VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MOŽNOSTI SYSTÉMU SINUMERIK 840D PŘI PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

SINUMERIK 840D TOOLS FOR PROGRAMMING OF CNC MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc Anna Olina
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Aleš POLZER, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

ABSTRAKT

Diplomová práce uvádí historicky vývoj a současnost CNC obráběcích strojů a jejich řídicích systémů. Také v práci jsou popsané základy a metodiky programování, pomocí kterých může byt realizována tvorba NC programu v ŘS Sinumerik 840D. Druha část práce zahrnuje zpracování výrobního postupu součásti (skříň převodovky) a NC programu. Ten program je vytvořen v dílensky orientovaném prostředí ShopMill. Ověření programu bylo zajištěno pomocí modulu simulace řídicího systému.

Klíčová slova

CNC obrábění, řídicí systém Sinumerik 840D, ShopMill, dílensky orientované programování

ABSTRACT

Master's thesis presents the history and the present-day state of CNC machines and their control systems. This thesis describes both the basics and the advanced methods of programming which can provide the ability to create NC program for Sinumerik 840D to operate. The second part of the thesis deals with the development of the technology to machine the part (the frame of the reduction gear) and corresponding NC program. This program is created by means of the work-step programming (ShopMill). The final verification of the program was provided by means of simulation component of the control system.

Key words

CNC machining, the operate system Sinumerik 840D, ShopMill component, the work-step programming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OLINA, Anna. *Možnosti systému Sinumerik 840D při programování CNC obráběcích strojů.* Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 56 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, PhD.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Možnosti systému Sinumerik 840D při programování CNC obráběcích strojů** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25.05.2012

Datum

Bc Anna Olina

PODĚKOVÁNÍ

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

Ještě bych chtěla poděkovat Institutu Mechaniky, jmenovitě jeho řediteli V.I.Goldfarbovi, za poskytnutí informace potřebné pro vytváření této práce. A také chtěla bych poděkovat mým rodičům a přátelům.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 9
1 HISTORIE CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ A JEJICH ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ 10
1.1 Historie číslicově řízených obráběcích strojů 10
1.2 Přehled řídicích systémů strojů 11
1.2.1 Siemens Sinumerik 11
1.2.2 HEIDENHAIN 13
1.2.3 Matrix Mazatrol 15
2 METODIKY NC PROGRAMOVÁNÍ 17
2.1 Souřadný systém stroje a důležité body pracovního prostoru 17
2.2 Korekce nástrojů 21
2.3 ISO programování 24
2.4 Parametrické programování. 25
2.5 programování pomoci cyklů 26
2.6 Programování dílenské 29
3 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE SOUČÁSTI 31
3.1. Součást – skříň převodovky 31
3.2. Materiál obrobku 32
3.3 Obráběcí stroj 33
3.4 Upnutí obrobku 34
3.5 Nástrojové vybaveni a řezný podmínky 36
4 TVORNA NC PROGRAMU 39
4.1 NC program pro 1. upnutí 39
4.1.1 Frézování po dráze (hrubování a dokončování) 39
4.1.2 Obrábění otvorů 41
4.2 NC program pro 2. upnutí 44
4.2.1 Transformace souřadného systému 44
4.2.2 Rovinné frézování. 45
4.2.3 Frézování vnějšní a vnitřní kontur 46
4.2.4 Obrábění otvorů 47
4.3 Simulace obrábění 47

ZÁVĚR 49
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 50
SEZNAM POUŘITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 53
SEZNAM PŘÍLOH 54

ÚVOD

Současný růst požadavků na kvalitu a přesnost obráběných součásti ve strojírenském průmyslu a zvýšení složitosti tvaru vyráběných dílů jsou z hlavních důvodů pro zavadění do výroby CNC obráběcích strojů. Tyto stroje umožňují zvětšit flexibilitu výroby, konkurenceschopnost podniků a přesně plnit požadavky zákazníků.

Jiným problémem je přizpůsobení výroby stálých součásti pomocí nového zařízení. Jedna se o změně technologického postupu a nástrojového vybavení, tvorbě NC programu. Ten program je následně nahrazen do pamětí ŘS, kterým je vybaven každý stroj. Mezí nejpoužívanějších řidičích systémů patří Sinumerik 840D. Ten systém je víceúčelovým, umožňuje řízení různých technologií obrábění (soustružení, frézování, vrtání s apod.) a nabízí programování pomoci různých metod, buď to programování pomocí ISO kódu nebo programování v dílensky orientovaném prostředí.

Tato práce se zabývá problematikou tvorby NC programu s využitím funkce dílensky orientovaném prostředí ShopMill řídicího systému Sinumerik 840D pro výrobu součásti (skříň převodovky), která několik let se vyrábí pomoci konvenčních strojů.

1 HISTORIE CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ A JEJICH ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

V současné době stále rostou požadavky na kvalitu obrobených součástí a zároveň i na snížení nákladů na výrobu jedné součásti při vysoké výkonnosti. A s tím se souvisí široké zavedení CNC obráběcích strojů do různých typů výrob včetně obrábění. Vysoka přesnost polohování nástrojů při obrábění na CNC řízených strojích a možnost obrábění na jedno upínání obrobku zabezpečuje dodržení požadovaných geometrie a rozměrů součásti a kvality obrobených ploch. Zkrácení strojního (vysoká rychlost obrábění) a vedlejšího (jedno upínání obrobku a automatická výměna nástroje) časů a možnost využití vícestrojové obsluhy snižuje náklady na provoz jednoho stroje a i na výrobu součásti.

1.1 Historie číslicově řízených obráběcích strojů

Pojem číslicové čili numerické řízení (zkratka z angličtiny CNC – Computer Numercal Control) je hlavně vztažen k vložení do stroje řídicí jednotky, která určená pro řízení silových prvků daného stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti. Proces obrábění je řízen na základě seznamu číslicových hodnot (číselných údajů a příkazů), které jsou uváděné ve formě řady numerických znaků. Tyto hodnoty představují rozměry obrobku, potřebné nástroje, otáčky vřetena, posuv, pomocné informace (použití hladicí kapaliny) a další. [1, 2, 3]

Základní výzkum v oblasti použití číslicového řízení pro kontrolu polohování nástroje a obrobku byl prováděn na MIT (Massachusetts Institute of Technology) v těsné spolupráci s leteckou společností Aircraft Corporation na počátku druhé poloviny 20. století. Výsledkem tyto spolupráci bylo zahájení do výroby první číslicové řízené svislé frézky. [2]

Snížení časů a nákladů na výrobu součásti byly jedním z hlavních důvodů pro zavedení číslicového řízení do velkého rozsahu průmyslových výrob a pro jeho rychlý rozvoj. Průměrná doba odebírání materiálu při používání stroje z ručním ovládáním je 40 % celého výrobního cyklusu součásti. Ostatní čas je ztracen na manipulace s materiálem a nástrojem, provedení měření a další. Hlavním problémem těchto strojů byla nutnost přesného polohování nástroje nebo obrobků při obrábění tvarově složitých součástí s vysokými požadavky na přesnost a kvalitu obrobeného povrchu, a z toho důvodu doba odebírání materiálu mohla trvat jen 10 % cyklusu. Číslicově řízený obráběcí stroje umožnily zvětšit tuto dobu až do 70 % z celého času potřebného na výrobu hotové součásti z obrobku. [2]

Stroje označované jako stroje první generace byly na začátku odvozeny od konvenčních strojů a určené pro provádění opakovatelných cyklusů a pak doplněné řídicím systémem pro kontrolu polohování součástí a nástroje. ŘS umožnil uspořit čas ale zvolení nástroje a nastavení rychlosti a posuvu obrábění ten systém neovládal. [1, 2]

Stroje druhé generace umožnily kontrolu polohování nástroje a součásti během odebírání materiálu. První programované stroje, označované jako NC stroje, byly řízeny programem, který byl vyznačen na děrné pasce nebo štítku. Nevýhodou

tohoto způsobu chování informace bylo to, že on nedovolil korekce programu v případě změny vstupní informace či technologie. Omezená kapacita děrné pásky byla dalším problémem a z tohoto důvodu řízení každé operace bylo prováděno odděleně. Po skončení jednotlivé operace do stroje měla byt vložena informace pro řízení následujícího kroku obrábění. [2, 3]

Vývoj šel dále a byly NC stroje vybavený počítačem, což znamenalo zrod CNC strojů a počátek třetí generace číslicového řízení. Počítač urychlil a zjednodušil programování, uchování dat a řízení stroje, umožnil automatickou výměnou nástrojů. A tím došlo ke snížení časů výrobního a vedlejšího a zefektivnění celého procesu výroby. [2, 3]

Čtvrtá a pátá generace znamenali úplnou automatizaci procesu obrábění (automatická výměna obrobků a nástrojů, manipulaci s třískami a mezioperační doprava) a inprocesní kontrolu (měření rozměrů obrobku během obrábění). Rychlý rozvoj v oblasti výpočetní techniky a technologii výroby umožnil elektronickou kompenzaci chyb a laserové odměřování polohy. [3]

Další růst náročnosti výroby a počtu součástí, který by měl byt obráběn, vede k dalšímu nasazení CNC stroje do praxe. V současné době CNC stroje pokrývají široký rozsah různých technologií obrábění, tváření a řezání materiálu (vodním paprskem, plamenem, laserem). Jedna se také i o vysokorychlostním, víceosém, suchém a ultrapřesném (desetiny mikrometru) obrábění. [3]

1.2 Přehled řídicích systémů strojů

V současnosti ve strojírenství jsou používané různé druhy řídicích systémů. Některé jsou jednoúčelové a používané pro řízení jednoho typu stroje ale jiné jsou víceúčelové a schopné řídit i obráběcí centra. ŘS je obvykle velice flexibilní a universální, ale někteří výrobci obráběcích strojů dodávají samostatné řídicí systémy. Tento přehled obsahuje popis třech ŘS: Sinumerik, Heidenhain a Mazatrol Matrix.

1.2.1 Siemens Sinumerik

“Díky systému Sinumerik je společnost Siemens již 50 let na čele v oblasti techniky CNC a jejích inovací - od prvního systému NC přes systém CNC s mikroprocesorem až po první systém CNC s integrovanými bezpečnostními funkcemi”, říká Uwe Frank, ředitel divize Motion Control společnosti Siemens. V současné době pod pojmem Sinumerik se skrývá řízení pro obráběcí stroje, pohony a motory, a tím i ucelené řešeni automatizace obráběcích strojů. Ale historie systémové platformy Sinumerik začíná v roce 1960, kdy společnost Siemens uvedla na trh první systém pro číslicové řízení obráběcích strojů, který po čtyřech letech dostal svůj název, známý i v současné době po celém světě. První NC systém řády Sinumerik umožňoval jenom spojité řízení dráhy nástroje, pak následující verze už byly schopné řídit operací soustružení, frézování, broušení a prostřihování (Sinumerik 200 a Sinumerik 300). [4, 5]

Další milník ve vývoji ŘS byl těsně navazován na rychlý rozvoj počítačů a mikroprocesorů v 70. letech 20. století. Pak v roce 1973 byl ne trh zaváděn první systém obsahující počítač pro řízení soustruhů a frézek - Sinumerik 500C, a

několika let pozdě se objevily první DNC a PLC řídicí systémy Sinumerik. Vícekanálový Sinumerik System 8, vhodný pro operace soustružení, frézování, vrtací a prostřihovací, byl opatřen displejem, složeným ze sedmi segmentových zobrazovačů pro zobrazení textu a programu. Systém Sinumerik řady 3 stal prvním CNC systémem s monitorem. [4, 6]

Obr. 1.1 Historický přehled ŘS Sinumerik [4].

Následující důležitý krok nastal pro německou společnost v 80. letech minulého století, když byl vyráběn Sinumerik řady 8. Tato řada zahrnuje skoro všichni řidiči systémy vyrobené společnosti Siemens za posledních 20 let. Začata tato generace CNC systému byla ŘS Sinumerik 810 a Sinumerik 820, určující princip „otevřenosti", tzn. výrobci strojů mohou vytvářet svá vlastní ovládací rozhraní a přidávat do nich vlastní položky. Pak v roce 1992 společnost Siemens představila produktovou radu 840, která zasahuje do současnosti. Za prvé byl uveden ŘS Sinumerik 840C s kombinovaným analogovým a digitálním ovládáním pohonů a později i vysoce výkonný Sinumerik 840D s číslicovým ovládáním pohonů a otevřeným jádrem řídicího programu s možností integrovat do systému CNC další softwarové komponenty. [4, 6]

Ve druhé polovině 90. let 20. století byly do systému integrovány nástroje Condition Monitoring (pro dálkové sledování stavu strojů) a Mechatronic Support (pro simulace chování strojů pomocí virtuálních prototypů). Také byly představeny nástroje dílenského programování ShopMill a ShopTurn, které jsou orientovány nejen na profesionály, ale i na pracovníky bez odborných znalostí DIN/ISO kódu. Programování je vedeno v grafickém uživatelském prostředí s vizuálním zobrazením pracovních postupů jednotlivých operací. Ale zároveň prostředí ShopMill a ShopTurn umožňují i programování v DIN/ISO editoru a úpravy externě vytvořených DIN/ISO programů. [4, 5]

V novém století společnost Siemens uvedla na trh nové CNC systémy Sinumerik 840D sl a Sinumerik 802D sl a už přišla k tomu, že mohla nabídnout vše potřebné k efektivnímu návrhu i výrobě obrobků při použití uceleného zpracovatelského řetězce CAD/CAM/CNC. [4, 5]

Sinumerik 840D je platformou pro téměř všechny technologie (soustružení, frézování, vrtání, broušení) a je používán u laserových, niblovacích,

dřevoobráběcích a skloobráběcích strojů. ŘS slouží i jako úsporné řešení pro výrobu forem, nástrojů a automobilů, používán i pro letecký průmysl. Ve své nejvýkonnější sestavě umožňuje řízení max. 31 os/vřeten. [7].

Obr. 1.2 Siemens Sinumerik 840D [5].

Umožňuje programování v dílenském prostředí ShopMill a ShopTurn bez znalosti DIN/ISO kódu a také i DIN/ISO programování s grafickou podporou kontur a cyklů včetně možnosti úpravy externě vytvořených programů. Možnost využití ručního obráběni bez nutnosti vytvoření programu. [5]

1.2.2 HEIDENHAIN

Společnost HEIDENHAIN byla založena po konce druhé světové války v Německu a začala výrobou stupnic a měřítek pro váhy, ale už během krátké doby se zabývala dodáváním optických snímačů polohy pro obráběcí stroje a potom i snímačů délek a úhlů s fotoelektrickým snímáním. Od poloviny sedmdesátých let se stal HEIDENHAIN jedním z významnějších výrobců řízení a pohonů pro obráběcí stroje. V současné době HEIDENHAIM dodává na trh produkty řady TNC (řízení pro frézky, obráběcí centra a vyvrtávačky) a MANUALplus 620 (řízení pro soustruhy). [8]

V roce 1981 přišla společnost HEIDENHAIN na strojírensky trh se svým prvním souvislým CNC řídicím systémem TNC 145. Od tě doby zůstal základní koncept ovládání stejným, ale už po 30 letech neustálého výzkumu došlo v roce 2011 k zavedeni systému iTNC 530 s řízením komponentů pres HSCI (Heidenhain Serial Controller Interface protokol reálního času pro Fast-Ethernet). [9, 10]

Systém iTNC 530 je vhodný, bud´ pro řízení jednoduché tříosé frézky pro výrobu nástrojů, forem apod. nebo pro obráběcí centra v sériové výrobě (řídit až třináct os a vřeteno). Programy pro frézování a vrtání se připravují přímo na stroji – v dialogu dílenského programování pomocí prostředí smarT.NC (na základě instrukcí a pokynů ŘS) nebo v otevřeném textu pomocí DIN/ISO kódu. NC program může byt stejně vytvořen externě pomocí CAD/CAM systému nebo v programovací stanici. Rychlé zpracování NC programů vygenerovaných v CAM a rychlý přenos dat

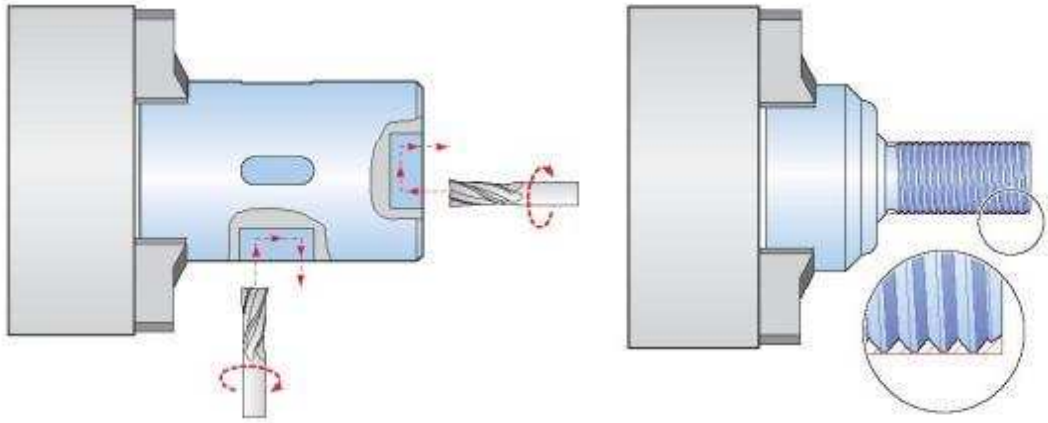
umožňuje řízení vysokorychlostního frézování. Pro jednoduché účely – jako rovinné frézování – umožňuje systém i manuální řežím práce na stroji. [9, 10]

Obr. 1.3 ŘS Heidenhain iTNC 530 [10].

Systém MANUALplus 620 je určen pro horizontální i vertikální soustruhy s jednoduchými držáky nástrojů nebo s revolverovou hlavou. Je konstruován pro soustruhy s vřetenem, jedním suportem (X a Z osou), C osou nebo polohovatelným vřetenem (umožňuje provádět frézování nebo vrtání na čele nebo boční ploše součásti). Systém je vhodný pro CNC, cykly programované soustruhy (jsou k dispozici cykly pro obrábění kuželů, závitů a další) a umožňuje také ruční obrábění jednoduchých dílců (soustružení průměru nebo zarovnání čela). Aplikačně orientované cyklové programování umožňuje obsluze rychle a efektivně vytvářet a editovat programy přímo na soustruhu. [11, 12]

Obr. 1.4 ŘS Heidenhain MANUALplus 620 [12].

Pro výrobu tvarově složitých současí je do systému integrován výkonný programovací režim smart.Turn, který je základem pro NC programování na CNC strojích. Při použití externě vytvořeného programů MANUALplus 620 přejde do režimu DIN PLUS, který také umožňuje převedení programů z režimu smart.Turn do G-kodu, přičemž systémem zabezpečen zpětný přechod mezi DIN PLUS a smart.Turn. Systém také dovolí i vytvoření samostatného DIN programů. [11, 12]



Obr. 1.5 Frézování a řezání závitů pomocí režimů smart.Turn [12].

