Západočeská univerzita v Plzni

FAKULTA PEDAGOGICKÁ

KATEDRA VÝPOČETNÍ A DIDAKTICKÉ TECHNIKY

TECHNOLOGIE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ, VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH PROGRAMŮ VE VÝUCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Josef Konop

Učitelství praktického vyučování a odborného výcviku

*léta studia (*2009 - 2012*)*

Vedoucí práce: ***Ing. Jindřich Korytář***

Plzeň, 30. březen 2012

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

Plzeň, 30. březen 2012

……

Poděkování

Děkuji panu Ing. Jindřichu Korytáři za zodpovědné, odborné a vstřícné vedení mé bakalářské práce. Mé poděkování patří také rodině za její porozumění a podporu při studiu.

OBSAH

1 ÚVOD 8
2 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE 9
2.1 VÝZNAM A POSTUP PROGRAMOVÁNÍ 10
2.2 VÝHODY A NEVÝHODY CNC STROJŮ 11
2.3 VYSVĚTLENÍ NĚKTERÝCH POJMŮ ZKRATEK 11
2.4 SCHÉMA CNC STROJŮ 12
2.5 ROZDĚLENÍ CNC STROJŮ 13
3 ZÁKLADY PROGRAMOVÁNÍ 16
3.1 INFORMACE 17
3.2 PROGRAMOVÁ DOKUMENTACE 17
3.3 ROZDĚLENÍ PROGRAMOVÁNÍ 17
3.4 SOUŘADNÝ SYSTÉM STROJŮ 19
3.5 PROGRAMOVÁNÍ V ISO KÓDU 20
3.5.1 Způsoby tvorby NC programů 21
3.5.2 Složení programu 21
3.5.3 Význam nejdůležitějších funkcí G a M 23
3.6 PROGRAMOVÁNÍ V SHOPTURNU 29
3.6.1 Uspořádání ovládacího panelu stroje 30
3.6.2 Sestavování programu v ShopTurn 31
4 OBSLUHA CNC STROJE 34
4.1 BODY V PRACOVNÍM PROSTORU STROJE 34
4.2 KONSTRUKCE CNC STROJŮ 35
4.3 SEŘIZOVÁNÍ SOUSTRUHU 37
4.4 NÁSTROJE PRO CNC SOUSTRUH 38
4.4.1 Korekce nástrojů 39
5 VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH PROGRAMŮ PŘI VÝUCE 41
6 SEŘIZOVÁNÍ CNC STROJŮ 43
6.1 BOZP NA ODBORNÉM VÝCVIKU 43
6.2 MĚŘENÍ NÁSTROJŮ AUTOMATICKOU SONDOU 44
6.3 NAJETÍ NULOVÉHO BODU OBROBKU 45
7 SAMOSTATNÉ PROVEDENÍ SEŘÍZENÍ A OBSLUHA CNC STROJE ŽÁKEM 47
7.1 VÝUKA ODBORNÉHO VÝCVIKU 48
7.2 VYBAVENÍ UČEBEN A DÍLNY 50
7.3 ŠKOLNÍ VZDĚLÁVACÍ PROGRAM 51
7.3.1 Organizace výuky 52
7.3.2 Cíle výuky 53
7.3.3 Hodnocení 54
8 VÝROBA VÝROBKU 55
8.1 SESTAVENÍ PROGRAMU 55
8.2 ODLADĚNÍ CNC SOUSTRUHU 55
8.3 ZHOTOVENÍ VÝROBKU 56
9 PRŮZKUM 57
10 ZÁVĚR 61
11 SEZNAM OBRÁZKŮ 63
12 SEZNAM LITERATURY 64

13 SEZNAM PŘÍLOH 65
14 RESUMÉ 66
15 PŘÍLOHY I

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce nese název „Technologie číslicově řízených obráběcích strojů, využití simulačních programů ve výuce“.

Téma práce úzce souvisí s mojí profesí, protože pracuji jako učitel odborného výcviku na Středním odborném učilišti v Domažlicích. Mojí specializací je vyučování žáků na číslicově řízených obráběcích strojích, programování v G-kódu a v ShopTurnu. K výuce jsou využívány simulační programy, které poskytují žákům ověřit si výsledky jejich práce.

Odborný výcvik, který navazuje na teoretické znalosti odborných předmětů, je bezesporu základním nosným pilířem odborného vyučování a přípravou žáků pro jejich budoucí povolání.

Úkolem učitele odborného výcviku je vést žáky k přesnému dodržování technologických postupů, k plnění pracovních povinností, k dodržování správných zásad při přípravě pracoviště na provoz, k dodržování hygieny a bezpečnosti a ochraně zdraví při práci.

Při výuce žáků je značným přínosem využití moderních didaktických pomůcek. Právě mezi tyto pomůcky lze řadit číslicově řízené obráběcí stroje a simulační programy.

Cílem bakalářské práce je seznámení s číslicově obráběcími stroji a s možností využití simulačních programů při výuce žáků.

Tato bakalářská práce je rozdělena do tří částí.

Teoretická část je zaměřena na číslicově řízené obráběcí stroje, jejich rozdělení, seznámení se základy programování a programování v G-kódu a ShopTurnu.

V praktické části je popsán průběh zhotovení samotného výrobků žákem.

Třetí část práce je zaměřena na průzkum, který je prováděn mezi žáky a má ověřit kvalitu výuky odborného výcviku spolu s tím i zjistit význam simulačních programů při výuce.

2 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE

„Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno 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 se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti“ (Štulpa, 2006, str. 9).

Konstrukce NC strojů se vyvíjí od konce čtyřicátých let minulého století. První NC stroj byl vyvinut v USA a do provozu byl uveden v roce 1952. Computer Numerical Control znamená v českém překladu číslicové řízení počítačem. Jedná se o strojní zařízení, které jsou ovládána počítačem.

Vzhledem k tomu, jakým tempem se ve strojírenství rozvíjí modernizování strojového parku, tak se stává využívání výpočetní techniky jedním z hnacích motorů tohoto odvětví. V současnosti již nelze být bez vhodného vybavení CNC stroji ve strojírenské výrobě konkurenceschopný a nejen ve strojírenství, ale i v dalších odvětvích. Tím, že je stroj vybaven řízením a regulací pomocí počítače, nahrazuje pomalé a nedokonalé reakce člověka na očekávané změny ve výrobě. Samozřejmostí je rychlé, přesné a spolehlivé provedení opakované činnosti strojem. K sestavení a prověření programů se ve strojírenské výrobě používají počítače, které jsou schopny řídit stroje různých typů. Výhodou je, že se stroje ve výrobě mohou velmi rychle přizpůsobit jinému druhu strojní součásti. To vede ke zvyšování produktivity práce a ke snižování výrobních nákladů.

