průběhu také zároveň probíhala jeho optimalizace.

Z hlediska časové náročnosti program pro každou stranu trval přibližně 5 minut. Výrobní cyklus prodlužovala především obrobiteľnosť nerezové oceli. Kdy byla hloubka řezu při soustružení nastavována maximálně 0,1 mm a pro frézování 0,3 mm při hrubování a 0,1 mm při dokončování.

V poslední fázi proběhla kontrola zhotovené součásti. Pomocí posuvného měřítka byly zkontrolovány rozměry dílce. Následně byla také kontrolována jakost obroběného povrchu. Obě kontrolované veličiny byli stanoveny výkresovou dokumentací.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. KOCMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
2. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.
3. HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-245-6.
4. NĚMEC, Dobroslav. Základy výrobních technologií. Vyd. 6., nezměn. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-604-3.
5. BRYCHTA, Josef. Obrábění I: návody pro cvičení. 2. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0576-6.
6. SANDVIK Coromant: Všeobecné soustružení [online]. [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/default.aspx>
7. ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
8. ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. Strojírenská technologie 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
9. ELUC: Základní způsoby frézování [online]. [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1226>
10. BRYCHTA, Josef. Obrábění I: návody do cvičení. 2. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0577-4.
11. ŠTULPA, Miloslav. CNC: programování obráběcích strojů. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
12. SMID, Peter. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. Third edition. South Norwalk: Industrial Press, 2008. ISBN 978-0-8311-3347-4.
13. KIEF, Hans B. a Helmut A. ROSCHI WAL. CNC handbook. New York: McGraw-Hill, c2013. ISBN 978-0-07-179948-5.

14. Laszeray Technology: The history of CNC machinery [online]. 2019 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://laszeray.com/blog/the-history-of-cnc-machinery/>
15. Mmspektrum: Volba kuličkových šroubů [online]. 2008 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu>
16. MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
17. JANDEČKA, Karel. Postprocesory a programování NC strojů. [Ústí nad Labem]: UJEP, FVTM, 2007. Knižnice strojírenské technologie. ISBN 978-80-7044-870-0.
18. BI, Zhuming a Xiaoqin WANG. Computer Aided Design and Manufacturing. John Wiley, 2020. ISBN 978-1-119-53421-1.
19. DMG MORI: Turn & Mill Overview [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://en.dmgmori.com/products/machines/turning/turn-mill>
20. K. K., Appuu Kuttan. Introduction to Mechatronics. Oxford University Press, 2007. ISBN 978-0-19-568781-1
21. Funkce systému MIKROPROG: Souřadnice polohy obrobku [online]. [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: http://www.finweb-zk.mzf.cz/?page_id=96.
22. Strojírenská Fakulta TUKE: Příručka CNC programování [online]. 2009 [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf
23. Mmspektrum: Revoluce v soustružení – netradiční použití zavedeného procesu [online]. 2017 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/revoluce-v-soustruzeni-netradicni-pouziti-zavedeneho-procesu>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AC	Střídavé serveropohony
a_p	Šířka záběru ostří
CNC	Computer Numerical Control
DC	Stejnoseměrné serveropohony
f	Posuv na otáčku
G	Přídavné funkce
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
M	Pomocná funkce
N	Číslo bloku
NC	Numerical Control
PLC	Programmable Logic Controller
R_a	Průměrná aritmetická odchylka profilu drsnosti
R_{es}	Mez kluzu ve smyku
R_m	Mez pevnosti v tahu
R_{ms}	Mez pevnosti ve smyku
S	Otáčky vřetene
v_c	Řezná rychlost
v_e	Rychlost řezného pohybu
v_f	Posuvová rychlost