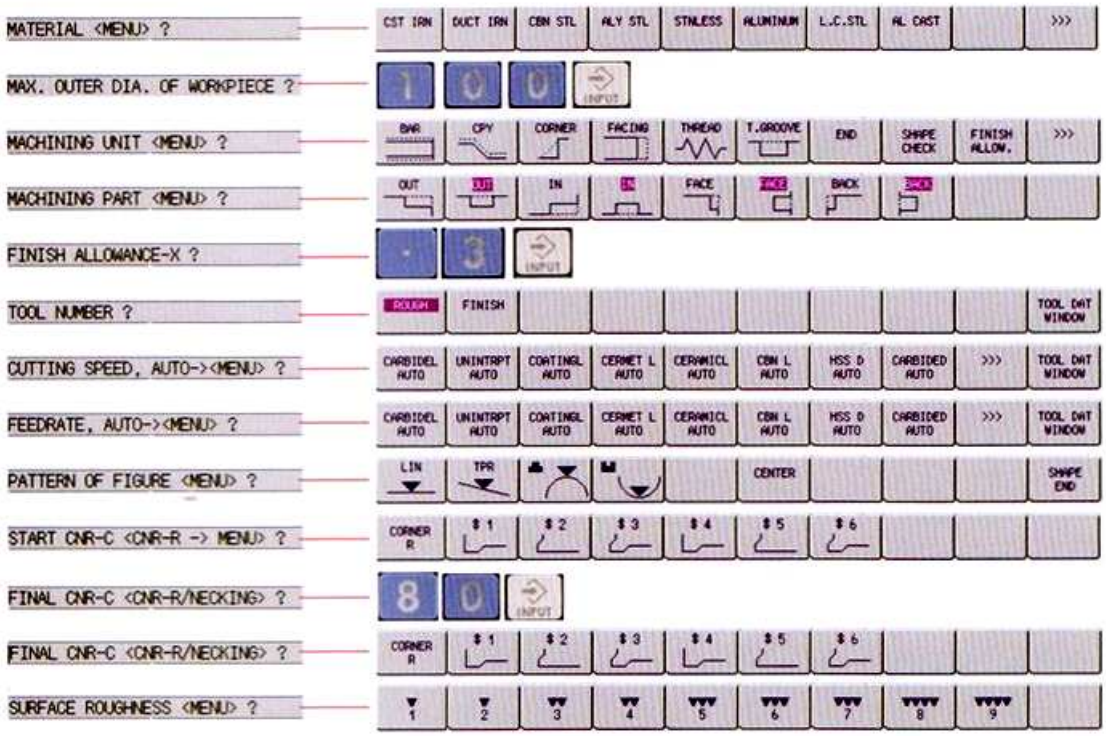
1.2.3 Matrix Mazatrol

Řídicí systém Mazatrol je vyráběn japonskou firmou Yamakazi Mazak. Byla tato firma založena v roce 1919 a na začátku uvedla na trh dřevoobráběcí stroje, ale od roku 1928 se zabývala také i výrobou soustruhů a vrtaček. Důležitým krokem v historii společnosti stalo zavedení v roce 1981 prvního dialogového CNC řídicího systému pro obráběcí centra MAZATROL T-1. Od této doby ne bylo nutno používat děrný pasky,což výrazně urychlilo proces změny programů pomoci ovládacího panelu. [13]

Obr. 1.6 ŘS Mazatrol Matrix [15].

Rychlý rozvoj v oblasti počítačové techniky umožnil přidání do systému nových funkcí a v roce 1994 došlo k zavedení systémů čtvrté generace Mazatrol T-Plus a M-Plus s možnosti integraci dialogového programování a programování v EAI/ISO kódu. Na konce 20.stoleti byl vytvořen systém pate generace Mazatrol Fusion 620T na bázi 62-bitové procesorové jednotky, což zdvojnásobnilo výkon systému a umožnilo dálkové programování strojů. [14]

Mazatrol Matrix je systémem šesté generace řídicích systémů. Programování probíhá formou odpovědí na otázky zobrazených na monitoru systému. Na bázi tyto informace (druh materiálu, vnější a vnitřní rozměry obrobku a další) systém spočítá optimální řezné podmínky, dráhu nástrojů a cely proces obráběni. Systém umožňuje také programování v EIA/ISO kódu pomocí standardních G funkcí a dovolí využití programů vytvořených pro jiné řídicí systémy (až po potřebné úpravě M a T funkcí). Řídicí program může byt vytvořen i na počítači v kanceláři pomocí MATRIC CAM systému a rychle nahrán do stroje přes internet nebo vnitřní síť podniku. Pro zvětšení bezpečnosti provozu stroje do systému je integrován hlasový nastroj Matrix Voice Advisor, který upozorňuje obsluhu na vzniklé problémy. [14, 15]



Obr. 1.7 Zobrazení programu v systému Mazatrol Matrix [15].

2 METODIKY NC PROGRAMOVÁNÍ

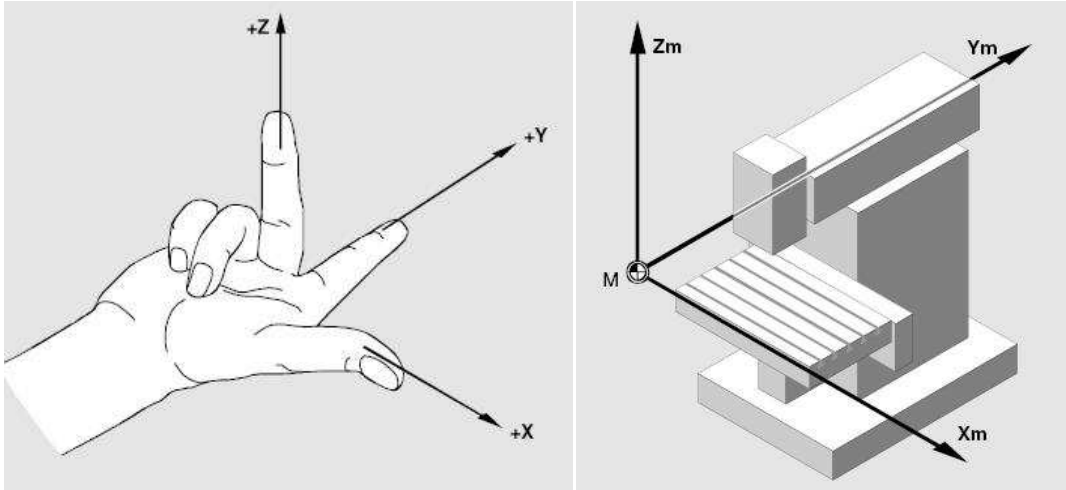
V současné době existuje několik různých metodik tvorby NC programu. Mezi nejpoužívanější z nich patří ISO programování (včetně programování pomocí cyklů a parametrické programování), dílensky orientované programování a programování pomoci CAD/CAM systémů. V této kapitole budou popsány metodiky jenom ISO a dílenského programování, který jsou používané při tvorbě programu s využitím řídicího systému Sinumerik 840D. Hlavni rozdíl metodik je tom, že při využití ISO programování jsou potřebné odborné znalosti funkce G kódu, ale programování v dílensky orientovaném prostředí umožňuje využití grafického rozhrání.

Před začátkem samotného programování je potřebné uvést základní pojmy programování CNC obráběcích strojů. Bez těchto znalostí není možně vytvořit NC program.

2.1 Souřadný systém stroje a důležité body pracovního prostoru

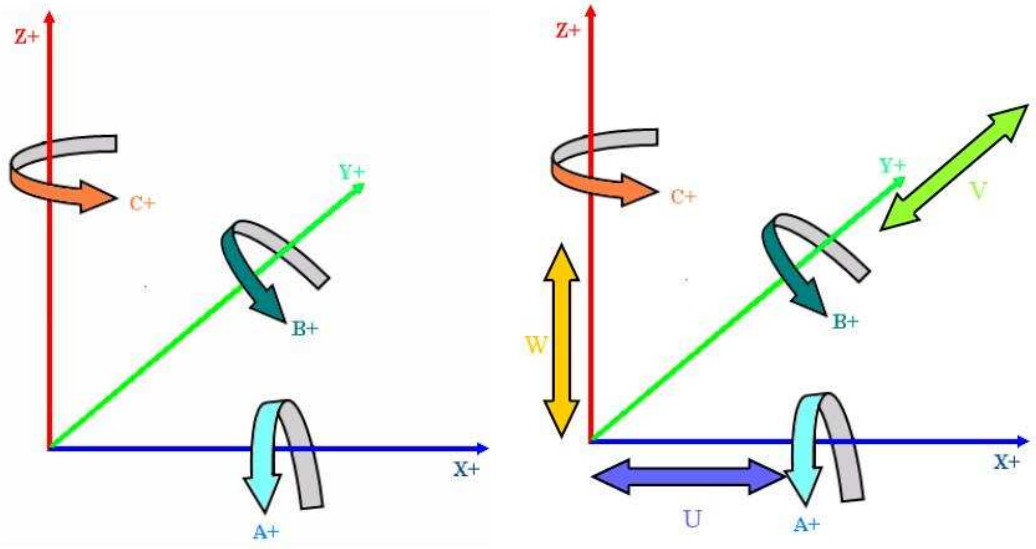
Pro každý stroj je nutno rozlišovat dva souřadnicových systému: souřadnicový systém stroje (MCS – machine co-ordinate system) a souřadnicový systém obrobku (WCS – work piece co-ordinate system).

Pro řízení stroje a pro správnou orientaci nástroje a obrobků v zadaném pracovním prostoru slouží souřadnicový systém stroje. Ten systém ve vlastním stroji je aktivován řídicím systémem po zapnutí stroje. Výrobní stroje používají kartézský systém souřadnic. Ten systém je pravotočný a pravoúhlý s osami X, Y, Z (podle DIN 66217 a ISO 841). Osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, kladný smysl probíhá od obrobku k nástroji. Umístění tohoto souřadnicového systému závisí na typu stroje (viz. obr. 2.3). [3]



Obr. 2.1 Pravotočný souřadnicový systém [19].

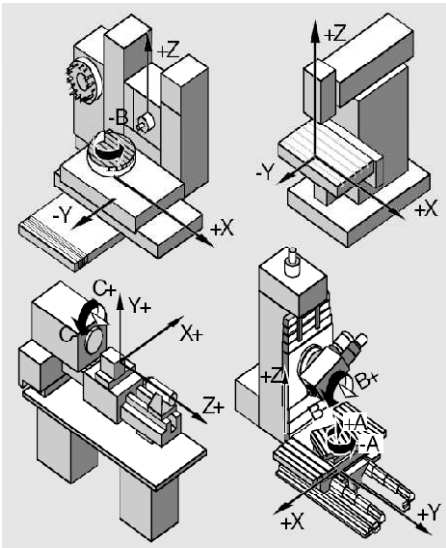
Klasické CNC stroje používají dvě osy X,Y (soustruhy) nebo tři osy X,Y,Z (frézky). Ale v závislosti na technickém řešeni CNC stroje a náročnosti součásti, která má byt obráběna, jsou taky používaný další (doplňkový) osy souřadnicových systémů. Vyznám jednotlivých os je popsán v tabulce 2.1. [3]



Obr. 2.2 Základní a doplňkový osy [16].

Tab. 2.1Jednotlivý osy a jejích vyznám [3, 16].

Označení osy	Význam
X,Y,Z	osy určují geometrie pohybu nástroje
A,B,C	rotační osy jsou používány pro označeni přídavných rotačních pohybů v základních osách pokus jejich umožňuje provádět konstrukce stroje, kladný směr je dosazen otáčením směrem hodinových ručiček při pohybu kladným směrem hlavní osy.
I,J,K	doplňkový osy parametry interpolace nebo jsou používány pro zadání stoupáni zavitu v jednotlivých osách
U,V,W	sekundární osy přídavné pohyby v osách, jsou rovnoběžný s hlavními osami a kladný smysl je s hlavní osou shodný.
P,Q,R	terciáni doplňkový osy pro programování manipulátorů u strojů



Obr. 2.3 Souřadnicový systém pro různé druhy strojů [18].

Počátkem každého souřadného systému je nulový bod. Aby se CNC řídicí systém mohl orientovat v pracovním prostoru stroje, existuje taky několik následujících vztažných bodů.

Nulový bod stroje – M

je stanoven výrobcem, zapsán v průvodní dokumentace stroje a nemůže být nějakým snobem měněn. Je počátečným bodem pro všichni další souřadnicové systémy a vztažné body. Umístění tohoto bodu se liší podle typu stroje: u soustruhů on je umístěn v ose rotace obrobku a leží na dorazové ploše konce vřetena (viz obr. 2.4), ale u frézky – v místě krajní polohy stolu frézky v obou osách(z pohledu obsluhy je to vlevo, vpředu). [3, 19]

Nulový bod obrobku – W

je stanoven programátorem, a proto tomu se taky říká nulový bod programu. Slouží jako počáteční bod souřadnicového systému obrobku a je vkládán do nejvýhodnějšího místa na obrobku pro zjednodušení spočítáni jednotlivých geometrických bodů při tvorbě programu. Při frézování je tento bod umístěn do toho místa na obrobku, od kterého začíná většina kotování na výkrese, ale při soustruženi nulový bod leží na ose otáčení a většinou na čelní ploše obrobku. [3, 19]

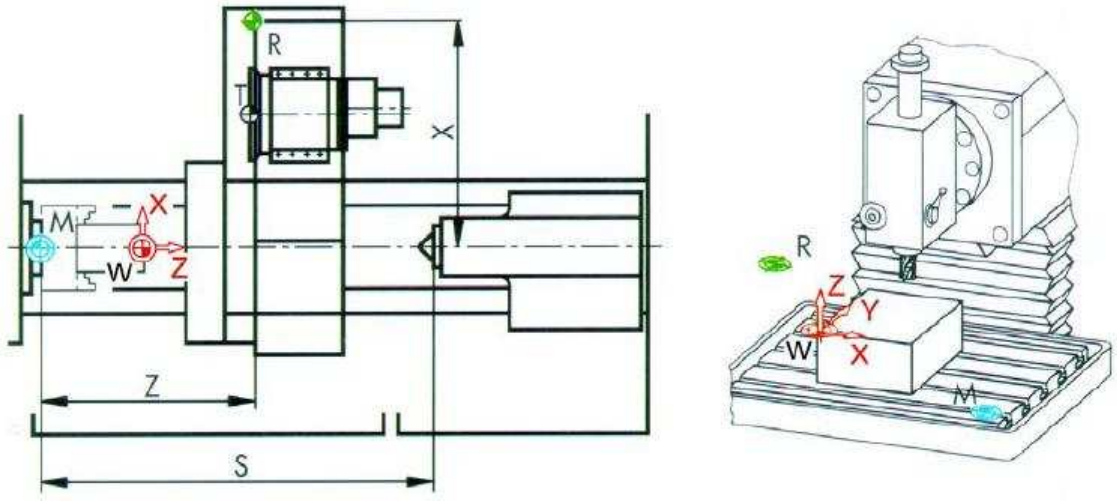
Referenční bod stroje – R

je taky stanoven výrobcem. Vzdálenosti nulového a referenčního bodů stroje jsou výrobcem nastaveny a uloženy do pamětí ŘS jako strojní konstanty. Z důvodů že na nulový bod stroje zpravidla nedá najíždět, vynulování odměřovacího systému je účelem najíždění na tento bod (důležitě pro stroje s přírůstkovým odměřováním polohy suportů), a proto je ten bob vztažen k měřicímu systému stroje. Stroje s absolutním odměřováním polohy tento bod nepoužívají. [3, 19]

Vztažný bod suportu nebo vřetene – F

nejdůležitější bod pro vložení nástroje, délkovou korekci nástroje; u soustruhu je bodem výměny nástroje na vřetenové hlavě, ale u frézky je umístěn na cele vřetene a v ose její rotace. [3, 16]

Pro přesnější polohování nástroje a obrobku v pracovním prostoru stroje mohou taky byt používány následující ba body: pod špičky nástroje P (je používán pro stanovení délkové korekci a následně rádiusové korekce nástroje) a bod nastavení nástroje E (je umístěn na drážku nástroje a se po upnutí nástroje ztotožní se vztažným bodem suportu nebo vřetene). [3]

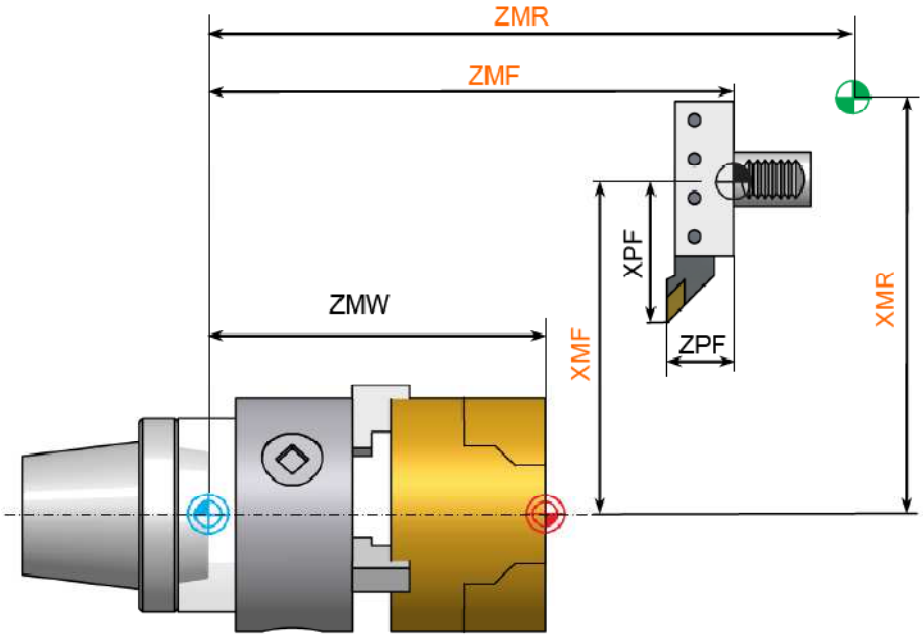


Obr. 2.4 Nulové doby strojů [19].

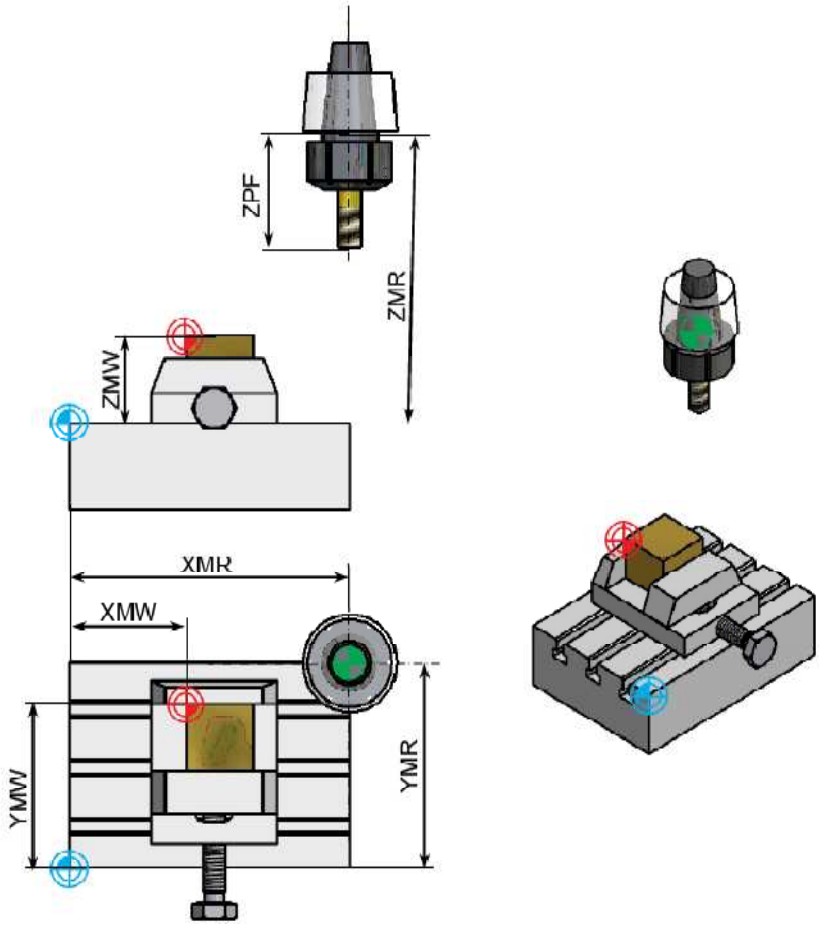
Pro každý stroj můžeme spočítat umístění každého bodu (viz. obr. 2.5 a 2.6). Zkratky na těchto obrázkách jsou popsané v tabulce 2.2.