CNC stroje se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obráběcí, tvářecí, montážní, měřicí, atd.). Tyto stroje umožňují výrobu i velmi složitých součástí, které na konvenčních strojích nebylo možné vyrobit. U konvenčních strojů obsluha realizuje celou výrobu součástí od upnutí obrobku, až po závěrečnou operaci. Konvenčními stroji nazýváme stroje, které se používají pro klasické obrábění a jsou předchůdci NC a CNC strojů (soustruhy, frézky, brusky, stojní pily apod.). V případě NC a CNC strojů se výroba součástí řadí na přípravu a samotný proces obrábění. CNC stroje postupně začaly nahrazovat jednoúčelové automaty a konvenční stroje, které jsou dnes vhodné pro kusovou a malosériovou výrobu. I nadále samozřejmostí zůstává, že bez základních znalostí klasické technologie obrábění, správné volby řezných podmínek a vhodných nástrojů, nelze dosáhnout požadovaných výsledků.

Vzhledem k tomu, že se oblast CNC techniky stále vyvíjí, je nutné neustále sledovat vývoj v dané oblasti. Proto je nutné, aby byly novinky pružně zaváděny jak do výroby, tak i do samostatné výuky žáků na středních školách, učebních oborech a také na vysokých školách. Tím je patrné, že i žáci, kteří se učí na obráběče kovů, musejí mít ve výuce zařazeny základy obsluhy CNC strojů a základy programování. Výhodou je, když učiliště nebo střední a vysoké školy se zaměřením na strojírenskou výrobu, jsou vybaveny na dílnách CNC stroji a softwary pro sestavování programů pro tyto stroje. Tímto se žák stává na trhu práce velmi žádanou a kvalifikovanou pracovní silou. Strojírenské odvětví má v současnosti těchto kvalifikovaných osob nedostatek a do budoucna se situace bude ještě zhoršovat.

2.1 VÝZNAM A POSTUP PROGRAMOVÁNÍ

Programování probíhá na počítači, kde je programování rychlejší a pohodlnější nebo přímo na samotném stroji. Informace je možné do řídicího systému stroje zadávat několika možnými druhy nosičů, a to buď na děrném štítku, děrné pásce, magnetické pásce, disketě, apod. Tyto metody se používaly na starších typech CNC strojů. V současnosti jsou používány modernější a rychlejší metody zapisování a přenášení dat do strojů jako např. propojení CNC strojů přímo s počítačem, který je umístěn na pracovišti programátora.

Ten sestaví program pomocí počítače a po přezkoušení pomocí simulace programu přenese celý program z počítače do CNC stroje. Tento stroj je propojen s počítačem přenosovým kabelem. Dalším možným způsobem je přenos dat přes USB propojení. Program lze tak pomocí Flash disku nahrát do stroje. Dále se provádí přímé zapisování programu do CNC stroje, který je vybaven softwarovou klávesnicí, obrazovkou a interní pamětí pro ukládání sestavených programů. To má výhodu, že zapsaný program zůstane ve stroji uložen a při opětovném vyvolání programu z paměti lze vyrobit již dříve naprogramovanou součást.

Programátor pomocí přiloženého výkresu sestaví vhodný technologický postup výroby pro danou součást, zvolí vhodné nástroje, kterými se bude obrábět a vypočítá pro nástroje vhodné řezné podmínky (řezná rychlost, otáčky, posuv atd.) a pomocnými funkcemi (chlazení nástrojů, směr otáček vřetene, způsob upínání obrobku …). Následně sestaví a zapíše program pro CNC stroj, buď do počítače a přenesením dat z něj do stroje,
nebo pokud jde o jednodušší součást, zapisuje program přímo do CNC stroje.

2.2 VÝHODY A NEVÝHODY CNC STROJŮ

Hlavní výhody:

- hospodárnější a produktivnější výroba
- snadná změna programů (snazší přechod na jiný výrobek)
- snižování neproduktivních vedlejších časů
- zvýšení kvality výrobků, snížení zmetkovitosti a zvýšení bezpečnosti výroby
- snížení nákladů na následnou kontrolu
- archivace programů vede ke zkrácení doby přípravy pro již dříve vyrobenou součást
- možnost výroby složitějších tvarů součástí
- rychlejší zavádění nových technologií a strojů do výroby
- snížení nároků na upínání součástí při výrobě

Hlavní nevýhody:

- vyšší pořizovací ceny
- náročnost na servis strojů
- nutnost kvalifikovaných programátorů pro sestavování NC programů
- vyšší náklady na vybavení stroje nástroji a upínacími prvky

2.3 VYSVĚTLENÍ NĚKTERÝCH POJMŮ ZKRATEK

NC (Numerical Control) – číslicově řízené stroje (v praxi označení pro stroje, které ke svému řízení používají děrnou pásku či děrný štítek)

CNC (Computerized Numerical Control) – počítačem (číslicově) řízené stroje (stroj je řízen a ovládán počítačem, do kterého mohou být též ukládány již hotové programy např. pomocí nosiče dat nebo přenosem dat po síťové lince)

DNC (Direct Numerical Control) – direktivně řízené stroje, tj. Stroje řízené z centrálního počítače (může řídit i více strojů současně)