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 - Oblast plastických deformací v odřezávané vrstvě [1]</i>	13
<i>Obr. 2 - Vektory pohybů při soustružení [1]</i>	14
<i>Obr. 3 - Podélné soustružení vnějších a vnitřních válcových ploch [6]</i>	15
<i>Obr. 4 - Tvarové soustružení [6]</i>	16
<i>Obr. 5 - Čelní soustružení [6]</i>	16
<i>Obr. 6 – PrimeTurning [6]</i>	18
<i>Obr. 7 - Geometrie soustružnického nože [6]</i>	18
<i>Obr. 8 - Přehled soustružnických nožů[9]</i>	19
<i>Obr. 9 - Soustružnický nůž CoroTurn typu A a typu B [24]</i>	19
<i>Obr. 10 - Sousedné frézování [9]</i>	21
<i>Obr. 11 - Nesousedné frézování [9]</i>	22
<i>Obr. 12 - Frézování drážek na hřídeli [9]</i>	23
<i>Obr. 13 - Děrná páska [14]</i>	24
<i>Obr. 14 - Řez kuličkovým šroubem s ukázkou oběhu kuliček [15]</i>	25
<i>Obr. 15 - Blokové schéma číslicově řízeného stroje [17]</i>	25
<i>Obr. 16 – Pracovní prostor obráběcího centra DMG Mori NTX 1000 [19]</i>	29
<i>Obr. 17 - Definice kartézských souřadnic v pravotočivé soustavě [11]</i>	30
<i>Obr. 18 - Programování absolutní [21]</i>	31
<i>Obr. 19 - Programování přírůstkové [21]</i>	31
<i>Obr. 20 - Souřadnicový systém soustruhu a důležité body [11]</i>	33
<i>Obr. 21 - Vyráběná součást</i>	38
<i>Obr. 22 - Polotovár</i>	38
<i>Obr. 23 - DMG MORI NTX 1000</i>	39
<i>Obr. 24 - Spodní ovládací panel stroje</i>	40
<i>Obr. 25 - Horní ovládací panel stroje</i>	40

<i>Obr. 26 – Výběr základních obráběcích metod</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 27 – Náskres prováděné operace v prvním programu</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 28 - Charakteristika polotovaru pro první obráběnou stranu</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 29 – Výběr soustružnických cyklů</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 30 - Výběr soustružnických procesů</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 31 - Dialog nastavení nástroje</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 32 - Specifikace hrubovací břitové destičky CNMG120404-MF1 890</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 33 - Komponenty sestavy hrubovacího nástroje.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 34 – Náskres profilu obráběných ploch</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 35 - Specifikace dokončovací břitové destičky VBMT110202-F1</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 36 - Komponenty sestavy dokončovacího nástroje.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 37 - Náskres prováděné operace v druhém programu.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 38 - Charakteristika polotovaru pro druhou obráběnou stranu</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 39 - Výběr frézovacích cyklů</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 40 – Výběr frézovacích procesů</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 41 - Výběr tvarů frézovaných ploch</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 42 - Specifikace monolitní karbidové frézy D6</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 43 - Upínací mechanismus frézy</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 44 - Simulace pro první stranu</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 45 – Sklíčidlo Kitagawa s měkými čelistmi</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 46 - Ukazatel upínacího tlaku</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 47 - Tabulka korekce obrobku.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 48 - Metoda naškrábnutí</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 49 - ISO kód programu.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 50 - Konečný tvar součásti vyrobené pomocí CNC obrábění</i>	<i>53</i>