Tab. 2.2 Vzdáleností v pracovním prostoru strojů [16].

XMR YMRR ZMR	vzdálenost mezi nulovým bodem stroje a referenčním bodem v jednotlivých osách; je stanovena výrobcem stroje.
XMW YMW ZMW	vzdálenost mezi nulovým bodem stroje a nulovým bodem obrobku
XPF ZPF	vzdálenost mezi vztažným bodem suportu a bodem špičky nástroje
XMF ZMF	vzdálenost mezi nulovým bodem stroje a vztažným bodem suportu nebo vřetene; je stanovena výrobcem stroje a zapsána do paměti řídicího systému



Obr. 2.5 Vzdáleností mezi body v pracovním prostoru soustruhu [17].



Obr. 2.6 Vzdáleností mezi body v pracovním prostoru frézky [16]

2.2 Korekce nástrojů

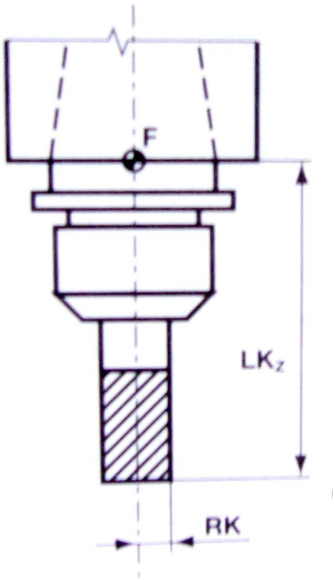
Jedním z nejdůležitějších pojmu při obrábění součásti je správně nastavení vzdáleností mezi obrobkem a nástrojem. Jedna se o definici korekce nástroje.

Pro každý nástroj můžeme vždy zjistit korekce délkovou a rádiusovou. Jedna se také i o korekci výsledné, což je superpozicí obou korekcí a vytvař ekvidistantu kontury obrobku. Podle korekci uvedené v NC programu ŘS koriguje a spočítá správnou dráhu nástroje, aby byly dodrženy požadované rozměry a kvalita povrchu výsledné součásti. [3]

Korekce délkové se zjišťuji u všech nástrojů (pro osové nástroje, jako vrtáky, výhrubníky, výstružníky apod., se pouze tato korekce uvádí) a je hlavně zamřena na zjištění délkových vzdáleností v osách souřadného systému. Pro soustružnické nástroje se měří v osách X, Z mezi vztažným bodem na držáku nástroje a špičkou nástroje v bode P (viz. obr. 2.7). U rotačních nastrojuj je tato korekce měřena v ose Z od vztažného bodu na cele vřetene frézky k čelu (fréza), špici (vrták) a vrchu polokoule (kulová fréza) nástroje. [3]

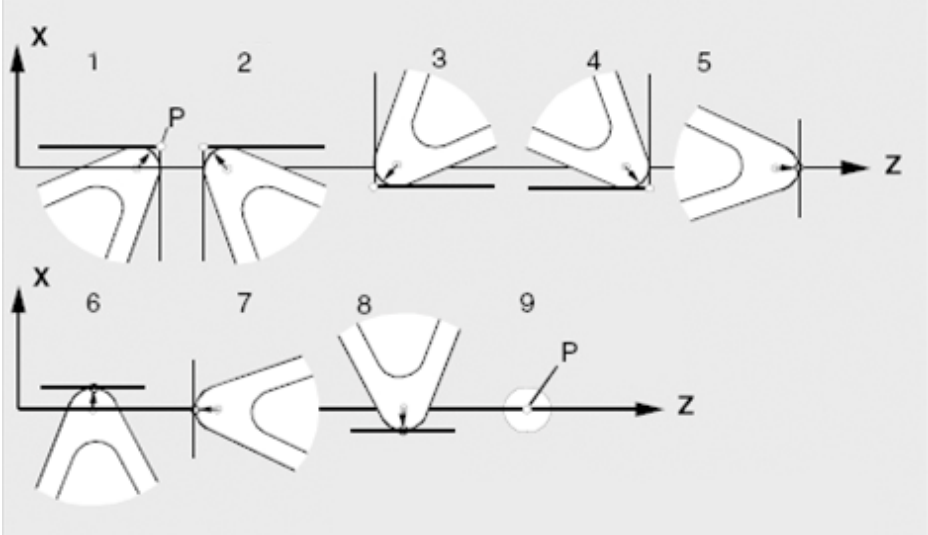
Korekce rádiusové se tyká velikosti rádiusu špičky soustružnických nástrojů a rádiusu fréz. Dodržení výkresových rozměrů součásti a požadované jakosti obráběné plochy mimo jiné závisí na velikosti špičky nástrojů. O ten rádius

vyrobeny kontur by se měl vždy odchylovat od zadaného. Z tohoto důvodu matematicky aparát ŘS vypočítá ekvidistantu, která je vzdálena o poloměr rádiusu od zadané kontury (funkce G40, G41, G42). Je důležitě i správně polohování nástroje vůči obráběné plochy pro správný výpočet ekvidistanty (viz obr. 2.8). [3]



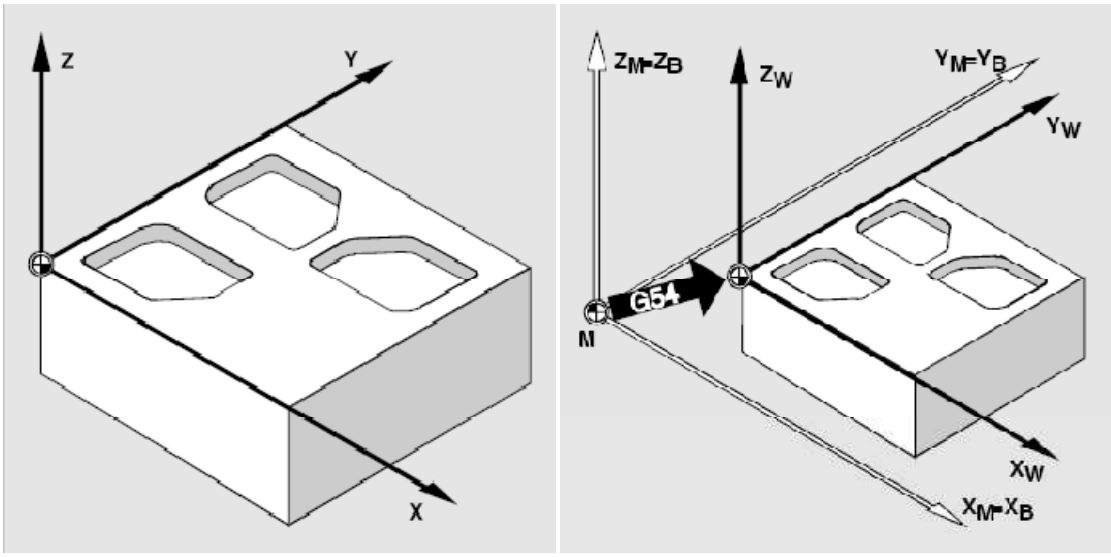
Obr. 2.7 Dálková a rádiusová korekce nástrojů [3].

Současné ŘS, ke kterém patří také ŘS Sinumerik 840D, jsou vybaveny tabulkou nástrojů, do které všechna informace o nástrojích je zapsána. Při spuštěni NC programu je ta informace používána pro výpočet správného konturu obrábění. Do NC programu informace o nástroje a korekci je uváděna ve tvaru T1 D1, kde T1 je pozice skutečného nástroje v tabulce. D1 značí, že nastroj T1 má korekce, které do tabulky jsou zapsány pod symbolem D1. [16]



Obr. 2.8 Možností nastavení špičky nástroje [18]

NC program je vytvořen v souřadnicovém systému obrobku. Ten systém je kartézským systémem a umístěn na povrchu obrobku v určitém bodě. Přechod od souřadného systému stroje do souřadného systému obrobku je pomocí funkce G54. [18]

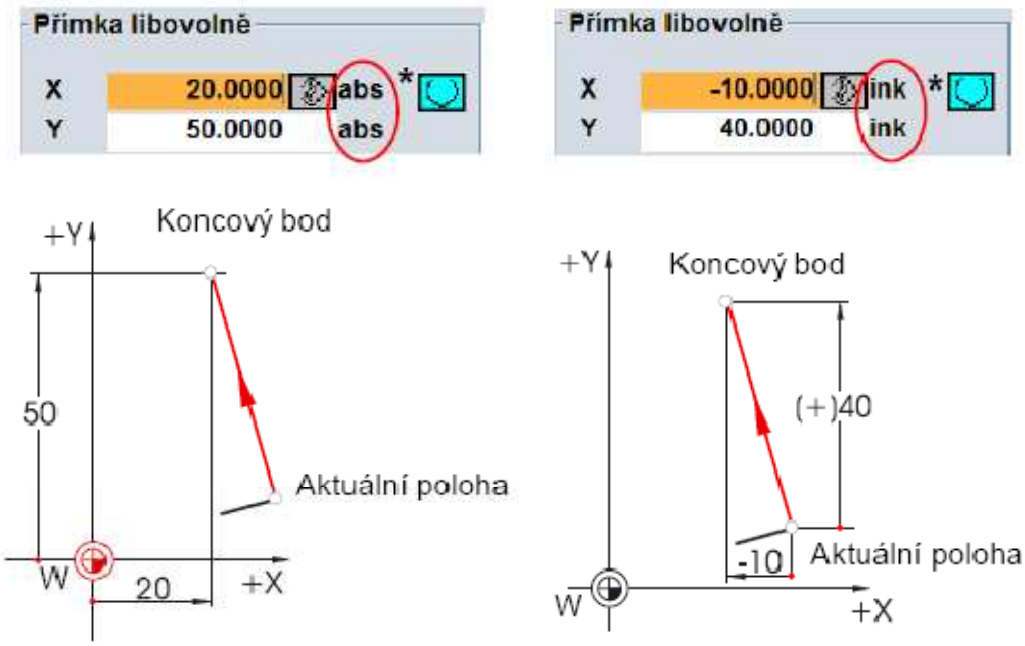


Obr. 2.9 Souřadnicový systém obrobku [16].

CNC řídicí systémy umožňuje podle zvolení programátoru dva způsobů odměřování rozměrů: absolutní a přírůstkový.

Programování v absolutních souřadnicích – hodnoty se vztahují na nulový bod obrobku, každá zadaná hodnota popisuje konečnou pozice koncového bodu nástroje v aktivním souřadném systému (je v programu označováno pomocí funkce G90). [16]

Programování přírůstkové (inkrementální) – hodnoty se vztahují na aktuální polohu, do programu jsou zapsaný rozdílové hodnoty mezi aktuální polohou a koncovým bodem nástroje za zohledňování směru (je v programu označováno pomoci funkce G91). [16]



Obr. 2.10 Absolutní a přírůstkové programování [19].

2.3 ISO programování

Nejstarší metoda programování CNC strojů. Pro použití metody ISO programování je vždy potřebná odborná znalost G kódu a jednotlivých příkazů.

Každý NC program či Part program je posloupnosti znaků, které jsou uspořádaný do bloků (vět). Každá věta se skládá z jednotlivých příkazů (slov). Struktura programu v bloku je uvedena v tabulce 2.3. [3]

Tab. 2.3 Struktura NC programu [3].

N40 G00 X100 Z-50				blok (veta)
N40	G00	X100	Z-50	příkaz (slovo)
N	G	X	Z	adresa
40		00		významná část
100		-50		rozměrová část

Pro větší přehlednost a zjednodušení kontroly programu je doporučené pořadí ve větě: N… G… X… Y… Z… I… J… K… F… S… T… D…M…. Přičemž adresy GXYZIJK jsou používané pro zápis informace geometrické (přesně definuji pohyb nástrojů v pracovním prostoru) a adresy FSTM – pro informace technologické (zaručují výběr potřebných nástrojů a nastavení správných řezných parametrů). Význam nejdůležitějších adres je uváděn v tabulce 2.4. [3, 16]

Tab. 2.4 Označení adres a jejích vyznám [3].

Písmeno	Význam
X Y Z	Základní osy souřadného systému.
A B C	Rotace kolem základních os.
I J K	Parametry interpolace nebo stoupáni závitu ve směru os.
P Q R	Pohyb paralelně poděl základních os.
R	Označení parametrů.
U V W	Druhy pohyb paralelně se základními osami.
T	Nastroj.
D	Paměť korekce nástrojů.
G	Hlavní (přípravná) funkce (zpracovávají geometrické informace).
M	Pomocná (přídavná) funkce (vyvolávají činnosti mechanismu stroje).
N	Číslo bloku (věty). Každá věta musí začít těmto písmenem a číslem, podle kterých řídicí systém čte a stroj vykonává zadané příkazy.
F	Posuv (je zadán v mm za otáčku u soustruhu, [mm·ot $^{-1}$], a v mm za minutu u frézky,[mm·min $^{-1}$]).
S	Otáčky vřetene (jsou zadané za minutu, [min $^{-1}$]); konstantní řezná rychlost (podle normy, [m·min $^{-1}$]).
L	Volání podprogramu

ŘS Sinumerik 840D používá velký rozsah G a M funkce a proto pouze některý jsou uvedeny v tabulkách 2.5 a 2.6.

Tab. 2.5 Hlavní (přípravná) G funkce [3, 16].

Označení funkce	Význam
G00	Lineární interpolace rychloposuvem
G01	Lineární interpolace pracovním posuvem
G02	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G03	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G17	Pracovní rovina XY
G18	Pracovní rovina ZX
G19	Pracovní rovina YZ
G33	Řezání závitu
G40	Zrušení korekce
G41	Zapnutí korekce rádiusů (nástroj vlevo od kontury)
G42	Zapnutí korekce rádiusů (nástroj vpravo od kontury)
G54-G59	Posunutí nulového bodu
G90	Absolutní programování
G91	Přírůstkové programování
G94	Zapnutí posuvu pro frézky, [mm·min $^{-1}$]
G95	Zapnutí posuvu pro soustruhy, [ot·min $^{-1}$]
G96	Zapnutí konstantní řezné rychlosti, [m·min $^{-1}$]

Tab. 2.6 Pomocná (přídavná) funkce [3,16].

Označení funkce	Význam
M00	Programovatelné zastavení programu
M03	Otáčky vřetene ve směru hodinových ručiček
M04	Otáčky vřetene proti směru hodinových ručiček
M05	Zastavení vřetene
M06	Výměna nástroje
M08	Zapnutí hlazení
M09	Vypnutí hlazení
M17	Konec podprogramu
M30	Konec programu

2.4 Parametrické programování.

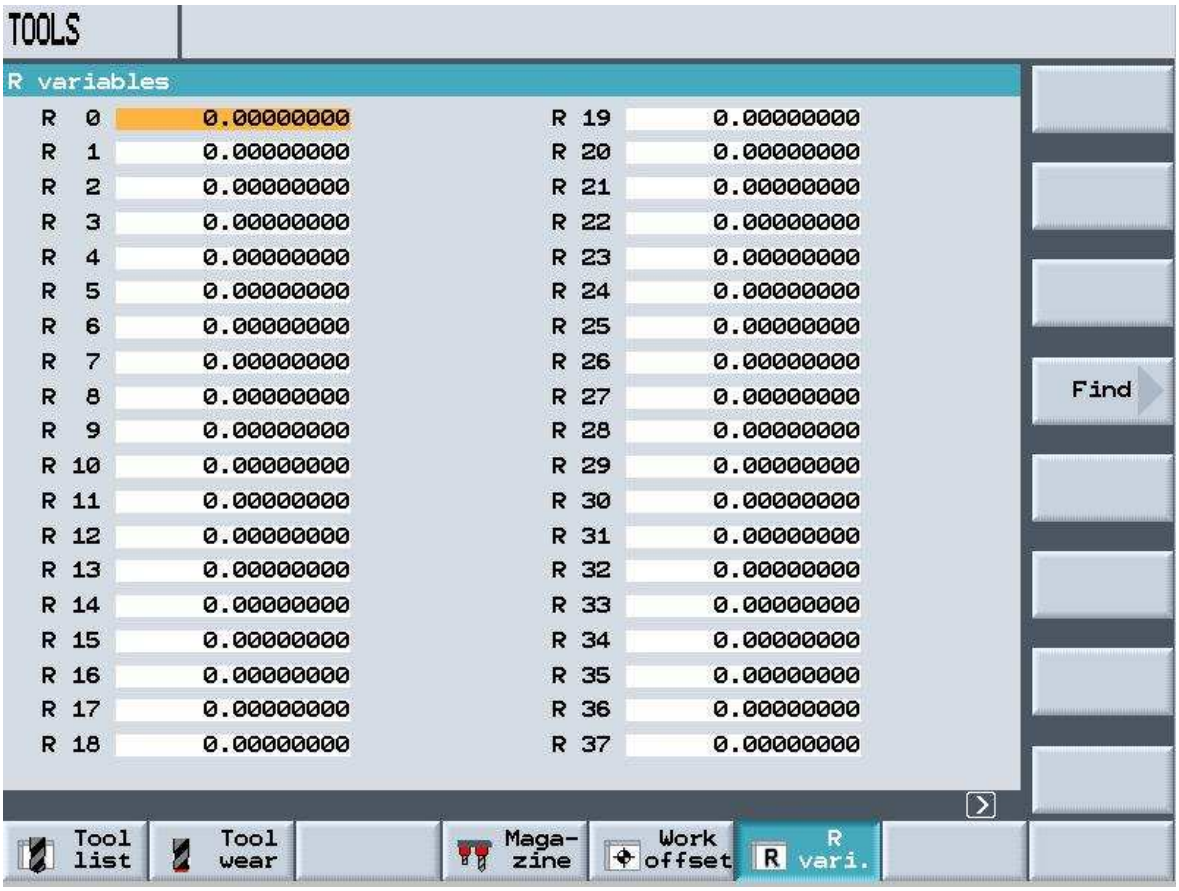
Na rozdíl od ISO programování do NC programu není zapsaný číselné hodnoty, ale jsou uváděny proměnny parametry, což zvětšuje flexibilitu programování. Potřebný vstupní hodnoty pro řízení obrábění jsou zadaný do tabulky hodnot, která není součástí programu. Tyto hodnoty jsou do programu importovaný po jeho spuštění a následně používané pro polohování nástroje. Výhodou parametrického programování je možnost výroby tvarové podobných součástí změnou parametru bez editace či tvorby nového NC programu. [3, 20, 21]

Parametrické programování je také používané v případě pohybu nástroje po matematické definované křivce. Tato křivka musí byt vyjádřena pomocí standardních aritmetických funkcí (čítání, odčítání, násobení, dělení, sinus SIN (x), druha odmocnina SQRT(x) a další). [16, 20]

ŘS systém Sinumerik 840D umožňuje až tisíců R-parametrů (R0 až R999). Pro zápis parametrů jsou používané následující datový typy:

- INT – cele čísla v rozmezí $\pm(2^{31}-1)$;
- REAL – reální hodnoty $\pm (10^{-300}-10^{+300})$;
- BOOL - logický datový typ Boolean, vyjádřen jednou z hodnot 1 (true - pravda) nebo 0 (false - nepravda);
- CHAR – textová informace zapsána pomoci ASCII kódu v rozmezí 0… 255;
- STRING – textový řetězec zapsány posloupnosti hodnot 0… 255.