CAD – (Computer Aided Design) – počítačová podpora konstrukčního procesu

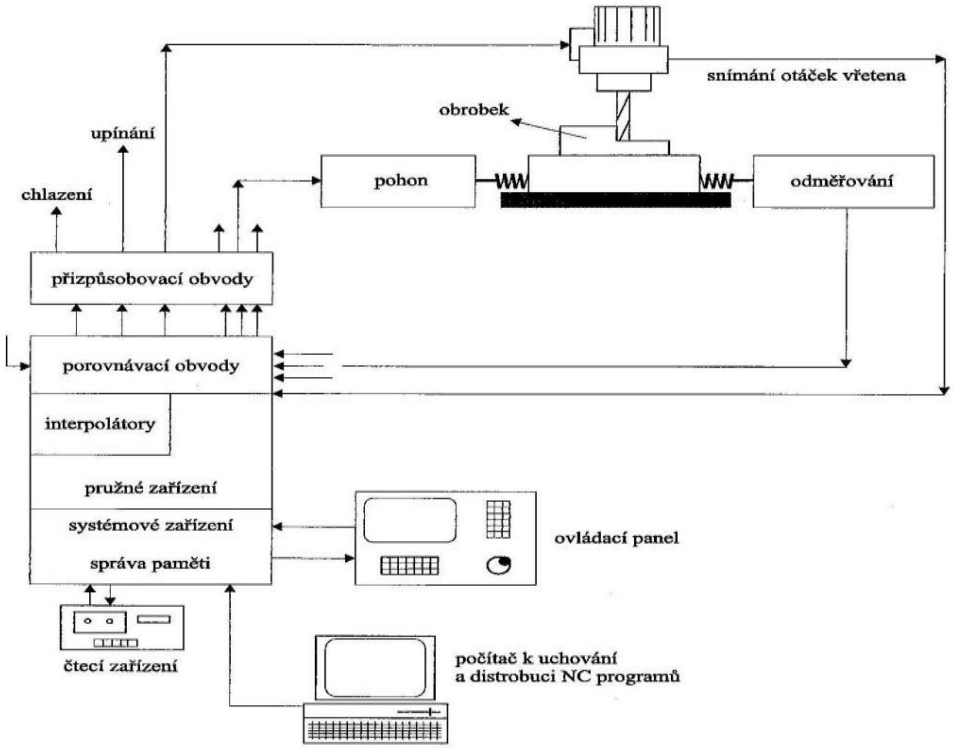
CAM – (Computer Aided Manufacturing) – počítačová podpora pro návrh drah nástrojů při obrábění a vytváření CNC programů pro automatizované řízení strojů

CAE – (Computer Aided Engineering) – počítačová podpora inženýrských a projekčních činností

CAP – (Computer Aided Production) – počítačová podpora technologické přípravy výroby

CAD/CAM – propojení systémů CAD CAM zasahující od CAE (např. profi nástavba v AutoCadu), přes CAD, CAP, případně CAPP až po výrobu CAM. V tomto procesu mohou být zařazeny prvky CAT (mezioperační kontrola), dále prvky pro plánování a řízení dílny (programové vybavení umožňuje např. zjištění času výroby součásti, zjištění časů opotřebení nástrojů apod.). V běžném výkladu se často pojem CAD/CAM zužuje na vygenerování výkresu součásti (data rozměrů součásti jsou uložena v digitalizované formě výkresu) v CNC programu včetně přiřazení příslušných technologií (např. upínání, rozměry polotovaru, řezné podmínky atd.). Jedná se tedy o propojení práce konstruktéra, technologa-programátora (Bartoš, Minárik, Štulpa, Král, 1998).

2.4 SCHÉMA CNC STROJŮ



Obr. č. 1: Obecné schéma CNC stroje

2.5 ROZDĚLENÍ CNC STROJŮ

Použití číslicového řízení strojů se uplatňuje téměř v celém strojírenském odvětví při výrobě součástí. Třídíme je podle typu vykonávané práce:

- obráběcí stroje
- tvářecí stroje
- vypalovací a dělicí stroje a stroje pro svařování – svařovací roboty
- měřící a rýsovací stroje
- manipulační technika
- dalšími jsou nýtovačky, montážní stroje, stroje pro kontrolu vad apod.

Základní rozdělení CNC strojů:

- Jednoprofesní – využívají převážně jeden druh operace (frézování, soustružení, vrtání, vyhrubování, řezání závitů, broušení, výroba ozubení, vyvrtávání)

Obr. č. 2: Frézka univerzální konzolová

Obr. č. 3: Univerzální soustruh SV18

- Víceprofesní – mohou vykonávat různé druhy operací, mezi ně patří:
  - obráběcí centra
  - stroje pro výrobu skříňových obrobků

– stroje pro výrobu přírubových nebo hřídelových rotačních obrobků

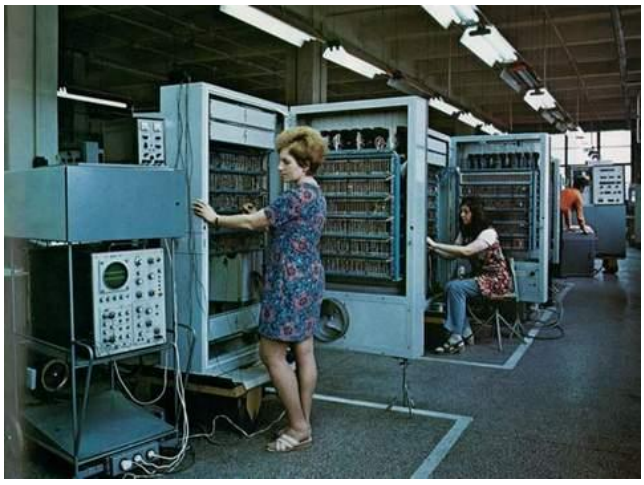
Obr. č. 4: Obráběcí frézovací centrum

Obr. č. 5: CNC soustruh DMG 310

Rozdělení podle vývojových stupňů:

NC stroje 1. vývojové generace – jedná se o NC stroje, které jsou odvozené od konvenčních strojů, ke kterým jsou přiřazeny číslicové řídicí systémy. V současnosti již neodpovídají požadavkům na přesnost, spolehlivost a technologické možnosti.

NC stroje 2. vývojové generace – stroje jsou svou koncepcí přizpůsobeny požadavkům číslicového řízení. V jednom pracovním cyklu, je možné použít více nástrojů a stroje jsou vybaveny revolverovými hlavami pro upínání nástrojů a zásobníky nástrojů. Opotřebené nástroje se v zásobníku mění ručně.



Obr. č. 6: Oživovací pracoviště systémů NC PPS-4 druhé generace

NC stroje 3. vývojové generace – konstrukce strojů je zaměřena na použití ve výrobních soustavách. Stroje využívají automatické výměny obrobků a mají ruční výměnu opotřebovaných nástrojů.

NC stroje 4. vývojové generace – mají již automatickou výměnu opotřebovaných nástrojů v zásobníku. Jedná se o plně automatizovaná technologická pracoviště s vysokým stupněm automatizace. Stroje mohou pracovat individuálně, zpravidla se zásobníkem obrobků upnutých na technologických paletách. Je vyžadovaná vysoká náročnost na pracovní prostředí a na odlišný přístup obsluhy.