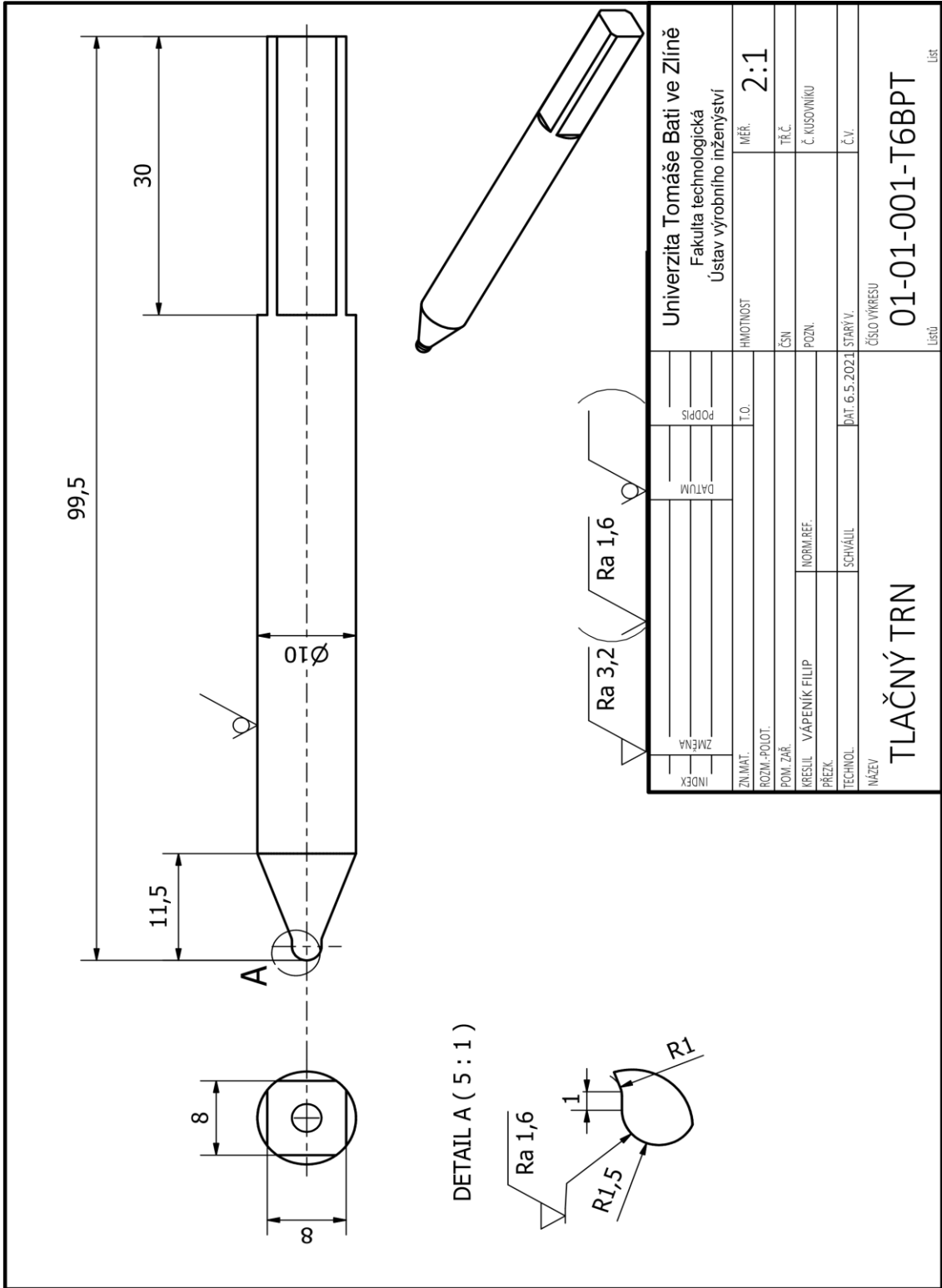
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 - Orientační hodnoty posuvů pro různé typy operací [1]</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 2 - Složení programu (v bloku) [11]</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 3 - Seznam nejpoužívanějších G a M funkcí [11]</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 4 - Technické parametry stroje</i>	<i>39</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres součásti

PŘÍLOHA P I: VÝKRES SOUČÁSTI



UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		HMOTNOST	MĚŘ.	2:1
INDEX	ZNĚMKA	INDEX	ČSN	TRČ.
PROJ. ZÁŘ.	VÁPENÍK FILIP	NORM. REF.	POZN.	Č. KUSOVNIKU
TECHNOL.	SCHWÁBL	DAT. 6.5.2021	STARÝV.	Č.V.
NÁZEV		ČÍSLO VÝKRESU		
TLAČNÝ TRN		01-01-001-T6BPT		
		Líst		