Proměnna do tabulky může byt zapsána exponenciálně (hodnota EX v rozmezí (-300)… (+300): R1= 12340000 nebo R1=1.234EX8). [16, 21]



Obr. 2.11 Tabulka R-parametrů ŘS Sinumerik 840D

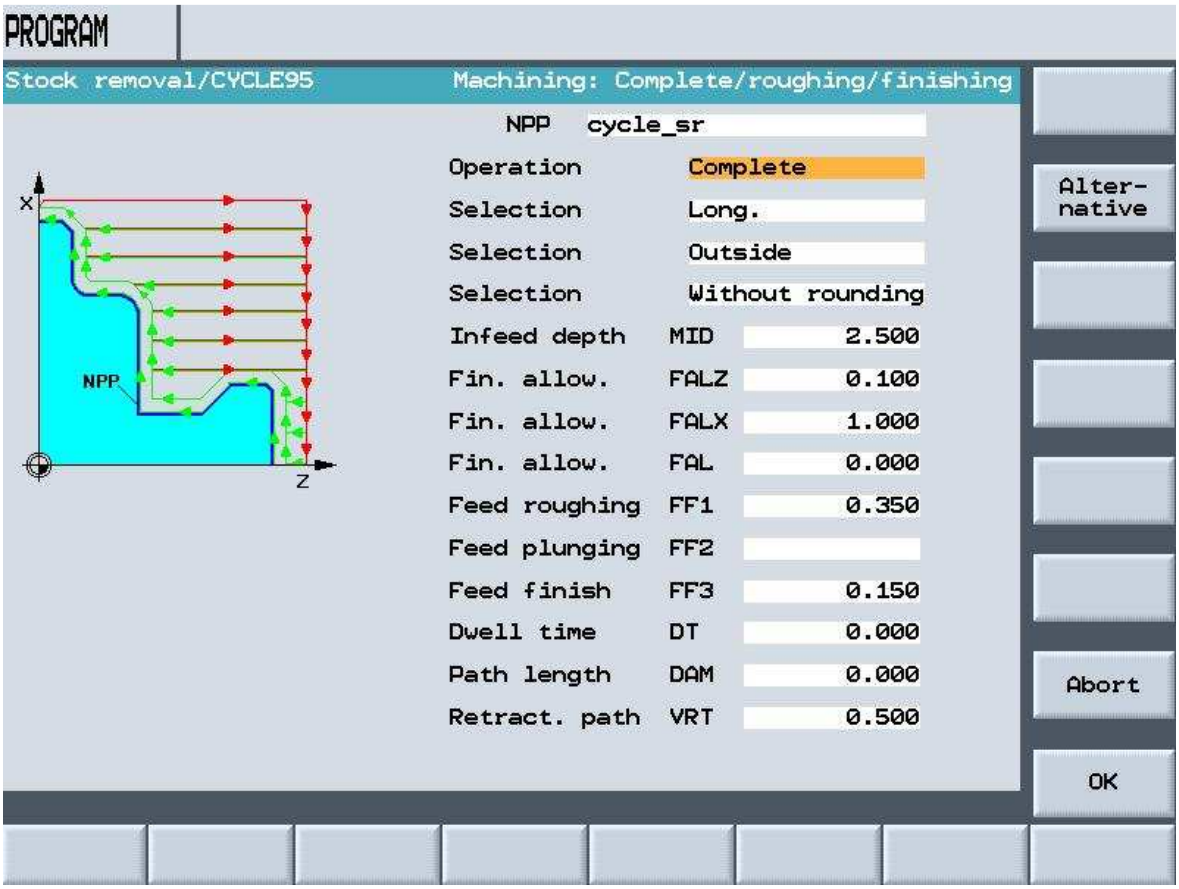
2.5 programování pomoci cyklů

Pro zefektivnění procesu tvorby NC programů je používané nejen parametrické programování, ale také programování pomoci cyklů. RS Sinumerik 840D obsahuje

cykly pro soustružení, frézování a vrtání (nejpoužívanější cykly jsou uvedeny v tabulce 2.7).

Tab. 2.7 Cykly v ŘS Sinumerik 840D [22].

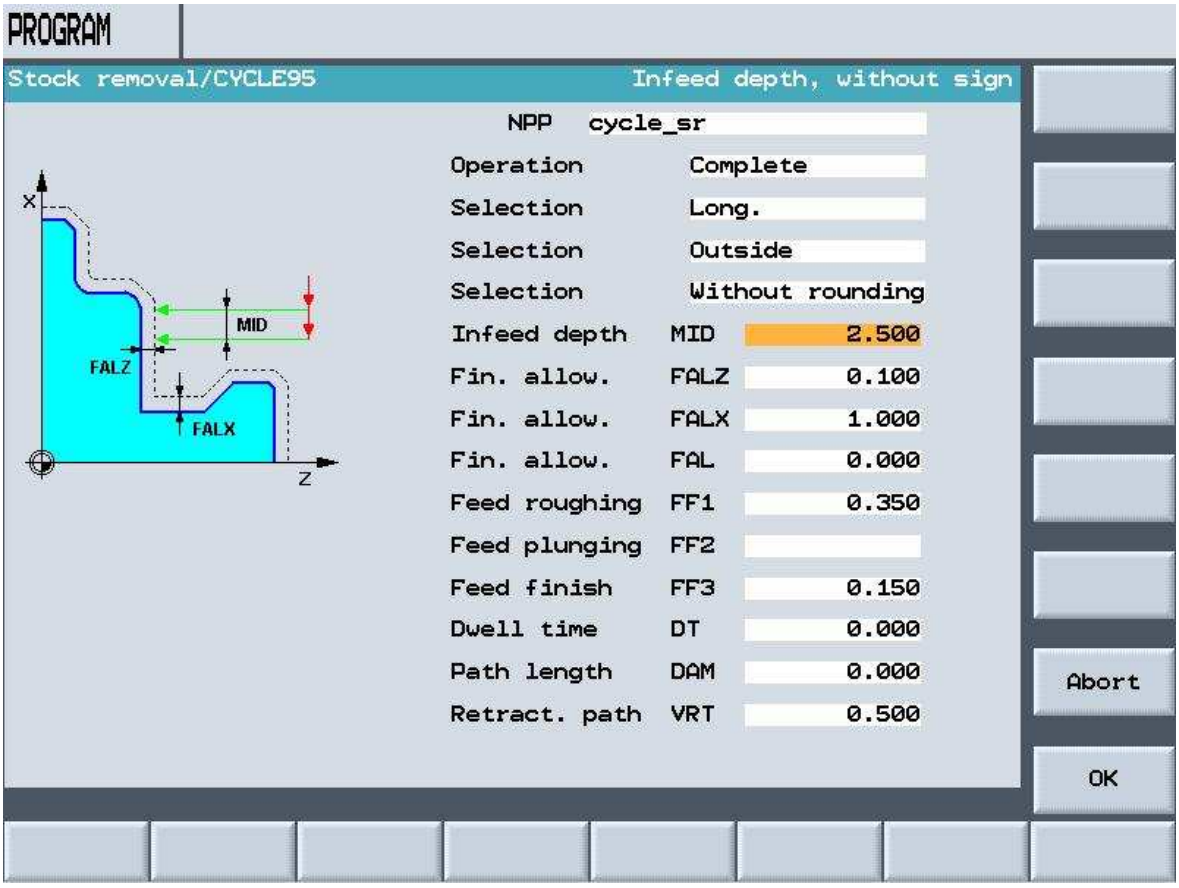
Označení cyklu	Význam
CYCLE81	Vrtání středicích důlků
CYCLE83	Vrtání hlubokých děr
HOLES1	Vrtání řady děr
HOLES2	Vrtání děr na kružnice
CYCLE801	Vrtání děr na mřížce
POCET1	Frézování obdélníkové kapsy
POCET2	Frézováni kruhové kapsy
CYCLE71	Čelní frézování
CYCLE72	Frézování kontury
CYCLE93	Soustružení drážky
CYCLE94	Soustružení zápichu (tvar D a F podle DIN)
CYCLE95	Soustružení podle kontury
CYCLE96	Soustružení zápichu zavitu (tvar A, B, C a D podle DIN)
CYCLE97	Řezání závitů



Obr. 2.12 Dialogové okno CYCLE95

Tab. 2.8 Význam jednotlivých položek cyklu CYKLE95.

Označení položky	Význam
NPP	Název podprogramu kontury
Operation	Typ operace (hrubování, dokončování, společný)
Selection	Směr odebírání třísky (podélný a příčný)
Selection	vnější nebo vnitřní soustružení
Selection	Obrábění s nebo bez zaokrouhlení kontury
MID	Hloubka záběru ostří
FALZ	Přídavek na dokončování směrem osy Z
FALX	Přídavek na dokončování směrem osy X
FAL	Celkový přídavek kontury
FF1	Posuv při hrubování
FF2	Posuv při zahloubení
FF3	Posuv pro dokončování
DT	Doba zlomení třísky při hrubování
DAM	Draha před zlomením třísky
VRT	Draha odjezdu (zádava inkrementální)



Obr. 2.13 Dialogové okno CYCLE95

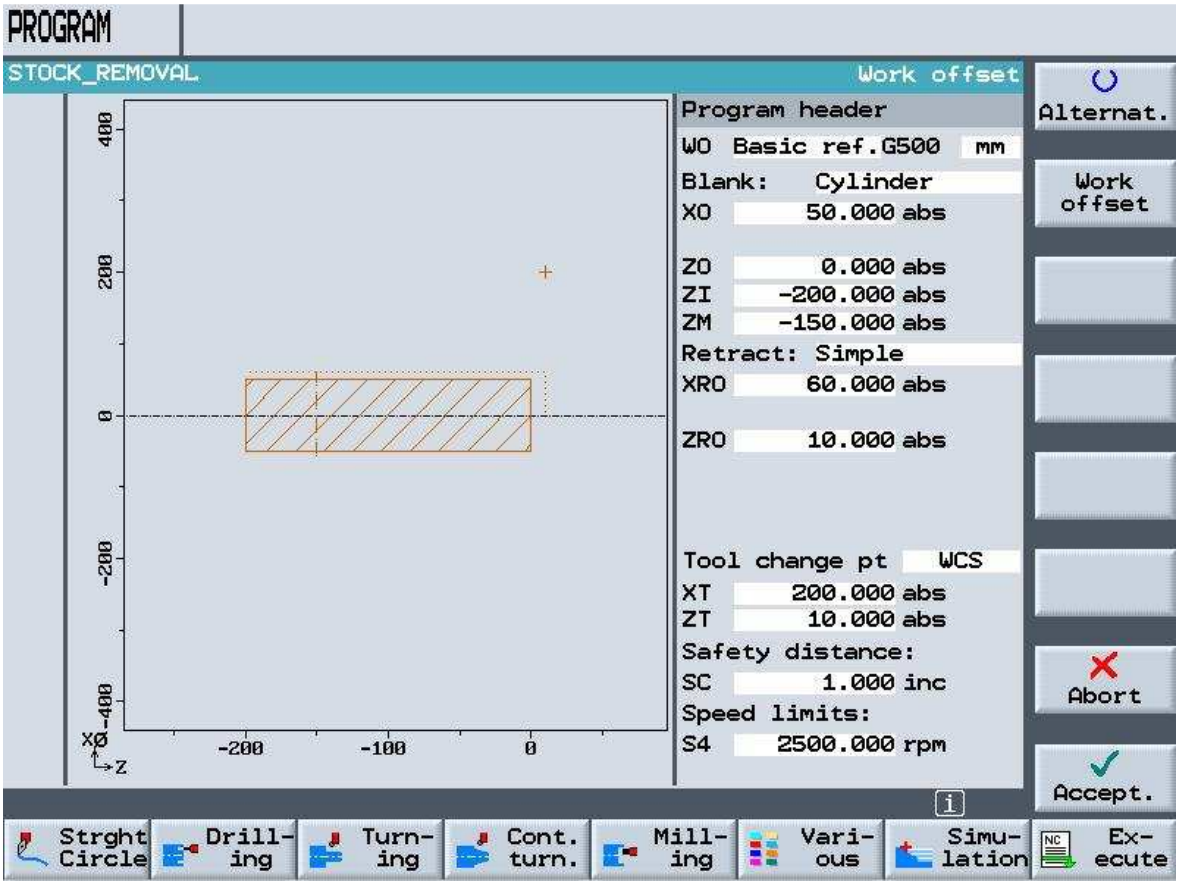
Před voláním cyklu musí programátor do NC programu zadat v G-kódu parametry obrábění (pracovní rovinu, nulový bod, posuv, nástroje a korekce apod.) a v podprogramu definovat požadovanou konturu. Dialogové okno obsahuje další parametry, které potřebné pro programování samotného cyklu obráběni (význam

jednotlivých položek je uváděn v tabulce 2.8). K dispozici je také grafický návod pro usnadnění pochopení významu parametrů. Při nastavení hodnot jednotlivých položek grafický návod se mění (viz. obr. 2.12 a 2.13).

2.6 Programování dílenské

Tato metoda programování pro ŘS Sinumerik 840D je realizována pomocí modulů ShopMill (frézováni) a ShopTurn (soustružení).

Programováni dílenské se liší od ISO/DIN programování. Pro tvorbu NC programu není podmínkou znalosti G kódu, programování je vedeno v grafickém uživatelském prostředí s vizuálním zobrazením pracovních postupů jednotlivých operací a cyklů. Zvolit programování dílenské nebo v G kódu programátor musí před založením programu. Hlavní rozdíl je v tom, že po zvolení programování v G kódu není možně používat funkce dílenské orientovaného programování. [23]



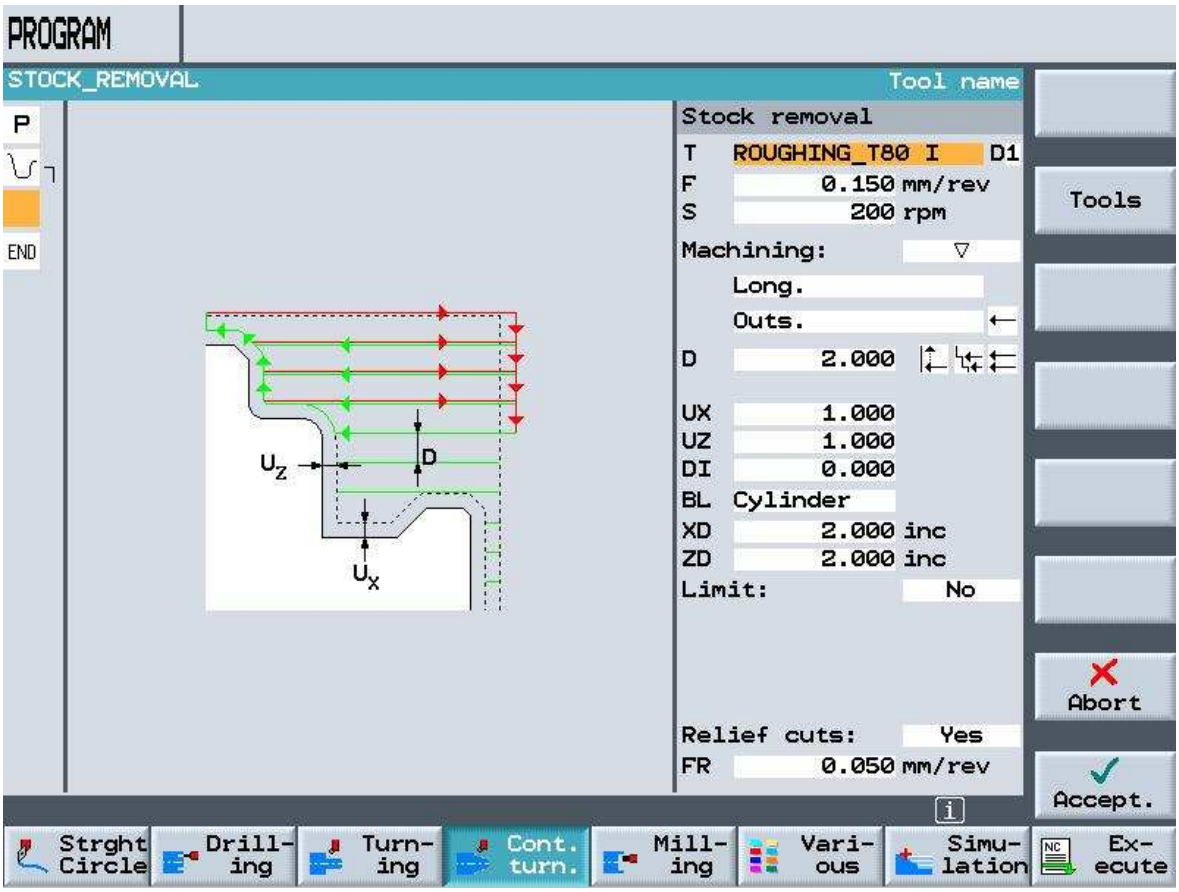
Obr. 2.14 Definování polotovaru v prostředí ShopTurn

Programování v dílenském prostředí probíhá hlavně pomocí horizontální a vertikální lišt, do kterých jsou zapsány jednotlivé technologie obrábění. Na začátku programu musí byt definován polotovar a nulový bod obrobku (viz. obr. 2.14). Význam jednotlivých položek je uveden v tabulce 2.9. Dalším krokem je zvolení na horizontální liště tlačítka *Cont. Turning* (Soustružení) a tlačítka *Stock removal* (obrábění kontury) na vertikální liště. Objeví se nové dialogové okno, do kterého programátor musí zapsat parametry potřebné pro jednotlivou technologickou

operaci. V daném případě jako příklad je uvedeno dialogové okno pro obrábění kontury (viz. obr. 2.15).