Rozdělení podle počtu současně řízených os:

- 2 osé stroje (např. CNC soustruhy)
- 3 osé stroje (např. CNC frézky)
- 4 a více osé stroje (tzv. Obráběcí centra) – tyto stroje mají výhodu, že mohou vyrábět součásti složitějších tvarů (např. formy), mají lepší kvalitu obráběného povrchu. S tímto, ale souvisí složitější naprogramování stroje.

Obr. č. 7: 5ti-osé obráběcí centrum DMC 60 U

3 ZÁKLADY PROGRAMOVÁNÍ

Na světě je řada firem, které se zabývají vývojem a výrobou řídících CNC systémů. Mezi nejznámější výrobce patří Siemens, AEG, Gildemeister, Bosch, Grundig, ASEA, Philips, Fanuc, Heidenhain, IBM a další.

Dle Rybína (1995) technické parametry systémů se stále vylepšují, což má za následek zvyšování výkonu stroje. Zvyšuje se pracovní rychlost posuvu, přesnost výroby až na 0,0001mm, lze zpracovávat extrémně dlouhé programy pro tvarově velmi složitých součástí. Je to umožněno tím, že systémy jsou propojovány s disketovou jednotkou nebo přímo s PC. S tím souvisí i zkracování doby zpracování jednoho bloku. Pro usnadnění a urychlení programování slouží řada speciálních cyklů, které také usnadňují technologickou obsluhu stroje, např. od výměny nástrojů, dopravy polotovaru, až k jeho upínání. Pro náročnost obsluhy těchto systémů je dobré, aby bylo u jednotlivých výrobců zajištěno speciální školení, pro zvolený typ řídicího systému stroje.

Technologie obrábění při zpravování NC programu se od konvenční technologie obrábění neliší. Při sestavování NC programu se řídíme stejným technologickým postupem, jako u konvenčního stroje. Na konvenčním stroji si dělník nejdříve naplánuje výrobu podle technologického postupu, který je vyhotoven v oddělení přípravy výroby (technologické oddělení). Nejdříve si důkladně přečte technický výkres, podle kterého si připraví a upne nástroje, se kterými bude součást obrábět. Dále si vypočítá otáčky a posuv, upne si polotovar, provede ručně přísuv a následně začne provádět jednotlivé úkony operace. To vše opakuje, až obrobek odpovídá požadovanému tvaru výrobního výkresu.

Na NC stroji je postup výroby proveden následovně:

- **Technolog-postupář** – provede rozbor současné technologie, určí operace pro CNC stoj a zvolí vhodný obráběcí stroj. Dále spolupracuje s programátorem na vytvoření technicko-technologické dokumentace

- **Technolog-programátor** – z výrobního výkresu, pracovního postupu, seřizovacího, nástrojového a souřadnicového listu sestaví řídicí program a zajistí jeho archivaci

- **Obsluha –** provede seřízení obráběcího stroje (Svoboda, 1998).

Všechny údaje potřebné k obrobení součásti na požadovaný tvar a s požadovanou přesností, jsou při číslicovém řízení předem připraveny ve formě řady čísel. Tato čísla v určitém kódu, která jsou srozumitelná pro daný řídicí systém stroje, se zaznamenávají na nosič dat. Řídicí systém řídí silové a ovládací prvky stroje. Po vyvolání programu probíhá výroba součásti.

3.1 INFORMACE

Informace používané v oblasti CNC obráběcích strojů lze rozdělit na:

- **Geometrické** (o geometrii obrábění) **–** určují rozměry součásti nebo vzdálenosti otvorů, tj. Popisují dráhu nástroje vzhledem k obrobku
- **Technologické** (o technologii obrábění) – charakterizují řídicí funkce, které musí obráběcí stroj vykonávat v jednotlivých fázích obrábění (např. velikost posuvu, otáčky vřetena apod.)
- **Pomocné** – jsou to informace o určitých pomocných funkcích (např. zapínání chladicí kapaliny, otáček apod.) (Bartoš, Štulpa, Minárik, Král, 1998).

3.2 PROGRAMOVÁ DOKUMENTACE

Programovou dokumentaci tvoří, kromě NC programu i další dokumenty. Programová dokumentace musí být konstantní, jednoznačná, srozumitelná, úplná.
Dokumentaci můžeme rozdělit do tří fází:

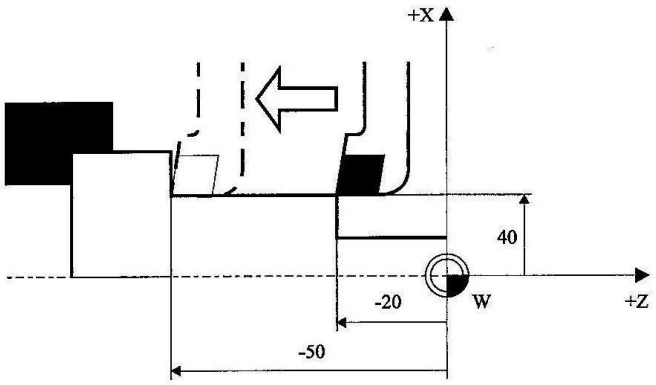
- Přímé
- Realizační
- Kontrolní

Mezi programovou dokumentaci patří NC program, seřizovací list, nástrojový list, způsob upnutí obrobku, výkresová dokumentace, technologický postup a kontrolní předpis (postup).

3.3 ROZDĚLENÍ PROGRAMOVÁNÍ

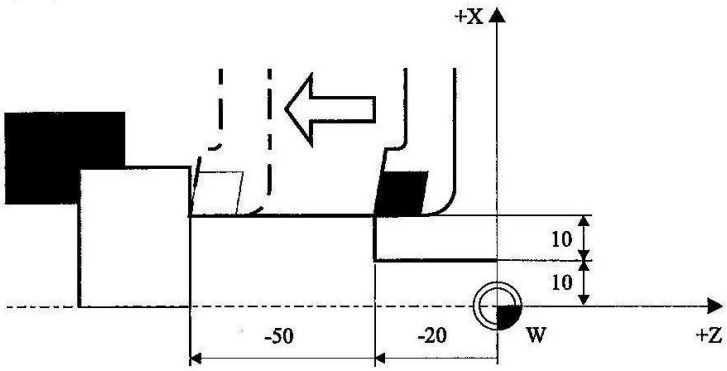
Podle způsobu zadávání souřadnic koncových bodů dráhy nástroje se programování dělí:

- **G90 - programování absolutní** – popisuje cílový bod pojezdu nástroje vztažený k předem zvolenému počátku souřadnic- k nulovému bodu obrobku W (zapisují se souřadnice cílového bodu, kam nástroj dojede. Jedná se tedy o určení souřadnic cílového bodu vůči dané základně (z latinského absolut = ničím nerušený).