Tab. 2.9 Význam jednotlivých položek dialogového okna pro definování polotovaru

Označení položky	Význam
X0	Vnějšní průměr
Z0	Počátečný rozměr
Z1	Konečný rozměr
ZM	Vzdálenost upnutí obrobku
Retract	Odjezd nástroje
XR0	Odjezd nástroje (osa X)
ZR0	Odjezd nástroje (osa Z)
Tool chase point	Bod výměny nástroje
XT	Vzdálenost výměny nástroje (osa X)
ZT	Vzdálenost výměny nástroje (osa Z)
SC	Bezpečna vzdálenost
S4	Maximální otáčky vřetena



Obr. 2.15 Dialogové okno pro obrábění kontury v prostředí ShopTurn

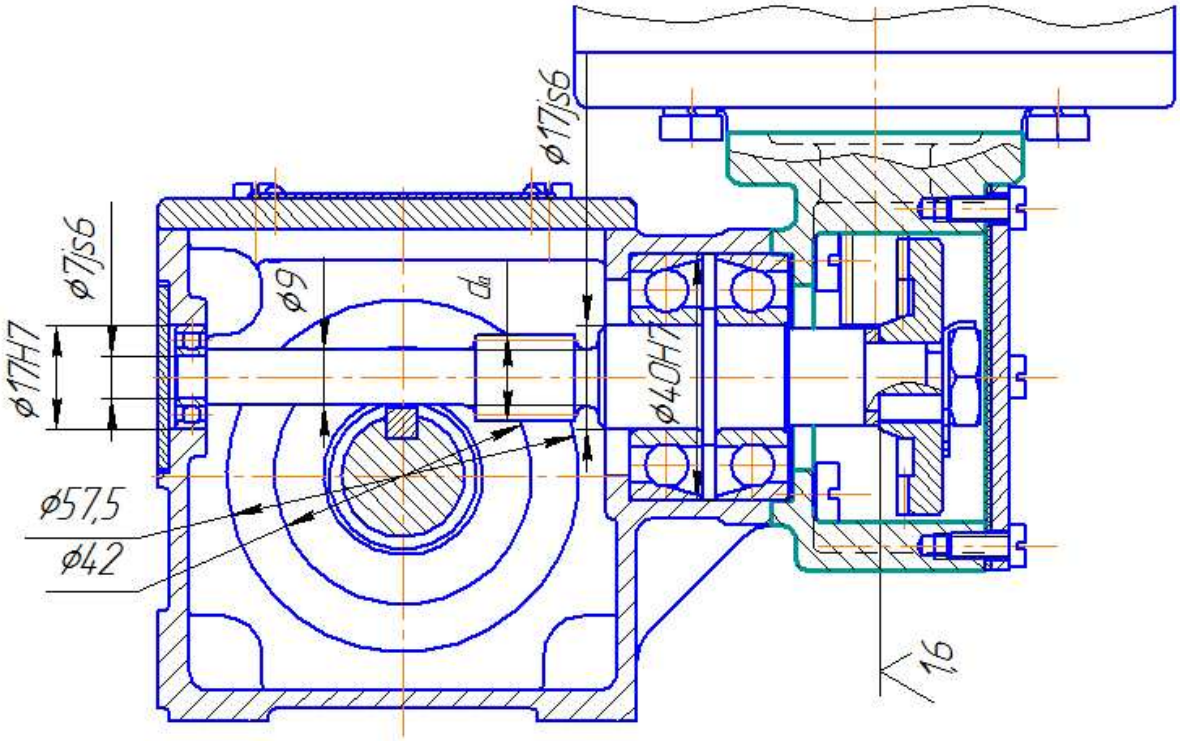
3 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE SOUČÁSTI

Zpracování technické dokumentace na bázi výkresu součásti je důležitým aspektem výrobního procesu. Tato informace je následně uvedena v NC programu a umožňuje výrobu součásti a dodržení požadovaného tvaru a kvality povrchu. Pro danou součást je potřebně vytvořit 3D model, zpracovat technologický postup, zvolit obráběcí stroj a nástroje potřebné pro výrobu dané součásti, zvolit řezné podmínky.

V následujících kapitolách na základě této informace budou popsány jednotlivé technologie obrábění potřebné pro výrobu součásti.

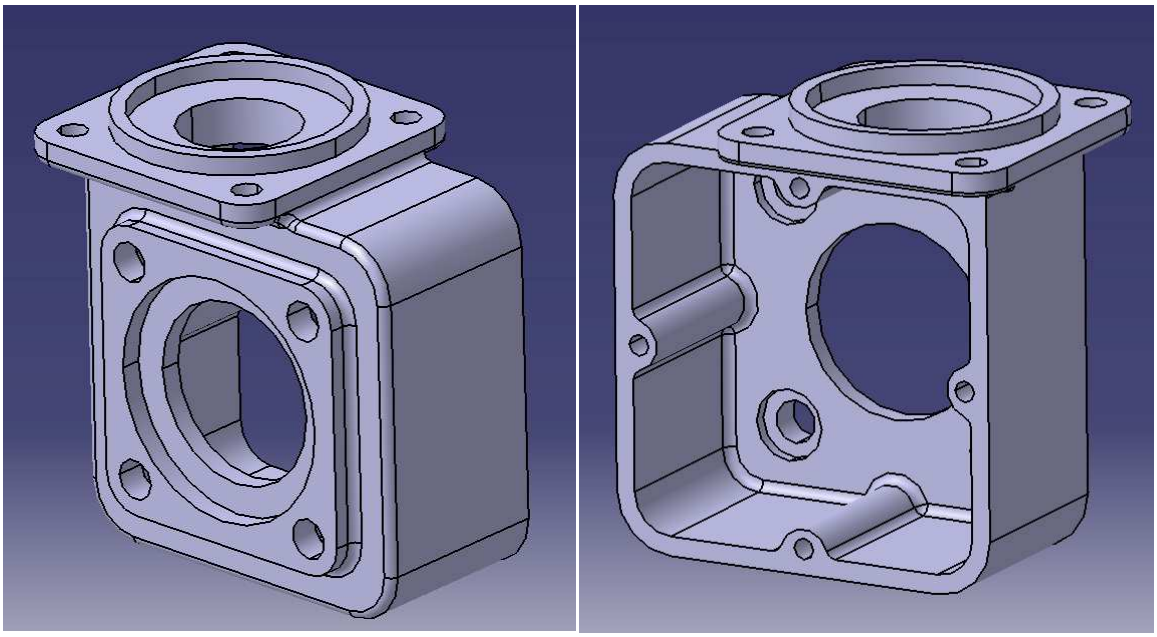
3.1. Součást – skříň převodovky

Možností ŘS Sinumerik 840D budou ukázaný při programování obrábění součásti – skříň (viz. příloha č. 1). Tato součást je důležitým dílem převodovky, na obrázku 3.1 ona je označena zelenou barvou. Z toho vypadá, že součást je úsekem rozměrového řetězce, který zabezpečuje správnou montáž a činnost soukolí. Pro některé plochy součásti jsou požadované konstruktérem vysoka přesnost a kvalita obrábění (například plocha pro umístění ložiska).



Obr. 3.1 Umístění součásti do sestavy

Na bázi výkresu byla vypracována 3D model součásti.



Obr. 3.2 3D model součásti skříň převodovky

3.2. Materiál obrobku

Materiálem součásti dle výkresu je hliníková slitina na odlitky AK5M2 dle GOST 1583-93. Jedna se o slitině na bázi Al-Si-Cu (hliník-křemík-měď), která má velice rozsahové chemické složení a proto není vždy možně přesně stanovit její fyzikální a mechanické vlastnosti. Legující prvky ovlivňují vlastností slitiny: měď zvyšuje pevnost a zlepšuje obrobitelnost, mangan zlepšuje tvárnost a slévatelnost. Křemík je klíčovým prvkem, který ovlivňuje tekutost, což je významnou výhodu pro výrobu odlitků. Slitiny hliníku mají dobrou obrobitelnost, lze používat vysoké rychlostí obrábění. [27]

Tato slitina se patří mezi žáruvzdorné slitiny (pracovní teplota 250-275℃). Je používána pro výrobu nízko namáhaných součásti. Přibližně chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách.

Tab. 3.1 Chemické složení slitiny AK5M2 [26].

Prvek	Obsah, %
Fe	max. 1,3
Si	4-6
Mn	0,2-0,8
Ni	max. 0,5
Ti	0,05-0,2
Al	85,9-94,05
Cu	1,5-3,5
Mg	0,2-0,8
Zn	max. 1,5
Přísadky	max. 2,8

Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti slitiny AK5M2 [26].

Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	118-206 MPa
Tažnost A_{50}	0,5-2 %
Tvrdost podle Brinella HB	65-75 MPa

Zvoleným polotovarem pro tuto součást je odlitek přesnosti 5-5-5-6 Sm 0,24 dle GOST 26645-85. Uvedené čísla vyznačují požadavky na přesnost rozměrů odlitku a hodnoty přídavků na obrábění.

3.3 Obráběcí stroj

Pro výrobu součásti je používán vertikální obráběcí centrum MCV 1210 firmy TAJMAC-ZPS, a.s, kterým je vybaveno pracoviště odboru Strojírenské technologie, FSI VUT v Brně (viz. obr. 3.3). Tento stroj je určen pro výrobu součástí složitých prostorových tvarů, je používán v automobilovém a leteckém průmyslu. Umožňuje obrábění ve třech a pěti osách, z hlediska technologie obrábění umožňuje frézování, vrtání, vystružování, řezáni a frézování závitů. Technické parametry stroje MCV 1210 jsou uvedený v tabulce. [24, 25]

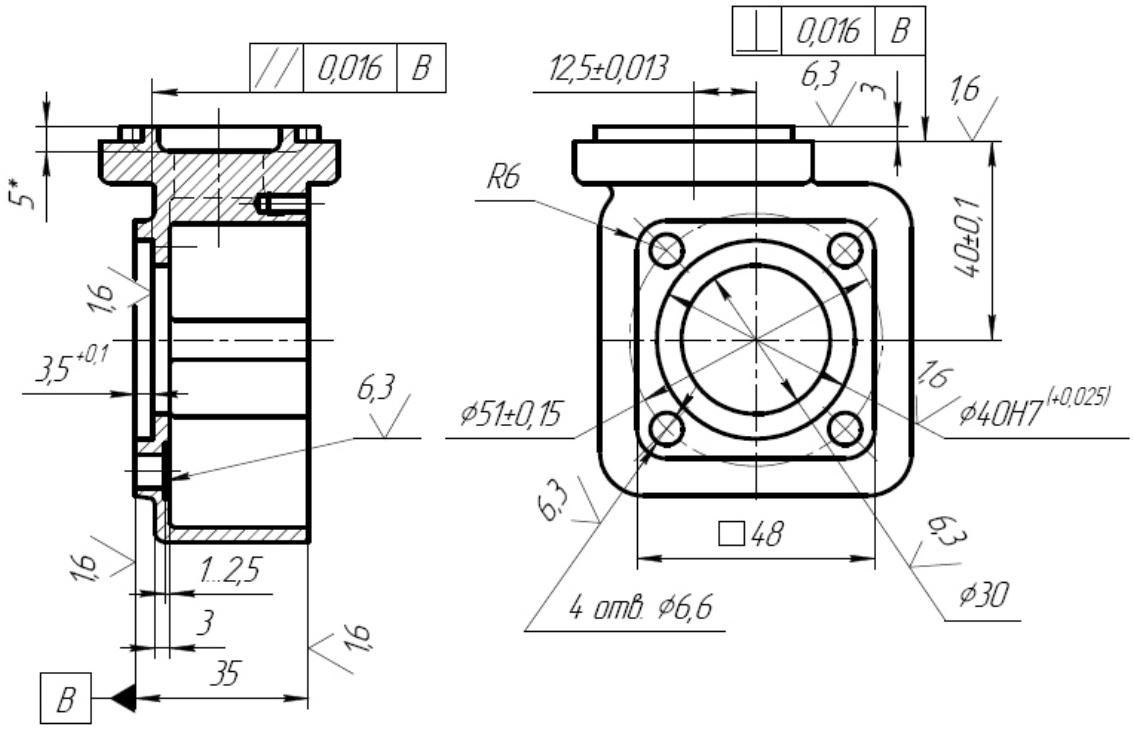
Obr. 3.3 Vertikální obráběcí centrum MCV 1210 [24]

Tab. 3.3 Technické parametry obráběcího centra MCV 1210 [24].

Pracovní pojezd	
Osa X – křížový suport	1 000 mm
Osa Y - příčník	800 mm
Osa Z - smýkadlo	600 mm
Pracovní stůl	
Pracovní plocha	1 200 × 1 000 mm
Počet T-drážek	11
Rozměr drážek – druhá drážka zprava	18H7 mm
– ostatní drážky	18H8 mm
Rozteč drážek	100 mm
Maximální zatížení	3 000 kg
Posuvy v osách	
Max. pracovní posuv	20 $m \cdot min^{-1}$
Rychloposuv	40 $m \cdot min^{-1}$
Maximální zrychlení os	5 m/s^2
Vřetenová jednotka	
Typ	elektrovřeteno
Max. otáčky vřetena	15 000 min^{-1}
Max. výkon vřetena	31
Max. krouticí moment vřetena	197
Upínací kužel	ISO 40
Automaticky zásobník nástrojů	
Počet nástrojů v zásobníku	30
Čas výměny nástrojů (nastroj - nastroj)	3,5 s
Max. průměr nástroje	
– při obsazených sousedních místech v zásobníku	80 mm
– při neobsazených sousedních místech v zásobníku	115 mm
Maximální délka nástroje	250 kg
Maximální hmotnost nástroje včetně držáku	6,5 kg
Rozměry a hmotnost	
Rozměry stroje	3 723 × 3 015 × 3 131 mm
Stroj	9 850 kg
Stroj (včetně zásobníku nástroje)	11 500 kg
Řídicí systém	
Sinumerik 840D	

3.4 Upnutí obrobku

Z výkresu součásti a sestavy je možně stanovit, že jedním z hlavních rozměrů je šířka obráběného odlitku 35 (viz. obr. 3.4), která při montáže sestavy je členem rozměrového řetězce pro zabezpečení správního montáže ozubeného soukolí a následujícího správného provozu sestavy (viz. příloha č. 2). Další důležitá informace na výkresu se tyká dodření požadovaných konstruktérem toleranci: tolerance rovnoběžnosti os otvoru a tolerance kolmosti obrobené plochy součásti a osy otvoru. Tyto tolerance jsou vztažené k správně činnosti smontovaného dílu.



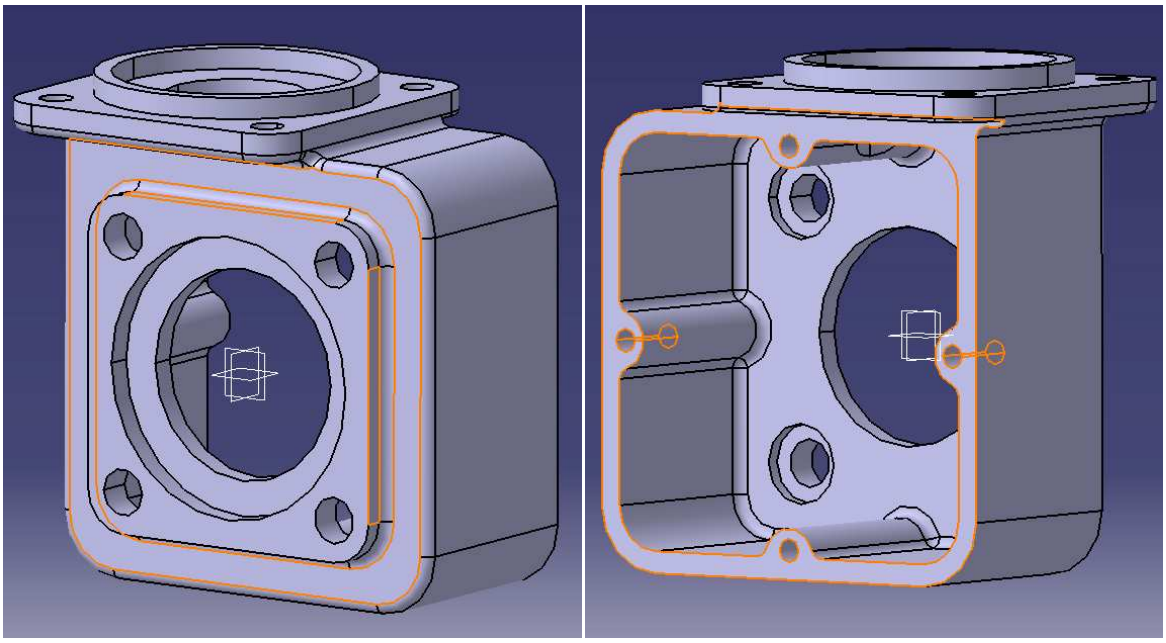
Obr. 3.4 Požadavky na přesnost a tolerance součásti

Pro dodření vších požadavků je důležitým správně upínání obrobku, a proto je před zpracováním technické dokumentace je důležitě provést analýzu výkresu a zvolit nejvýchodnější základny pro obrábění součásti. Každá součást má šest mír volnosti v prostoru a při obrábění je nutně zabránit pohyb součásti jakýkolim sterem.

K dispozici jsou čtyři varianty. První variantou je upínání za tri povrhy, ale nevýhodou tohoto způsobu je bránění obrábění upnutých ploch. Druha varianta je upínáni na základě plochy a pomoci dvou kolmých na tuto plochu otvorů. V závislosti na poměru délky a průměru součásti můžeme rozlisovat ještě dvě varianty: upínání na základě otvoru a dvou povrchů (poměr je větší než 1, otvor je první základnou a odebírá čtyři míry volnosti) a upínání na základě dvou povrchu a otvorů (poměr je menší, než 1, otvor odebírá jenom jednu míru volnosti).

Dalším krokem analýzy způsobu upnutí součásti je zvolení počtu upínání. Pro zvětšení kvality obrobené součásti a úspory času na upínání obrobku je důležitě provádět obrábění na nejmenší počet upnutí. Z analýzy výkresu vypadá, že tvar uvedené součásti neumožňuje obrábění na jedno upnutí. Proto bylo zvoleno obrábění na dvě upnutí. Plochy označené červenou barvou slouží jako základny pro každé upnutí (viz. obr. 3.5).

První upnutí je prováděno na základě třech povrchu a je obráběn povrch a čtyři otvory, které následně slouží základnami pro upnutí druhé. Toto upnutí už umožňuje obrábění všech povrchu součásti a je zvoleno na základě použití zvoleného stroje. V tomto případě je zaručeno obrábění vších ploch a zabezpečeno dodření požadovaných konstruktérem toleranci.



Obr. 3.5 Základny pro obrábění součásti

3.5 Nástrojové vybaveni a řezný podmínky

Správně zvolení nástrojů a režných podmínek zabezpečuje kvalitu obrobeného povrchu. Jedním z faktorů ovlivňujícím volbu nástrojů je materiál obrobku. V daném případě materiálem obrobku je hliníková slitina, která se patří mezi dobře obrobitelnými materiály. Při obráběni vznikají relativně malé režný sily a nízké pracovní teploty. Lze používat vysoké řezné rychlosti, které jsou omezeny jenom kapacitou stroje. Ale při obrábění je také nutně používat i vyšší posuv, aby nedošlo ke zvýšení tření v zóně řezání, což zhoršuje kvalitu povrchu a snižuje trvanlivost břitu nástroje. Dalším důležitým bodem při obrábění hliníkových slitin je zabezpečení odvádění třísek. V současně době existuje široký rozsah nástrojů, které jsou určené pro obrábění hliníkových slitin a umožňují obrábět součásti za relativně velkých rychlosti a posuvů. [27]

Dle technologického postupu vypadá, že pro výrobu součásti je potřené využit následující technologie obráběni: rovinné frézování, frézování vnešných a vnitřních kontur, obrábění otvorů (navrtávání, vrtání, rozšiřování, řezání závitů). Pro každou technologii jsou používané různé nástroje a zvoleny (nebo vypočteny) řezný podmínky (viz. tab. 3.4).

Hlavní parametry procesu obrábění jsou řezná rychlost, posuv na otáčku a hloubka řezu. Řezná rychlost V_C, [m· min^{-1}] je obvodovou rychlosti, jakou opracovává břit obrobek. Tato veličina se vztahuje k nástroji a zajišťuje, že obrábění nástrojem bude co nejúčinnější. Řezná rychlost souvisí s pojmem otáčky vřetena n, [min^{-1}]. Tato hodnota je vztažena ke stroji a uvádí počet otáček za minutu, které koná fréza, upnuta na vřetení. Souvislost mezi řezné rychlosti, otáčkami vřetene a průměrem nástroje jsou popsány vztahy 3.1 a 3.2. Relativní rychlosti mezi osou nástroje a obrobkem je rychlost posuvu V_f (3.3). [27]

Tab. 3.4 Nestrojové vybavení a řezný podmínky [28, 29, 30, 31, 32, 33, 34].