Obr. č. 8: Absolutní programování

- **G91 – programování přírůstkové (inkrementální)** – souřadnice všech bodů se udávají v hodnotách měřených vzhledem k předchozímu bodu (zapisují se „souřadnice, o kolik se nástroj posune od startovacího do cílového bodu“). Součet všech hodnot souřadnic je nula, pokud se nástroj vrací do výchozí polohy. Pro přírůstkové programování je možno použít i název relevantní (z latinského relativ = vztaženo na jedno stanoviště) (Bartoš, Štulpa, Minárik, Král, 1998).



Obr. č. 9: Přírůstkové programování

Většina strojů je nastavena na absolutní programování, ale i přesto se doporučuje při zapisování programu napsat na začátek programového listu funkci G90.
V jednom programu lze přecházet z jednoho typu programování do druhého.

Výhody a nevýhody absolutního a inkrementálního programování:

- při absolutním programování jsou souřadnice programových bodů okamžitě zřejmé z programu, protože hodnoty se počítají od jednoho výchozího bodu,
- při přírůstkovém programování je zapotřebí projít celý program od začátku, až k bodu, kde je zapotřebí souřadnice zkontrolovat,
- většina strojů je nastavena tak, že se po zapnutí stroje automaticky nastaví absolutní programování, u starších strojů se musí zadat G90 pro nastavení absolutního programování
- při přírůstkovém programování se musí dávat pozor na nebezpečí sčítání chyb během zapisování rozměrů,
- přírůstkové programování lze využít při programování podprogramů v opakování složitějších tvarů na součásti.

Způsoby zadávání souřadnic koncových bodů:

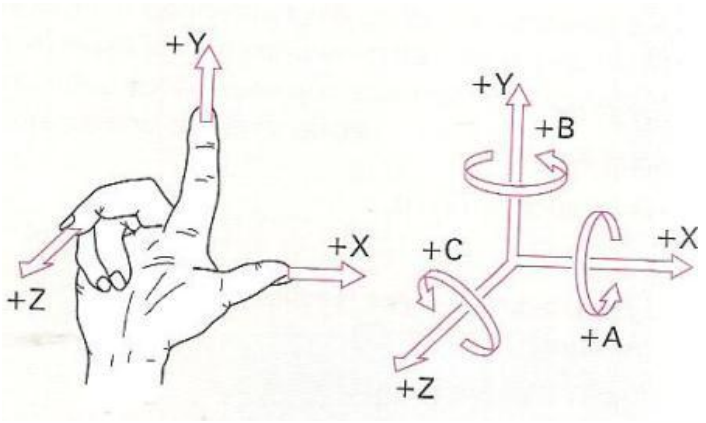
- **Programování v kartézských souřadnicích** – poloha bodu je určena vzdáleností bodu od nulového bodu obrobku na jednotlivých osách
- **Programování pomocí polárních souřadnic** – z bodu, do kterého vložíme kartézské souřadnice, se stanovuje délka a úhel, používá se pro programování polohy otvorů na roztečné kružnici
- **Programování pomocí parametrů (parametrické)** – používá se v systému absolutního i přírůstkového programování. Rozměrová část adres X, Y, Z, je v programu nahrazena obecnými čísly (parametry), ty jsou samostatně v programu definovány reálnými čísly nebo goniometrickými funkcemi (Bartoš, Štulpa, Minárik, Král, 1998).

3.4 SOUŘADNÝ SYSTÉM STROJŮ

Pro popis pracovních pohybů nosiče nástrojů v pracovním prostoru je nutno definovat souřadný systém stroje a souřadný systém obrobku a vztah mezi těmito souřadnými systémy.

Z hlediska zjednodušení programování je nutné, aby označování jednotlivých os obráběcích strojů různých výrobců bylo stejné. Proto NC stroje používají kartézský systém souřadnic. Definice vychází z norem ČSN ISO Terminologie os pohybu. Základní souřadná soustava je pravoúhlá pravotočivá (systém „pravé ruky“).

Podle pravidla pravé ruky směřuje kladná osa X ve směru palce, osa Y v kladném směru ukazováčku a osa Z v kladném směru ohnutého prostředníku. Natočení kolem os X, Y, Z označujeme adresami A, B, C, kde se kladný smysl natočení řídí podle pravidla „pravotočivého šroubu“.



Obr. č. 10: Souřadnicový systém „pravé ruky“

- Vždy musí být definována osa X, která je hlavní osou v rovině upínání obrobku a osa Z je hlavní osou stroje, je totožná nebo rovnoběžná s osou pracovního vřetene. Uvedené souřadné osy označují pohyb nástroje vůči nehybnému obrobku a pohyb osy X a Z od obrobku je v kladné hodnotě (Bartoš, Štulpa, Minárik, Král, 1998).

3.5 PROGRAMOVÁNÍ V ISO KÓDU

„Jednotný způsob uspořádání řídicích programů pro CNC stroje se nazývá struktura programu a určuje ji mezinárodní norma ISO 1058“ (Bartoš, Štulpa. Minárik, Král, 1998, str. 36).

Dodržování programové struktury má za výhody to, že se dodržuje tvar a posloupnost zápisu programu do stroje nebo na papír. Dodržování těchto pravidel umožňuje kontrolnímu systému snáze najít a oznámit chybu. Přehledná struktura programu má další výhody i pro programátora, obsluhu stroje nebo žáka při výuce, např. snadnější orientace v programu, snazší nalezení chyb a nakonec jednodušší provedení změn v programu (Bartoš, Štulpa, Minárik, Král, 1998).

Přesnější termín pro programování v tzv. G-kódu, je programování v ISO kódu s řídicími systémy Sinumerik nebo Heidenhain. K tomu se využívají přípravné funkce G a pomocné funkce M. Zpravidla se řídicí systém Sinumerik používá pro soustružení, ale lze ho použít i při frézování a broušení. V tom případě se rozlišuje značení řídicího systému.

Uvádí se číslo za název řídicího systému, např. systém Sinumerik 810, 810T, 810M a 810 G, kdy písmeno za číslem uvádí způsob obrábění – označení T je určeno pro soustružení, M pro frézování a G pro broušení. V současnosti se již používají i jiná číselná označení, např. 840D, 840DE, 840Di a je to rozděleno podle vybavení ŘS stroje.

3.5.1 Způsoby tvorby NC programů

NC/CNC stroj potřebuje pro automatickou výrobu tzv. NC program, který popisuje geometrii obrábění součásti. Lze ho v současné době sestavit třemi základními způsoby:

- **Ručně –** patří mezi nejstarší způsob, kdy programátor dle přiloženého technického výkresu napíše celý NC program.

- **Pomocí systému CAD/CAM** – tento program dokáže sestavit program náročných tvarových ploch forem, zápustků, apod. ve 3D, které nejdou sestavit ručním programováním. 3D tvary se zhotovují v systému CAD pomocí ploch nebo těles a následně takto zhotovené modely přejímají a zpracovávají moduly CAM.

- **Pomocí dílenského programování** – díky výkonnějším hardwarům a softwarům, lze programovat přímo na CNC strojích. Kvalifikovaná obsluha, která obsluhuje stroj, může v přebytečném čase připravit program pro jinou vyráběnou součást. Po zapsání programu má možnost spustit na obrazovce stroje simulátor, kde je vidět simulace obrábění naprogramované součásti. Tím se dá přenést programování z kanceláře programátora přímo na dílnu. To nám také částečně snižuje výrobní náklady, které bychom museli vynaložit na místo programátora.

3.5.2 Složení programu

U CNC programu je zvykem začínat každý nový program znakem % + číslo. Před tímto znakem je možné si napsat poznámku, kterou nemá řídicí systém zpracovávat (např. název vyráběné součásti, poznámky o polotovaru apod.). Veškeré další poznámky, které jsou uvedeny za tímto znakem %, již považuje řídicí systém za součást programu (další poznámky, které nepatří do programu, musí být uvedeny v závorce).

CNC program se skládá z:

- **Věty (bloky)** – začíná písmenem N a číslem bloku, např. N10. Zvykem je číslovat po desítkách, aby byl případně prostor pro vložení dalších vět mezi jednotlivé věty, např. N12, N15, apod. To lze využít třeba při opravě programu nebo nějaké

doplnění programu. Řídicí systém obvykle seřazuje jednotlivé bloky podle čísel vzestupně, v tomto pořadí stroj vykonává zadané příkazy. V praxi se můžeme také setkat s číslováním jednotlivých vět, např. N04, N08, N12 nebo N5, N10, N15 apod. Při číslování po desítkách se nabízí dostatečný prostor pro úpravu programu nebo jeho změnu.

Příklad jak vypadá zapsaná věta programu – **N60 G0 X200 Z150 M3**

- **Příkazů (slov)** – každé slovo se skládá ze dvou částí:

1. **adresy** – určuje, kam bude instrukce směřována, př. N – adresa, G – adresa, X – adresa, Z – adresa, M – adresa

2. **významové části** – ta udává konkrétní hodnotu, př. 30 – významová část, 01 – významová část, 100 – významová část, 2 – významová část, 3 – významová část

Pokud tyto adresy a významové části zapíšeme do jedné věty, vypadá věta následovně – **N30 G01 X100 Z2 M3** (je možné zapsat do jedné věty tyto adresy, **N G X Y Z F S T M**).

Jednotlivé příkazy z uvedené věty znamenají:

N30 – v zápisu programu třetí věta

G01 – hlavní přípravná funkce – lineární (strojní) posuv navoleného nástroje

X100 – informace o dráze – cílový bod v ose X, nástroj přijede strojním posuvem na rozměr 100 mm

Z2 – informace jako v předchozím řádku, nástroj přijede v ose Z 2 mm před obrobek (při frézování se používá ještě informace o dráze u osy Y)

M3 – pomocná funkce – zapnutí vřetene (sklíčidla) ve směru otáčení hodinových ručiček

Ve větách se ještě používají další příkazy (slova), které jsou vysvětleny níže.

Moderní řídicí systémy nemají přesně stanovené pořadí zapisování příkazů, příkazy jsou zpracovávány nezávisle na jejich pořadí ve větě. Je přesto výhodné, aby každý programátor dodržoval nějaký svůj zvolený způsob zapisování vět v programu pro jeho přehlednost a jednoduchost.

Další základní slova a významové části vět:

T – označení čísla nástroje - k tomuto písmenu je přiřazeno číslo, které nám značí pozici, ve které je zvolený nástroj upnut. Záleží na velikosti a počtu míst v revolverové hlavě

(zásobníku), kolik nástrojů můžeme maximálně upnout. Číslování pozic jednotlivých nástrojů může vypadat následovně, T1 – T12.

D – korekce nástroje - v tabulce nástrojů je ke každému nástroji při jeho měření, např. automatickou sondou, ručně nebo lupou, zapsána délková hodnota nástroje v ose X a Z. Za písmeno D se připisuje ještě číslice, např. D1 a to podle počtu korekcí pro jednotlivý nástroj.

F – posunové funkce – jedná se o označení pro posuv nástroje a k tomuto označení se zapíše velikost posuvu, který si vypočítáme podle zvolených řezných podmínek pro obrábění (druh materiálu, velikost třísky, druh destičky pro obrábění, nástroj apod.), např. 0,2 mm/ot. Při soustružení se udává posuv v mm/ot a při frézování v mm/z.

S – otáčkové funkce – velikost otáček pro zvolený nástroj. K výpočtu otáček potřebujeme znát řeznou rychlost, průměr obrobku, který budeme obrábět. Vzoreček pro výpočet otáček je $n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d}$ ot/min, např. S2500. Je možné zapsat i řeznou rychlost a vzoreček pro výpočet je $v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$ m/min, např. V180. „(Program. CNC stro.- štulpa, str. 33-34, parafr.)“.

A, B, C – rotace kolem základních os – tyto osy se používají u víceosých obráběcích center a rotace probíhá ve směru pravé šroubovice. K hlavním osám jsou přiřazeny pomocné osy, A = X, B = Y, C = Z.

I, J, K – středové souřadnice kruhové interpolace – při obrábění rádiusových ploch, kdy se k hlavním funkcím kruhové interpolace G2 a G3.