Nastroj (výrobce)				Technologie obrábění			
z, [-]	f_z, [mm]	f, [mm]	V_c, [m· min^{-1}]	V_f, [mm·min^{-1}]	n, [min^{-1}]	a_p, [mm]	a_e, [mm]
Čelní fréza Ø25mm 490-025C308M (Sandvik Coromat)				Frézování rovinné plochy (hrubování)			
3	0,15	0,45	300	1719	3821	1,6	8
Monolitní karbidová fréza Ø16mm 35XL160 (Seco Tools)				Frézování rovinné plochy (dokončování)			
3	0,3	0,9	350	6269	6966	1,6	5
Monolitní karbidová fréza Ø16mm 35XL160 (Seco Tools)				Frézování vnějšných a vnitřních kontur (hrubování)			
3	0,24	0,72	300	4299	5971	1,6	4
Monolitní karbidová fréza Ø16mm 35XL160 (Seco Tools)				Frézování vnějšných a vnitřních kontur (dokončování)			
3	0,08	0,24	350	1671	6966	16	1,6
Válcová fréza Ø5mm 05E4S90-32A05 SUMA (Pramet)				Rozšiřování otvorů			
4	0,040	0,16	200	2038	12733	2,5	5
NC navrtávák Ø6mm A850600V400S (Stim Zet M&V spol.s.r.o.)				Navrtávání der pro otvory			
2	0,1	0,2	60	636	3184	3	-
Karbidový vrták Ø3,3mm A210330T000S (Stim Zet M&V spol.s.r.o.)				Vrtání děr pro závit M4			
2	0,1	0,2	50	965	4825	1,65	-
Karbidový vrták Ø5mm R850-0500-30-A1A (Sandvik Coromat)				Vrtání děr pro závit M6			
2	0,1	0,2	150	1910	9554	2,5	-
Karbidový vrták Ø6,6mm R850-0660-30-A1A (Sandvik Coromat)				Vrtání der Ø6,6mm			
2	0,1	0,2	150	1447	7237	3,3	-
Závitník M4 2210 (Stim Zet M&V spol. s.r.o.)				Řezáni závitů M4-7H×8-10			
3	-	-	20	-	1592	-	-
Závitník M6 1010 (Stim Zet M&V spol. s.r.o.)				Řezáni závitů M6-7H			
3	-	-	20	-	1061	-	-

Hodnota posuvu pro každý nástroj je vyznačena v katalogu výrobce. Je nutně rozlišovat posuv na otáčku f_n, [mm] a posuv na zub f_z, [mm]. V případě posuvu na otáčku se jedna o délku dráhy, kterou urazil nástroj za jednu otáčku. Posuv na zub je klíčovou hodnotou při frézování, která určuje výkon každého jednotlivého zubu. Odpovídá draze, kterou urazí fréza v průběhu jednoho zubu. [27]

$$V_C = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \tag{3.1}$$

$$n = \frac{V_C \cdot 1000}{\pi \cdot D} \tag{3.2}$$

$$V_f = f \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \tag{3.3}$$

Hloubka řezu axiální a_p, [mm] a radiální a_e, [mm] ovlivňuje objem odebraného materiálu (výkon obrábění) a určuje hloubku, do které proniká nástroj. Při vrtání hodnota a_p odpovídá poloměru nástroje. [27]

4 TVORNA NC PROGRAMU

Tvorba NC programu proběhla v softwaru SinuTrain 7.5 ed.2, který je k dispozici na stránkách společností Siemens. V tomto případě programování a odladění programu probíhá na počítači a vytvořený program může byt nahrazen do stroje.

Samotné programování začíná založením nového programu (označení *.MPF) nebo podprogramu (označení *.SPF). Následujícím krokem je výběr metodiky programování: programování v dílenské orientovaném prostředí nebo v ISO kódu. Pro danou součást bylo zvoleno programování v prostředí ShopMill. Po vyvolání jednotlivé technologické operace se otevírá dialogové okno, do položek kterého programátor musí zapsat potřebnou informace.

Jestli do jakékoliv položky v dialogovém okně můžeme zapsat jednu z několika existujících variant, vždy nahoře vertikální lišty se objeví tlačítko *Alternatives* (Varianty). Následujícím tlačítkem, které je umístěno do každého dialogového okna, je *Tools* (Nástroje). Tabulka nástrojů obsahuje informace o každém nástroje potřebném pro splnění daného programu. Tlačítko *To program* slouží k přenosu informace o nástroje z tabulky do dialogového okna a následně i do NC programu. Tyto funkce pro každou technologii obrábění v prostředí ShopMill jsou stejné. Speciální položky jednotlivých technologií obrábění budou popsány v dalších kapitolách.

4.1 NC program pro 1. upnutí

Tento program obsahuje obrábění ploch dle kapitoly 3.4. V následujících kapitolách bude popsán postup při programování frézování po draze (včetně definování dráhy) a obrábění otvorů (navrtávání, vrtání, řezání závitů).

4.1.1 Frézování po dráze (hrubování a dokončování)

Prvním krokem obrábění je frézování plochy tvaru čtverce. Tato operace je provedena pomoci příkazu frézování po draze. Draha musí byt definována a zapsána do programu před vyvoláním frézování. Na horizontální liště je zvoleno tlačítko *Cont. milling* (frézování kontur) a následně i tlačítko *Path milling* (frézování po draze) na vertikální liště. Objeví se dialogové okno, do kterého je nutně zapsat obráběcí nástroj (tlačítko *Tools* na vertikální liště), posuv na zub a řeznou rychlost.

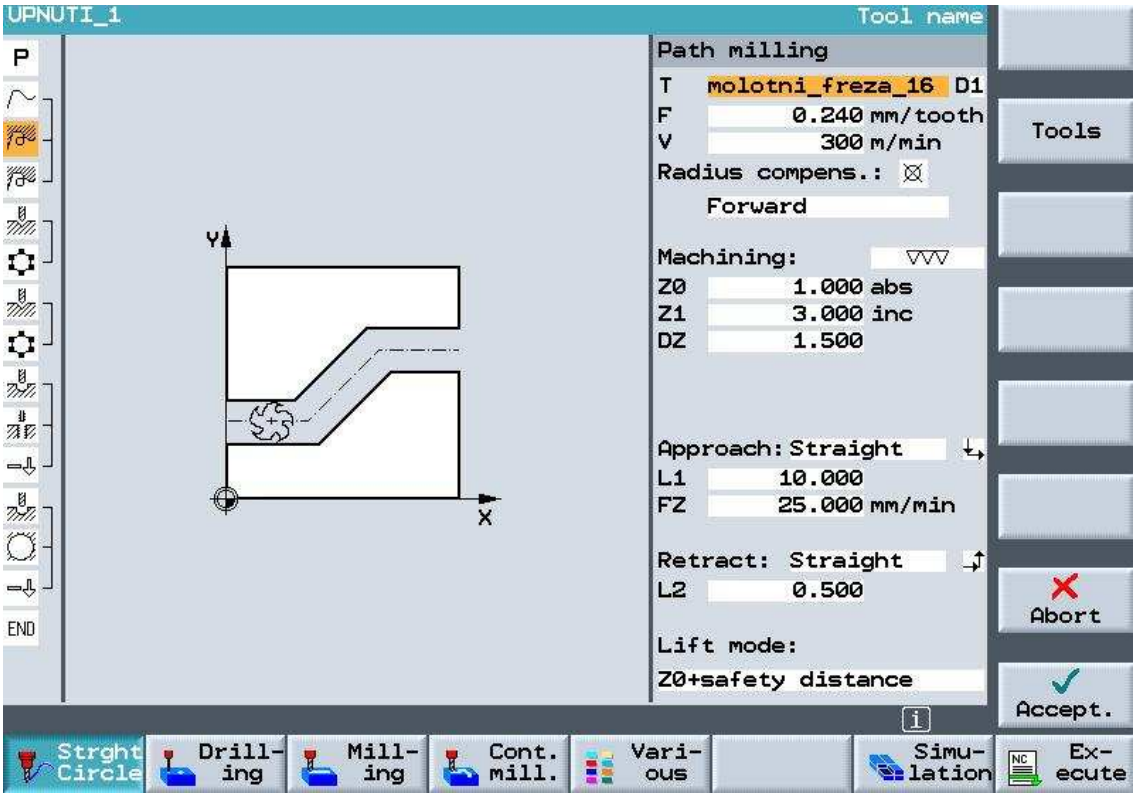
Dále je velice důležitě dávat pozornost na polohování nástroje vůči definované draze. Do dialogového okna pomoci tlačítka *Alternative* můžeme zapsat jednu ze třech variant tohoto polohování. První dvě varianty znamenají polohování nástroje z pravé nebo levé strany definované dráhy, ŘS při tom počítá s rádiusovou korekcí nástroje. Třetí varianta uvádí pohyb nástroje podél dráhy (ŘS s rádiusovou korekcí nepočítá).

Další položka dialogového okna stanoví typ a směr obrábění. Pro označení typu obrábění (hrubování nebo dokončování) je používané schematické zobrazení, které je stejné pro celý systém. Programátor také volí obrábění směrem definované dráhy nebo proti směru (položka *Machinning direction*), s čím se souvisí nastavení typu nájezdu a odjezdu nástroje v položkách *Approach* a *Petract*

(plošný nebo trojrozměrný nájezd či odjezd). Význam ostatních položek dialogového okna je uveden v tabulce.

Tab. 4.1 Význam jednotlivých složek dialogového okna Frézování po draze.

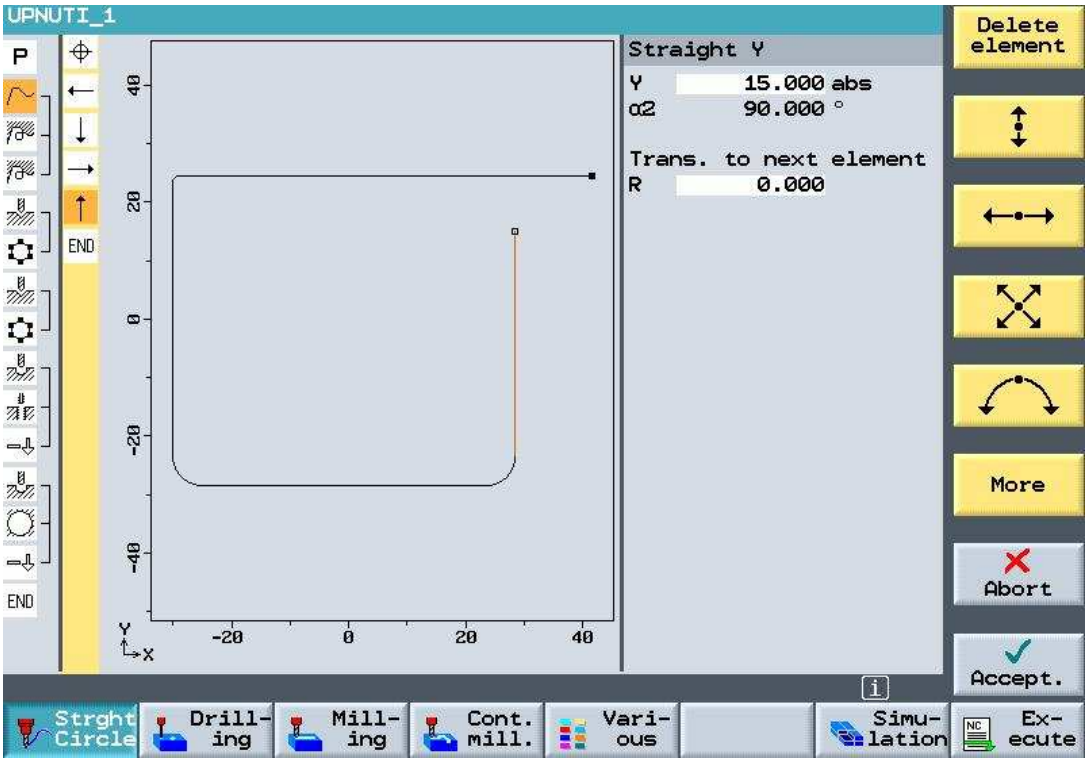
Složka	Význam
Z0	Počátečná hodnota souřadnice v ose Z
Z1	Konečná hodnota souřadnice v ose Z
DZ	Maximální axiální šířka záběru ostří
UZ	Přídavek na obrábění v ose Z
UXY	Radiální přídavek na obrábění



Obr. 4.1 Dialogové okno pro frézování po draze

Po zvolení *Cont. Milling* (horizontální lišta) se nahoře vertikální lišty objeví tlačítko *New*, které slouží pro založení nové kontury či dráhy. Hlavní rozdíl je v tom, že kontura musí byt vždy uzavřená, ale tvar dráhy je libovolný. Nejdříve musíme do programu zapsat název tyto dráhy a dále pokračovat definování dráhy v grafickém rozhrání. K tomu slouží tlačítka na vertikální liště: pohyb vertikální, horizontální, libovolný a kruhový. Schémata vytvoření dráhy je uvedena na obrázku.

Tato dráha je vytvořena v grafickém rozhrání, ale podle požadavků programátora může byt vytvořena pomoci G-kódu (funkce G1, G2 a G3).



Obr. 4.2 Definování dráhy v grafickém rozhrání

Obr. 4.3 Zápis frézování po dráze do NC programu

4.1.2 Obrábění otvorů

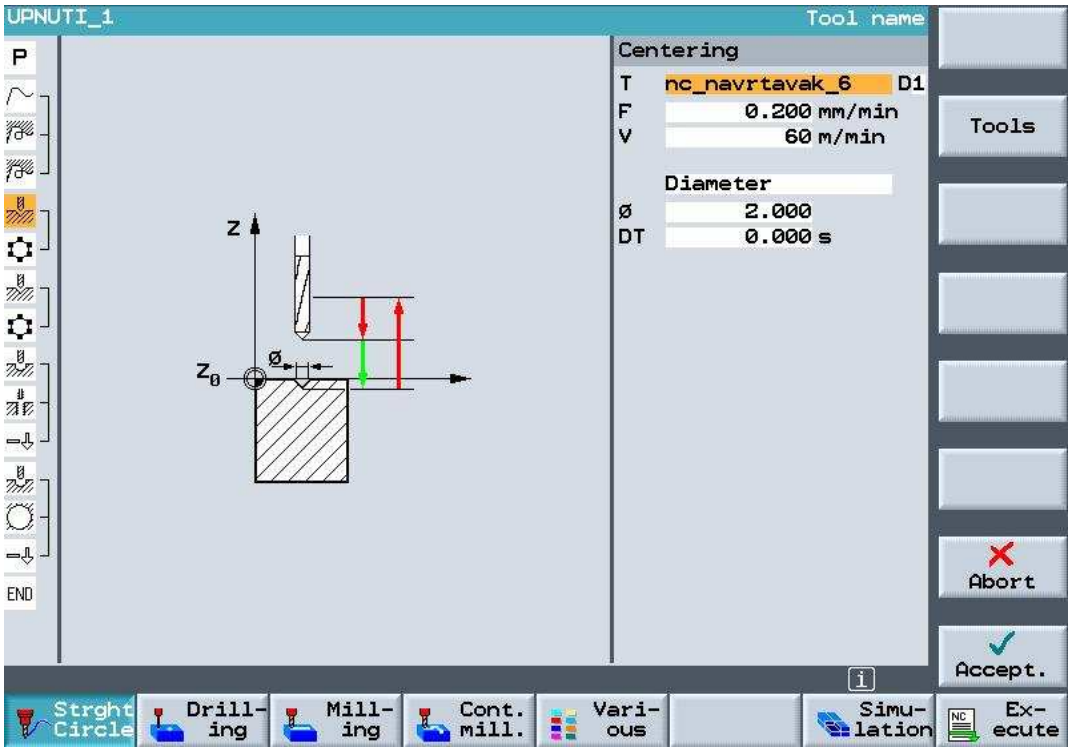
Dle technologického postupu potřebujeme vrtat čtyři otvorů Ø6,6 mm a čtyři otvory pro závity M4-7H×8-10. Všichni operaci pro obrábění otvoru jsou vloženy pod tlačítkem *Drilling* na horizontální liště. Vertikální lišta obsahuje jednotlivé technologie obrábění: *Centerring* (Navrtávání), *Drilling Reaming* (Vrtání, Vystružování), *Deep hole drilling* (Vrtání hlubokých děr) a *Thread drilling* (Řezání závitů).

ŘS má přesnou postoupnost programování obrábění otvorů. Prvním krokem je definování jednotlivých technologických operace a jejich následně zapsání do NC programu. Druhým krokem je definování pozice otvorů. V daném případě je používané tlačítko *Positions*, ve kterém se objeví různé možnosti polohování otvorů. Tlačítko *Repeat position* je používané, jestliže je potřeno během programu opakovat určité pozici.

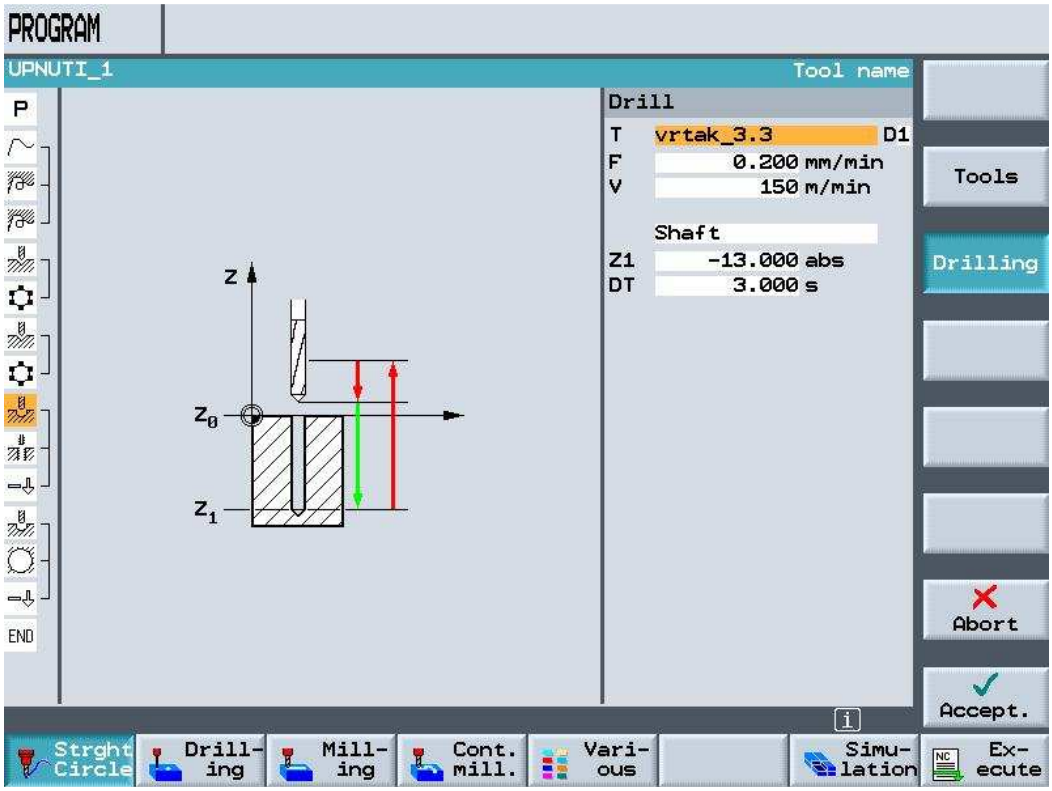
Navrtávání a vrtání otvorů

Dialogová okna pro navrtávání a vrtání jsou velice podobná. Nejdříve musíme definovat nástroj (T), posuv (F) a řeznou rychlost (V). Hlavní položka pro navrtávání je nastavení průměru díry nebo hloubky, do které tato díra musí byt navrtávána. Pro vrtání je důležitým pojmem hloubka vrtání. A proto programátor musí zvolit, jestliže ta hloubka je definovaná špičkou nástroje nebo jeho válcovou

části. Poslední položka pro obě dvě technologie je doba výdrže nebo počet otáček. Tato hodnota se tyká určité doby nebo určitého počtu otáček, který nástroj musí otočit naprázdno po dosazení požadované hloubky.