3.5.3 Význam nejdůležitějších funkcí G a M

Při programování v ISO kódu se k sestavování programu používají hlavní přípravné funkce G a pomocné funkce M. Tyto funkce, ať se jedná o přípravné nebo pomocné, se používají pro řídicí systémy, např. Sinumerik, Heidenhain, Fanuc a další. Některé řídicí systémy mají funkce upraveny podle vlastní potřeby, proto si popíšeme jen ty pevně určené normou!

Také se liší zápis jednotlivých funkcí a to tím, že u starších řídicích systémů se zapisovala ještě nula před číslici, která je zapisována k G nebo M funkci, např. G00, G01, G02 nebo M00, M02, M03 apod.

Značení G funkcí:

G00 – lineární posuv – jedná se o rychloposuv pro osy X, Y, Z a používá se k rychlému přemisťování nástroje v prostoru obrábění. Nepoužívá se při obrábění součásti, protože hodnota posuvu F je nejvyšší. Následkem toho by došlo ke kolizi nástroje s obráběným materiálem a k jeho zničení. Při najíždění nástroje rychloposuvem do prostoru nad obrobkem, se musí dávat pozor při zapisování souřadnic, aby byly koncové souřadnice dobře naprogramovány.

G01 – lineární posuv – jedná se o strojní posuv pro osy X, Y, Z, který se používá při obrábění součásti. Hodnota posuvu F se zapisuje podle druhu obráběného materiálu a řezných podmínek pro obrábění (velikost třísky, druh obrábění, typ nástroje apod.). Je-li posuv F=0,2 mm/ot, tak to znamená, že se nástroj při jedné otáčce posune po přímkové dráze o 0,2 mm.

G02 – kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček – směr otáčení je doprava.

G03 – kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček – směr otáčení je doleva.

Tyto dvě funkce slouží pro frézování a soustružení rádiusů a rádiusových ploch. Funkce provede pohyb nástroje po kružnici a to buď ve směru hodinových ručiček G02 nebo proti směru hodinových ručiček G03. Za tyto funkce se ještě zapisují cílové hodnoty souřadnic v osách X, Y, Z a k nim jsou zapsány souřadnice středů otáčení kružnic od počátečního bodu rádiusu I, J, K, podle toho jaký pohyb má nástroj vykonat. Při zapisování hodnot do programu se musí dávat pozor, aby počátek a konec kruhové interpolace měl správně spočítány výchozí a koncové hodnoty rádiusu, např. G02 X24 Z-20 I4

K0 nebo G03 X24 Z-20 I0 K-4.

G04 – časová prodleva – slouží k zastavení pohybu v místě, kde je to zapotřebí. Není to náhrada za ukončení celého programu. Za funkci G04 se píše čas T v sekundách, jak dlouhé má být přerušení.

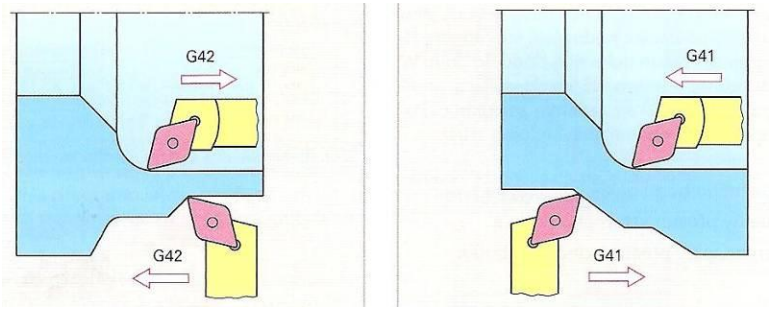
G17, G18, G19 – pracovní rovina – využívá se u frézek a slouží k určení roviny, ve které se provádějí pracovní posuvy a rychloposuvy. K funkci G17 se zapisuje pracovní rovina X-Y, k G18 Z-X a k G19 Y-Z.

G33 – řezání závitu nožem – tato funkce se používá při řezání závitu nožem po jednotlivých třískách (řezech) z výchozího velkého průměru závitu, až na malý průměr závitu. Za hlavní funkci G33 se zapisuje osa X, ke které se zapíše cílová hodnota malého průměru závitu. V ose Z se zapisuje cílová hodnota délky závitu a K znamená stoupání požadovaného závitu.

Pozor při řezání závitu musí dojít ke změně otáčení vřetene, aby závit měl správný směr stoupání šroubovice. Zapsaná věta v programu vypadá následovně – G33 X17.8 Z-24 K2.5. Takto postupujeme po jednotlivých třískách, až se dostaneme na malý průměr závitu. Pro rychlejší a jednodušší zápis lze použít cykly.

G40 – zrušení korekcí nástroje – tato funkce vypíná matematický aparát výpočtu ekvidistanty. Používá se při obrábění rádiusových ploch, kdy řídicí systém CNC stroje počítá při přepočtu začátku a konce kruhové interpolace s poloměrem rádiusu špičky obráběcího nástroje. To je dobré při přechodu z jednoho rádiusu na druhý, aby byl plynulý přechod na povrchu obráběné součásti.

G41 a G42 – zapnutí korekce poloměru špičky nástroje – u G41 se jedná o korekci poloměru špičky nástroje vlevo od kontury obrábění. Při použití funkce G42 je špička nástroje vpravo od kontury obrábění. Pohled na konturu se rozlišuje podle směru pohybu nástroje (pokud je směr pohybu nástroje doleva, tak kontura je po levé straně nástroje).



Obr. č. 11: Korekce poloměrů špičky nástroje G41 a G42

G54 – 59 – posunutí nulového bodu obrobku – jedná se o posunutí nulového bodu obrobku v ose Z do nové pozice vůči nulovému bodu stroje. Toto posunutí se nastavuje před každým novým spuštění nového programu k obrábění obrobku. Při každé změně polotovaru se musí najíždět a zapisovat nový nulový bod obrobku. Od tohoto bodu vycházejí všechny souřadnice v NC programu.

G90 – absolutní programování – bylo vysvětleno již v kapitole 3.3. U starších typů CNC strojů bylo zapotřebí před každým začátkem programování napsat tuto funkci na začátek programu. Současné stroje to již nevyžadují, jsou automaticky nastaveny na absolutní programování.