Obr. 4.4 Dialogové okno Navrtávání

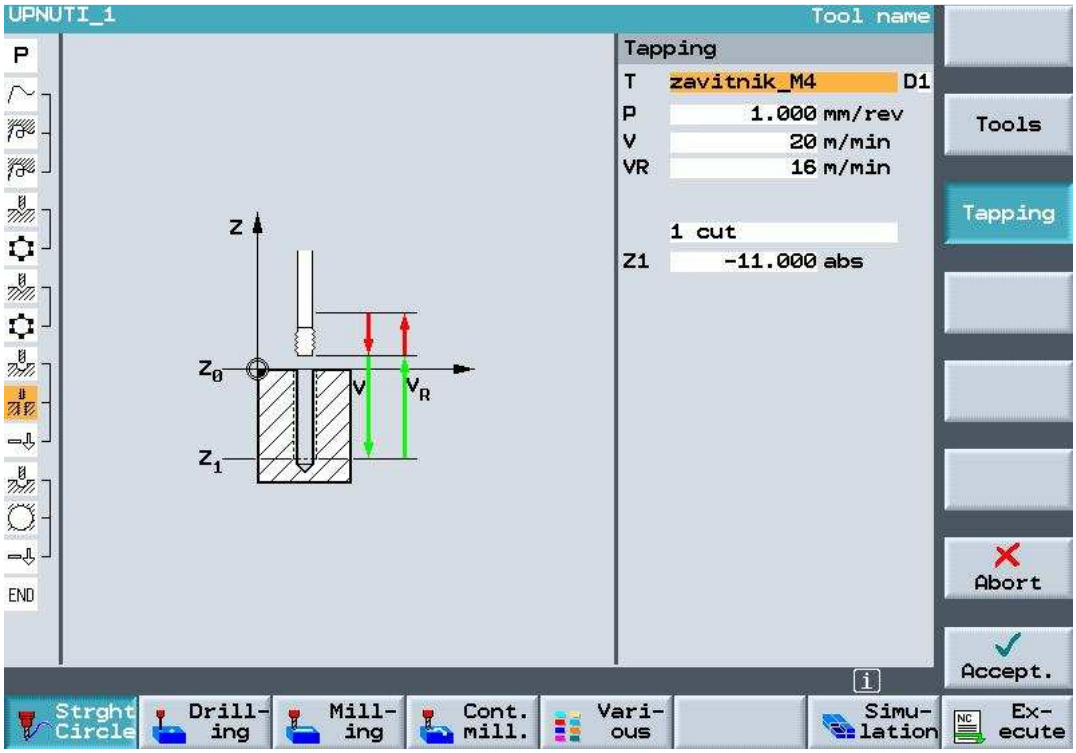


Obr. 4.5 Dialogové okno Vrtání

Řezáni závitů

Pro vyvolání příkazu slouží tlačítka *Drilling* (horizontální lišta) a *Tapping thread/Tapping* (Vertikální lišta). Pro danou technologii je velice důležitá položka *Remove chips* (odebírání třísek). V této položce programátor může zvolit řezání závitu na jeden řez, s odstraněním nebo zlomením třísek. Výběr jedné ze třech technologií se závisí na průměru a hloubce závitu, materiálu polotovaru a řezných podmínkách. Pro danou součást bylo zvoleno řezání závitů na jeden řez.

Do dalších položek dialogového okna je uvedena informace o nástroje (T), stoupání závitu (P), rychlost řezání závitu a vyjeti závitníku (V a VR), hloubka zavitu (Z1).



Obr. 4.6 Dialogové okno pro řezání závitu

N25 Centering	T=nc_navrtavak_6 F0.2/min V60M ø2
N30 001: Hole full cir.	Z0=1 X0=0 Y0=0 R25.5 N4
N35 Centering	T=nc_navrtavak_6 F0.2/min V60M ø4
N40 002: Hole full cir.	Z0=1 X0=0 Y0=0 R25.5 N4
N45 DRILL	T=vrtak_3.3 F0.2/min V150M Z1=-13
N50 Tapping	T=zavitnik_M4 P1mm V20m Z1=-11
N55 Repeat pos.	001: Hole full cir.
N60 DRILL	T=vrtak_6.6 F0.2/min V150M Z1=-43
N65 Circ. pocket ▽	T=freza_5 F0.04/t V200M Z1=-32 ø11
N70 Repeat pos.	002: Hole full cir.

Obr. 4.7 Zápis obrábění otvorů do NC programu

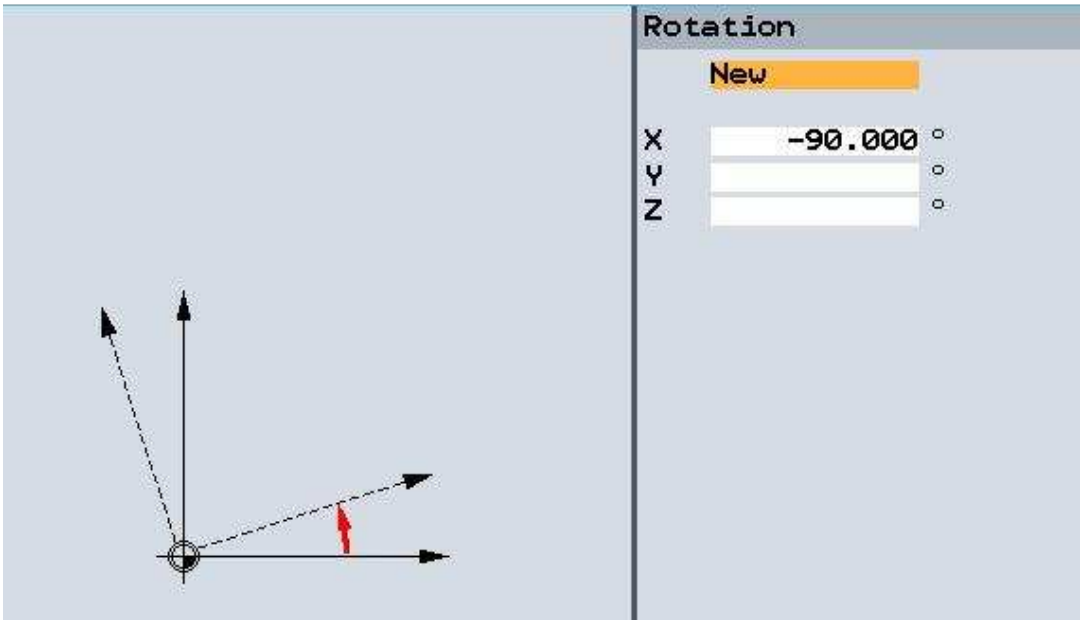
4.2 NC program pro 2. upnutí

Založení programu probíhá stejným způsobem, jaký byl popsán v kapitole 4. Plochy, které mají byt obráběny, jsou dle kapitoly 3.4. Pro zabezpečení přesnosti obrábění součásti nulový bod obrobku, ke kterému byly vztažené prvky při obrábění na prvním upnutí, může zůstat stejným. Ale pro zjednodušení a usnadnění programování ten souřadný systém musí byt otočen a posunut do nejvýhodnějšího bodu. Tato transformace souřadného systému umožňuje využití kotovaných rozměrů součásti dle výkresu a v tomto případě programátor nemusí přepočítat polohy jednotlivých prvků vztažených k výchozímu nulovému bodu. Také v tomto programu jsou používané následující příkazy pro obrábění: rovinné (čelní) frézování, frézování vnější kontury, vrtání a rozšiřování otvorů, řezání závitů.

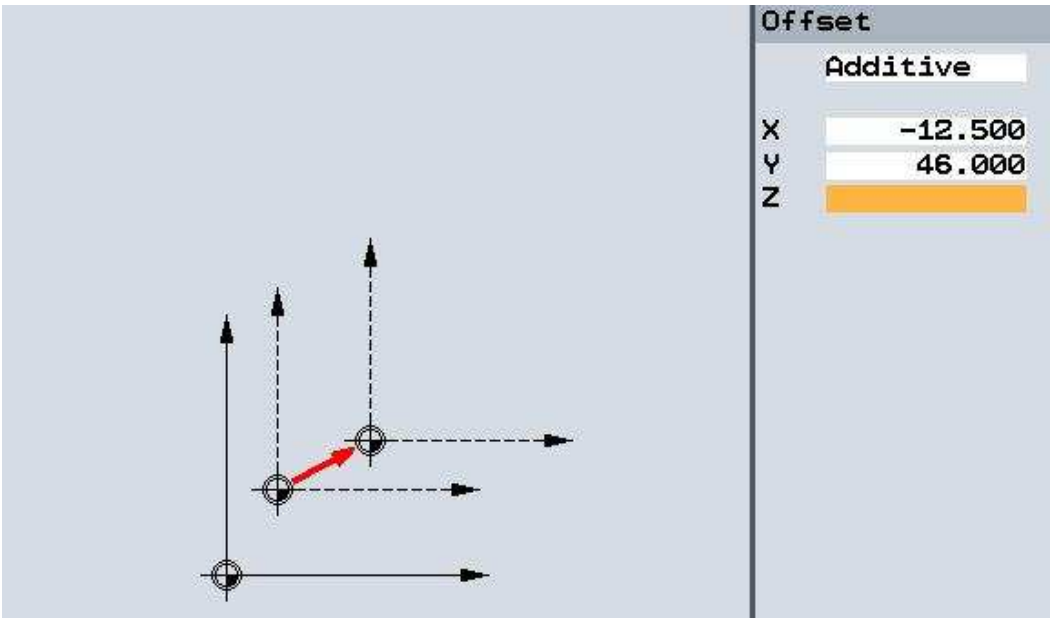
4.2.1 Transformace souřadného systému

Pro vyvolání transformace souřadného systému na horizontální liště musí byt zvoleno tlačítko *Varios* a následně tlačítko *Trasformation* na horizontální liště. Pak se objeví na vertikální liště další tlačítka jednotlivých druhy transformace souřadného systému. ŘS Sinumerik 840D umožňuje následující druhy transformace: posunuti, natočení, změnu měřítka a zrcadlení. Transformace musí byt do NC programu zapsaná před programováním vztažných prvků.

Pro danou součást na začátku programu může byt zvolena transformace souřadného systému *Rotation* (Otočení) a *Offset* (Posunutí) (viz. obr. 4.8). Po vyvolání dialogového okna programátor nejprve musí zvolit novou transformace (*New*) nebo připočítat její k předchozí. Při posunutí souřadného systému do dialogového okna musí byt zapsány hodnoty pro jednotlivé souřadnice. V dialogovém okně při natočení musí byt zvolena souřadnice, kolem které souřadný systém má byt natočen, a hodnota natočení. ŘS bude se zadanou transformace počítat, pokud nebude vyvolána nová transformace.



Obr. 4.8 Dialogové okno pro transformace Natočení



Obr. 4.9 Dialogové okno pro transformace Posunuti

Ale pro další zjednodušení programu bylo zvoleno programování jednotlivých operace. Pro každou operace byl zvolen nulový bod, což znamená, že transformace souřadného systému bude zbytečná.

4.2.2 Rovinné frézování.

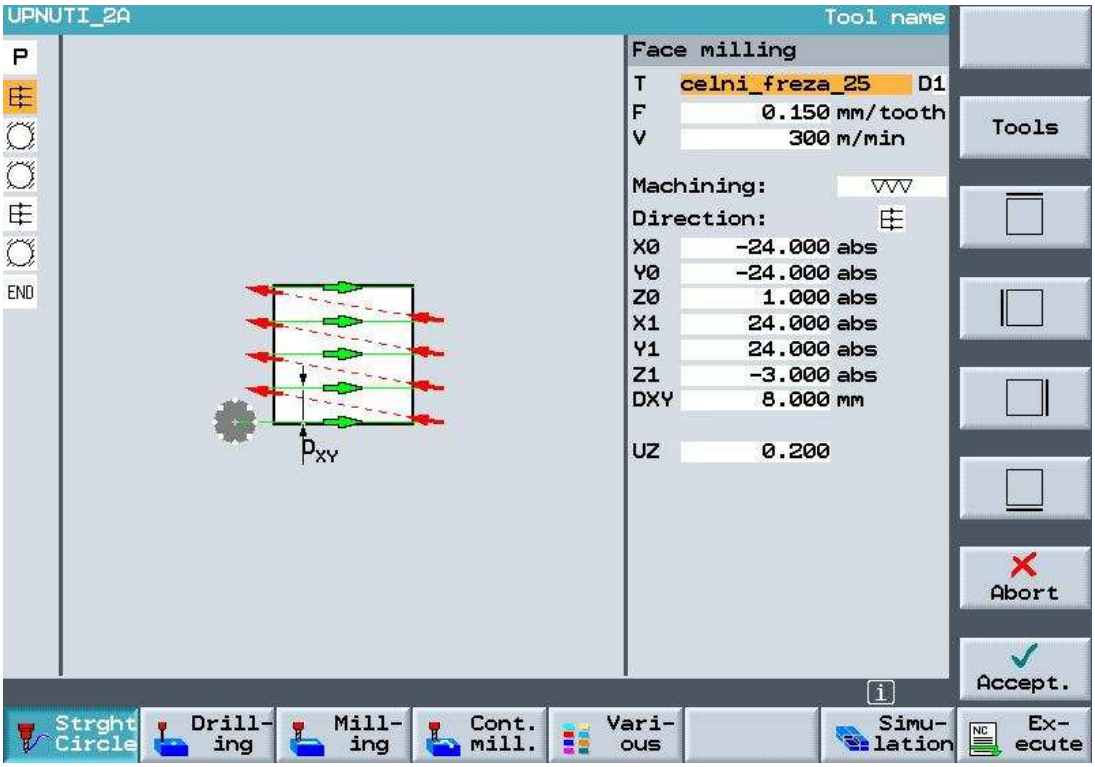
Vyvolat příkaz rovinného frézování musíme pomoci tlačítek *Milling* (horizontální lišta) a *Face milling* (vertikální lišta). Technologické parametry, který mají byt zapsány do dialogového okna, jsou jako u frézování kontur, ale pro tento druh frézování jakoukoliv konturu definovat nepotřebujeme.

```
N10 Face milling    ▽▽▽  T=celni_freza_25 F0.15/t V300M X0=-24
```

Obr. 4.10 Zápis rovinného frézování do NC programu

Ale dále se objeví položka *Direction* (směr frézování). Jedna se o frézování jedním směrem (souvislém nebo nesouvislém) a frézování se změnou směru. Také programátor může zvolit podélný nebo příčný směr frézování. Na vertikální liště jsou další čtyři tlačítka pro nastavení hranic. Při zapnuti jednoho nebo několika tlačítek ŘS nedovolí přejedení těchto hranic během frézování.

Dle technologického postupu součásti je potřebně frézovat dvě kolmé plochy. Proto po skončení obrábění otvorů musí byt pracovní stůl stroje otočen o 90°. Zatím stejným způsobem je vyvolán příkaz rovinného frézování pro obrábění následující plochy. Podmínky frézování zůstanou stejný.



Obr. 4.11 Dialogové okno pro rovinné frézování

Dle technologického postupu součásti je potřebně frézovat dvě kolmé plochy. Proto po skončení obrábění otvorů musí byt pracovní stůl stroje otočen o 90°. Zatím stejným způsobem je vyvolán příkaz rovinného frézování pro obrábění následující plochy. Podmínky frézování zůstanou stejný.

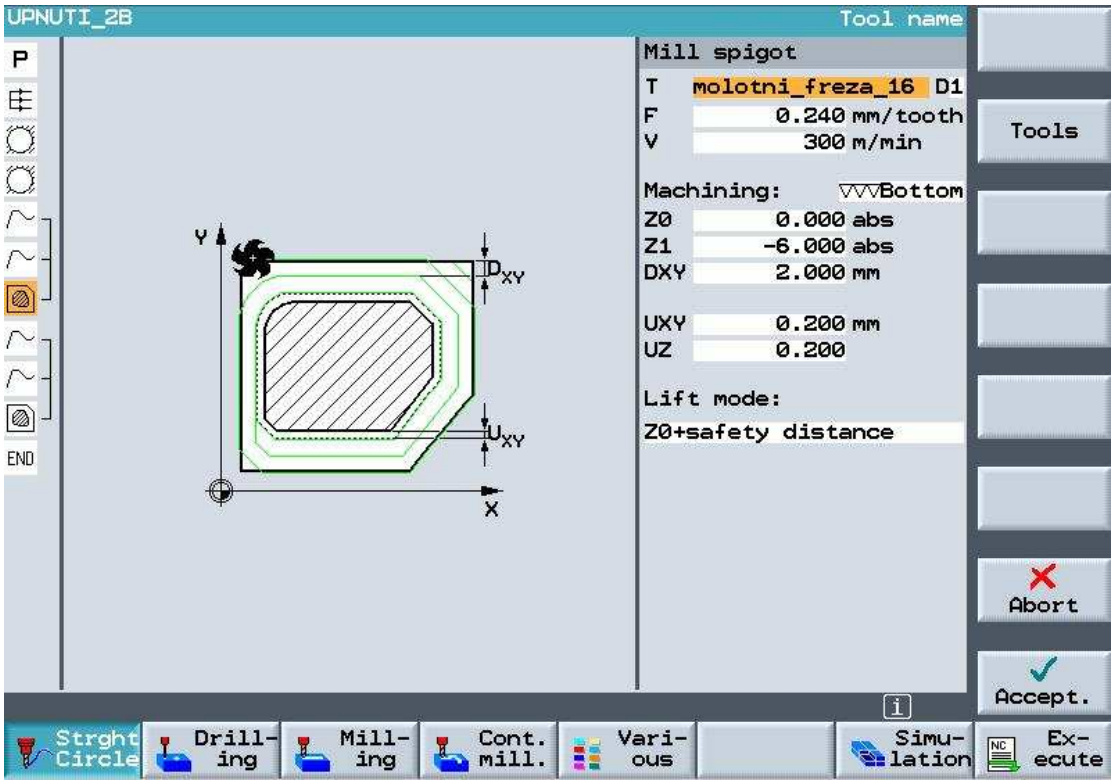
4.2.3 Frézování vnější a vnitřní kontur

Nedůležitým krokem při frézování kontur je definování kontury, která má byt zapsaná do NC programu před vyvoláním samotného obrábění. Nové kontury byly založeny a vytvořeny stejným způsobem, jaký byl popsán v kapitole 4.1.1. Důležitý rozdíl je v tom, že při frézování vnější kontury je potřebně definovat dvě kontury, přičemž druha kontura musí odpovídat hranici polotovaru.

Z hlediska technologii obrábění frézování vnitřní a vnější kontur se liší směrem obrábění. Frézování vnitřní kontury probíhá od centru k hranici kontury, což znamená, že nástroj musí zavrtat do plného materiálu. Jedna se nejprve o vytváření startovacího prvku, bud' to pomoci předvrtání nebo navrtávání. Tyto příkazy jsou umístěny na vertikální liště.

```
N25 Blank:          KONTURA_VNEJSI
N30 Spigot:         KONTURA_VNITRNI
N35 Mill spigot     Bo T=molotni_freza_16 F0.24/t V300M Z0=0
```

Obr. 4.12 Zápis frézování vnější kontury do NC programu



Obr. 4.13 Dialogové okno frézování vnější kontury

4.2.4 Obrábění otvorů

Vrtání otvorů a řezání závitů v daném případě probíhá stejným způsobem, který byl popsán v kapitole 4.1.2. Ale pro rozšiřování otvoru je potřebně využit ještě jednu z dostupných technologii. Na horizontální liště je nutně zvolit tlačítko *Milling*. Následně se používají technologie *Circular Pocet* (kruhová kapsa). Jedna se o postupné spirálové interpolace směrem dolu ose nástroje a velice důležitě je správně polohování nástroje vůči ose otvoru.

```
N20 Circ. pocket    W T=molotni_freza_16 F0.24/t V300M X0=0
```

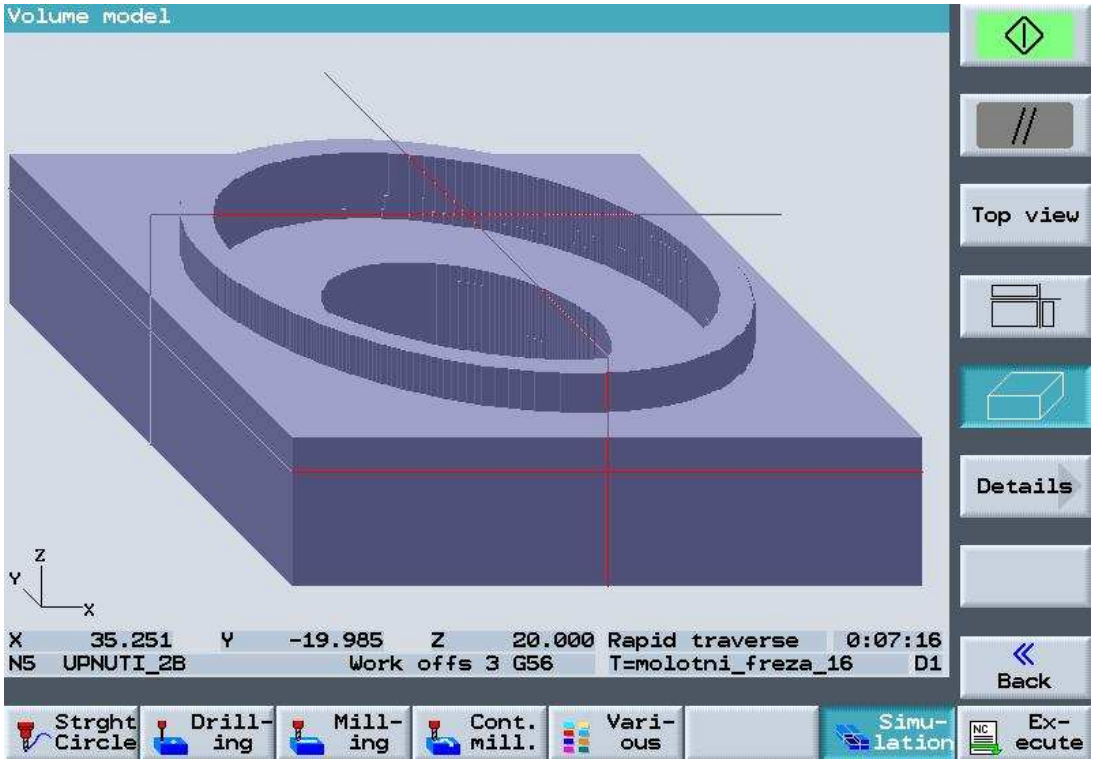
Obr. 4.14 Zápis vytvoření kruhové kapsy do NC programu

4.3 Simulace obrábění

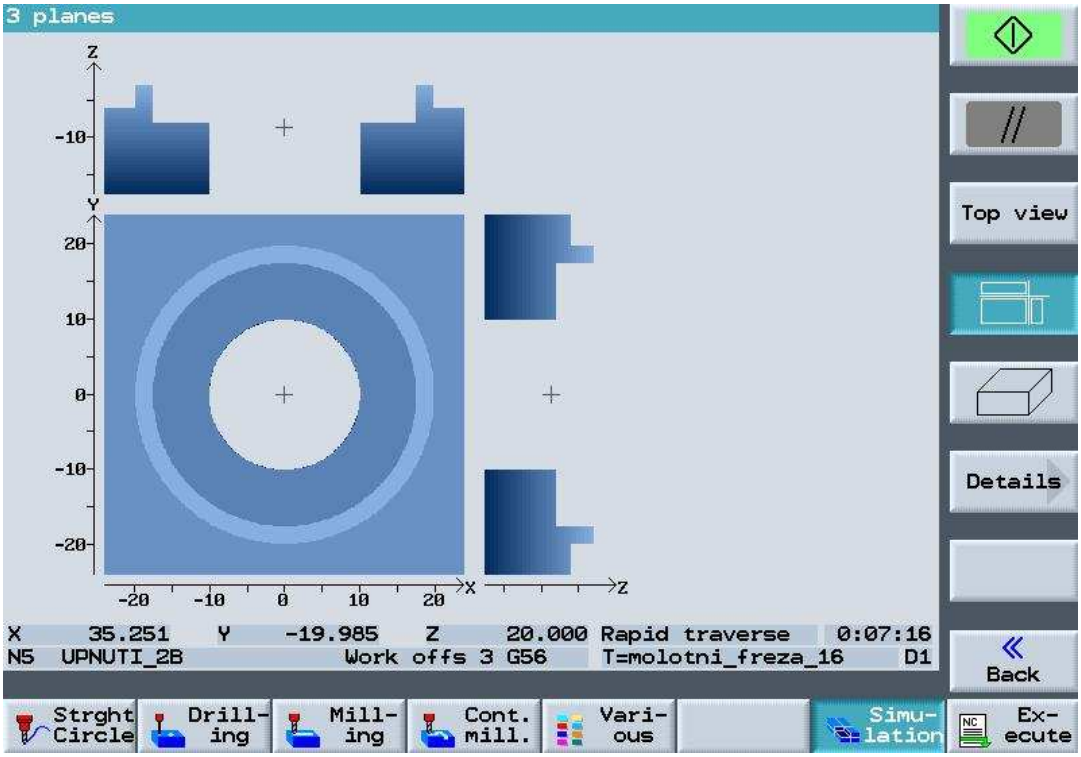
Praktické ověření NC programu bylo provedeno pomocí modulu simulace ŘS Sinumerik 840D. Simulace je možně spustit tlačítkem *Simulation* na horizontální liště. ŘS umožňuje simulace celého programu nebo simulace jednotlivých operace programu. Po skončení jednoho kroku programu simulace se zastaví a programátor musí vyvolat další krok. Během simulace programátor může měnit pohled na obráběnou součást a může zvolit pohled shora, pohled ve třech rovinách, izometricky pohled nebo rez.

Tato simulace slouží nejenom pro vizualizace procesu obrábění, ale umožňuje odladění programu. Během simulace ve spodní části monitoru je uvedena informace o umístění nulového bodu, používaném nástroje, součastném posuvu

(rychloposuv nebo pracovní posuv) a souřadnicích. Pro každou jednotlivou operace je také spočítán strojní čas.



Obr. 4.16 Výsledek simulace v izometrickém pohledu



Obr. 4.17 Výsledek simulace ve třech rovinách

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se hlavně zabývala tvorbou NC programu pro výrobu zadané součásti – skříně převodovky. Tato součást je důležitým členem rozměrového řetězce pro smontování ozubeného soukolí, a proto pro určité plochy jsou požadované konstruktérem malé tolerance. Výroba součásti na konvenčních strojích umožňuje dodržet požadované tolerance jenom pomocí využití velice komplikovaných přípravků. Ale v daném případě tolerance byla zaručena využitím velice přesného obráběcího centra, které je vybaven řídícím systémem Sinumerik 840D. Ještě před samotnou tvorbou NC programu bylo pro tuto součást zvoleno nástrojové vybavení a navrhnout výrobní postup.

V práce byla popsaná historie vývoje a současnost CNC obráběcích strojů a jejich řídicích systémů: od první myšlenky možnosti automatizace výroby po nejsložitější obráběcí centra, která jsou vybavený ŘS, včetně víceúčelového ŘS Sinumerik 840D.

Dále byly popsány jednotlivé kroky tvorbu NC programu, které názorně demonstrují možností programování s využitím grafického rozhrání modulu dílensky orientovaného programování ShopMill. ŘS Sinumerik umožňuje programování různých technologie obrábění. Pro danou součást byly využity technologie rovinného frézování, frézování kontur a obrábění otvorů (navrtávání, vrtání a řezaní závitů). Ověření NC programu proběhlo formou simulace pomocí modulu ŘS Sinumerik 840D.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1 MAREK, Jiří a kol. *Konstrukce NC obráběcích strojů*. Praha: MM Publishing, s.r.o, 2010. ISBN 978-80-254-7980-3.

2 EARLE, E.G. *Computer numerical control of machine tools*. Second edition. Oxford: Newnes, ©1991. ISBN 0-7506-0119-1.

3 ŠTULPA, Miroslav. *CNC obrráběcí stroje a jejich programování*. Praha: Ben, 2007. ISBN 978-80-7300-207-7.

4 KLOCOVÁ, Eva. Sinumerik slaví půlstoletí. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, 7 [vid. 2010-08-06]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/sinumerik-slavi-pulstoleti.html

5 SIEMENS. *Frézování a soustružení s řídicím systémem Sinumerik: CNC řešení pro Vaši dílnu*. [s.l.]: Siemens

6 KLOCOVÁ, Eva. Řídicí systém – 50letá historie. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, 9 [vid. 2010-08-06]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-system-50leta-historie.html

7 Řídicí systémy pro každou technologii. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 4 [vid. 2010-08-06]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-systemy-pro-kazdou-technologii.html

8 Historie společnosti a mezníky ve vývoji produktů. *Heidenhain.cz* [online]. ©2012 [vid. 2012-04-15]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o-firme/historie/

9 Souvislé řízení pro frézky a vyvrtávačky i pro obráběcí centra. *Heidenhain.cz* [online]. ©2012 [vid. 2012-04-15]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/rizeni-obrabecich-stroju/frezovani/

10 HEIDENHAIN. *iTNC530*. [s.l.]: Heidenhain, ©2011

11 MANUALplus620 – CNC řízení pro soustruhy. *Heidenhain.cz* [online]. ©2012 [vid. 2012-04-15]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/rizeni-obrabecich-stroju/soustruzeni/

12 HEIDENHAIN. *MANUALplus 620 - The Contouring Control for CNC and Cycle Lathes* [online]. ©2009 [vid. 2010-08-05]. Dostupné z: http://pdf.directindustry.com/pdf/dr-johannes-heidenhain-gmbh/manualplus-620-the-contouring-control-for-cnc-and-cycle-lathes/155-166854.html

13 MAZAK – O firmě. *Misan.cz* [online]. ©2002-2012 [vid. 2012-04-15]. Dostupné z: http://www.misan.cz/mazak/obsah-kategorie/mazak/o-firme/

14 The New Mazatrol MATRIX CNC: Sixth-Generation Mazatrol Most Powerful Yet. *Mazakusa.com* [online]. ©2009 [vid. 2012-04-15]. Dostupné z: http://www.mazakusa.com/productpage.asp?lngEquipID=41

15 MAZAK. *Quick Turn Smart*. [s.l.]: Mazak

16 SIEMENS. *SINUMERIK 810/840: DIN programming for milling*. 2008

17 SIEMENS. *SINUMERIK 810/840: DIN programming for turning*. 2008

18 SIEMENS. *Fundamentals SINUMERIK 840D/840Di/840D: Programming guide* [online]. ©2002 [vid. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www.siemens.com.br/upfiles/1034.pdf

19 SIEMENS. *Příručka pro začínající uživatele: frézování a soustružení Sinumerik 810D/840D/840Di.* [online]. ©2003 [vid. 2010-08-05]. Dostupné z: http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch/28823723/Einsteiger_Fraesen_Drehen_1003_cz.pdf?func=cslib.csFetch&nodeid=31902786&forcedownload=true

20 POLZER, Aleš. Akademie CNC obrábění. *Akademie CNC obrábění* [online]. [vid. 2010-08-06]. Dostupné z: http://www.techtydenik.cz/cnc_priklady/priklad_4.pdf

21 SIEMENS. *Advanced SINUMERIK 840D/840Di/840D: Programming guide* [online]. ©2001 [vid. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www.m3.tuc.gr/EQUIPMENT/DMU50eco/Sinumerik%20810d/Advanced_Programming.pdf

22 SIEMENS. *Cycle SINUMERIK 840D/840Di/840D: Programming guide* [online]. ©2001 [vid. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www.siemens.com.br/upfiles/1036.pdf.

23 SIEMENS. *SINUMERIK 840D/840Di/840D: ShopMill* [online]. ©2004 [vid. 2010-08-05]. Dostupné z: http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch/28662015/BAS_1004_en.pdf?func=cslib.csFetch&nodeid=28661647&forcedownload=true

24 Portálové obráběcí centrum MCV 1210. *Tajmac-zos.cz* [online]. ©2012 [vid. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.tajmac-zps.cz/cs/MCV-1210

25 MCV 1210. *Zpsusa.com* [online]. ©2012 [vid. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.zpsusa.com/1210%20New!.html

26 Характеристика материала АК5М2 *Evek.org* [online]. ©2007-2012 [vid. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.evek.org/grade-list-a-ak5m2.html

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

28 SANDVIK COROMAT. *Frézování*. ©2009 [cit. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/ROT_D.pdf

29 SECO. *Závitování* [online]. ©2009 [cit. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Service_Support/machining_navigator/CEE/Czech/Final_LR_CZ_Jabro.pdf

30 SANDVIK COROMAT. *Vrtání*. ©2009 [cit. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/ROT_E.pdf

31 PRAMET. Monolitní frézy. ©2009 [cit. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Solid%20End%20Mills%202009%20screen.pdf

32 STIMZET. *Katalog 2009* [online]. ©2009 [cit. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www.stimzetvsetin.cz/down/Katalog_STIM_ZET_2009.pdf

33 SECO. *Závitování* [online]. ©2009 [cit. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews2_2011/MN/threading/CZ_LR_Threading.pdf

34 M&V. *Závitořezný nástroje* [online]. ©2009 [cit. 2010-08-05]. Dostupné z: http://www.stimzetvsetin.cz/down/k_zavit.pdf

SEZNAM POUŘITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CAD	[-]	z anglického Computer Aided Manufacturing – počítačem podporová výroba
CAM	[-]	z anglického Computer Aided Design – počítačem podporové navrhování
CNC	[-]	z anglického Computerized Numerical Control – číslicové řízení počítačem
DNC	[-]	z anglického Direct Numerical Control – distribuované číslicové řízení
ISO	[-]	z anglického International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro normalizaci
NC	[-]	z anglického Numerical Control – číslicové řízení
MCS	[-]	z anglického Machine Co-ordinate Systém – souřadný systém stroje
PLC	[-]	z anglického Programmable Logic Controller – CNC systém s vestavěným programovatelným automatem)
ŘS	[-]	řídicí systém
WCS	[-]	z anglického Workpiece Co-ordinate System – souřadný systém obrobku
A_{50}	[%]	tažnost
D	[mm]	průměr nástroje
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
V_c,	[m· min^{-1}]	řezná rychlost
V_f	[mm·min^{-1}]	posuvová rychlost
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
a_e	[mm]	radiální hloubka řezu při frézování
a_p	[mm]	hloubka řezu (axiální při frézování/ radiální při vrtání)
f	[mm]	posuv ta otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
n	[min^{-1}]	otáčky vřetene
z	[-]	počet zubu
π	[-]	Ludolfovo číslo

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 NC Program
Příloha 2 Výkres součásti
Příloha 3 Výkres sestavy
Příloha 4 Výrobní postup současí SKŘÍŇ
Příloha 5 CD (Zápis programu)

PRILOHA 1

Operace 00/00

UPNUTI_1

P	N5	UPNUTI_1		Work offs Basic ref. G500
	N10	Contour:		KONTURA_1
	N15	Path milling	▽▽▽	T=molotni_freza_16 F0.24/t V300M Z0=1
	N20	Path milling	▽	T=molotni_freza_16 F0.08/t V350M Z0=1
	N25	Centering		T=nc_navrtavak_6 F0.2/min V60M Ø2
	N30	001: Hole full cir.		Z0=1 X0=0 Y0=0 R25.5 N4
	N35	Centering		T=nc_navrtavak_6 F0.2/min V60M Ø4
	N40	002: Hole full cir.		Z0=1 X0=0 Y0=0 R25.5 N4
	N45	DRILL		T=vrtak_3.3 F0.2/min V150M Z1=-13
	N50	Tapping		T=zavitnik_M4 P1mm V20m Z1=-11
	N55	Repeat pos.		001: Hole full cir.
	N60	DRILL		T=vrtak_6.6 F0.2/min V150M Z1=-43
	N65	Circ. pocket	▽	T=freza_5 F0.04/t V200M Z1=-32 Ø11
	N70	Repeat pos.		002: Hole full cir.
END		End of program		N=1

Operace 01/01

UPNUTI_2A

P	N5	UPNUTI_2A		Work offs 2 G55
	N10	Face milling	▽▽▽	T=celni_freza_25 F0.15/t V300M X0=-24
	N15	Circ. pocket	▽▽▽ W	T=molotni_freza_16 F0.24/t V300M X0=0
	N20	Circ. pocket	▽▽▽	T=molotni_freza_16 F0.24/t V300M X0=0
	N25	Face milling	▽	T=molotni_freza_16 F0.3/t V350M X0=-24
	N30	Circ. pocket	▽	T=molotni_freza_16 F0.08/t V350M X0=0
END		End of program		N=1

Operace 03/03

UPNUTI_2B

P	N5	UPNUTI_2B		Work offs 3 G56
	N10	Face milling	▽▽▽	T=celni_freza_25 F0.15/t V300M X0=-24
	N15	Circ. pocket	▽▽▽ W	T=molotni_freza_16 F0.24/t V300M X0=0
	N20	Circ. pocket	▽▽▽ W	T=molotni_freza_16 F0.24/t V300M X0=0
	N25	Blank:		KONTURA_VNEJSI
	N30	Spigot:		KONTURA_VNITRNI
	N35	Mill spigot	▽▽▽Bo	T=molotni_freza_16 F0.24/t V300M Z0=0
	N40	Blank:		KONTURA_VNEJSI
	N45	Spigot:		KONTURA_VNITRNI
	N50	Mill spigot	▽	T=molotni_freza_16 F0.08/t V350M Z0=0
	N55	Centering		T=nc_navrtavak_6 F0.2/min V60M ø3
	N60	DRILL		T=vrtak_5 F0.2/min V150M Z1=-15
	N65	Tapping		T=zavitnik_M6 P1mm V20m Z1=-15
	N70	001: Hole full cir.		Z0=1 X0=0 Y0=0 R25.5 N4
END		End of program		N=1