G91 – přírůstkové (inkrementální) programování – opět vysvětleno v kapitole 3.3

G96 – konstantní řezná rychlost – používá se při soustružení, kdy se do věty k funkci G96 zapíší limitující otáčky pro obráběný polotovar, velikost posuvu jakým se nástroj bude

pohybovat při obrábění, řezná rychlost pro zvolený typ destičky a směr otáčení sklíčidla. Stroj si podle navolených řezných podmínek sám přepočítává podle obráběného průměru optimální otáčky a při obrábění nepřekročí zapsané limitující otáčky, např.

G96 Lims=3200 F0,2 S260 M3

G95 – otáčkový posuv – používá se při vrtání, kdy je nutné mít stálé otáčky vřetene a posuv vrtáku. Do věty za funkci G95 se zapíší požadované otáčky, posuv nástroje a hloubka vrtaného otvoru.

Při obrábění se ještě používají obráběcí cykly, které nám usnadňují a urychlují programování. U těchto funkcí se zapisují koncové hodnoty v osách X a Y, potřebný posuv při obrábění, velikost třísky. Po vykonání potřebného cyklu se nástroj vrací do výchozí pozice, ze které začalo obrábění. To urychluje zápis programu, protože se ušetří několik bloků při odběru jednotlivých třísek k dosažení koncové hodnoty v ose X a Z a pro návrat nástroje do výchozí pozice.

Každý řídicí systém používá své cykly, proto nelze uvést normované jednotné cykly pro všechny řídicí systémy.

Nejpoužívanější cykly pro ŘS Sinumerik 810D:

G64 – podélný hrubovací cyklus – používá se při větším odběru třísek z průměru materiálu a zapisuje se – G64 X Z U F

G66 – zapichovací cyklus – při zapichování širšího zápichu než je šířka zapichovací destičky – G66 X Z H F

G68 – čelní hrubování – při zarovnávání čela obrobku, kdy je přídavek na zarovnání větší, než může odebrat nůž – G68 X Z H F

G78 – řezání závitu s kolmým přísuvem – při řezání závitu, aby se nemuselo soustružit po jednotlivých třískách – G78 X Z H K

G81 – vrtání otvorů – pro zvolený vrták se zapíší koncové hodnoty otvoru – G81 Z F

V NC programu se používají ještě pomocné M funkce, které obrábějí mechanismy obráběcího stroje. U standardních řídicích systémů se využívají základní příkazy M funkcí. Přesto ještě každý výrobce má řadu dalších doplňkových funkcí, které uvádějí v příručkách pro daný typ stroje. Základní M funkce jsou stejné jak pro frézování, tak pro soustružení.

Značení pomocných funkcí M:

M00 – přerušení programu – používá se pro přerušení programu, kdy potřebujeme otočit obráběnou součást z druhé strany nebo pro výměnu hotové součásti za polotovar. Přerušení programu je na neomezenou dobu.

M02 – konec programu s návratem na začátek programu – používá se při sériové výrobě součástí, kdy po zhotovení součásti, se v hlavním panelu stroje vrátí program na začátek programu. Pro opětovné zpracování programu, stačí po výměně hotové součásti za polotovar, zmáčknout jen zelené tlačítko „Cyklus Start".

M03 – otáčky vřetene po směru hodinových ručiček – při pohledu na sklíčidlo z čela

M04 – otáčky vřetene po směru hodinových ručiček – při pohledu na sklíčidlo z čela

M05 – vypnutí otáček vřetene – vypnutí platí pro oba směry otáčení vřetene

M06 – výměna nástrojů – používá se u starších strojů, kdy je v programu nutné vyměnit nástroj za jiný. U nových typů strojů se již tato funkce nepoužívá.

M07, M08 – zapnutí chlazení nástroje – M07 je chlazení vysokotlakem a M08 je chlazení středem nástroje

M09 – vypnutí chlazení – na konci každého programu se vypne chlazení nástroje a platí pro obě předchozí funkce

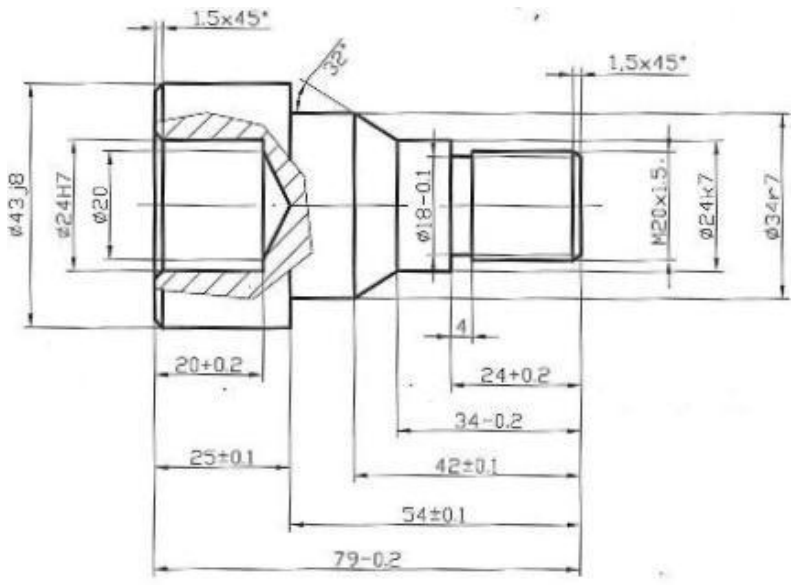
M30 – konec programu – ukončí celý program

U starších typů řídicích systémů se při zapisování M funkcí připisovala ještě jedna nula před číslici navíc, u moderních řídicích systémů stačí zapisovat jen funkci a číslo, např. M0, M3, M9.

Zápis programového listu:

N10	G54				
N20	T1D1				
N30	G96	Lims=3000	S250	F0.2	M3
N40	G0	X51	Z0		M8
N50	G1	X-1.6			
N60			Z1		
N70	G0	X44			
N80	G1		Z-59		
N90		X45			
N100	G0		Z1		
N110	G64	X35	Z-53.9		U1.5

```
N120  G0      X31.5
N130  G1                Z-34
N140          X35       Z-37
N150  G0                Z1
N160          X28
N170  G1                Z-34
N180          X35       Z-40
N190  G0                Z1
N200          X25
N210  G1                Z-34
N220          X35       Z-41
N230  G0                Z1
N240          X21
N250  G1                Z-23.9
N260          X25                   M9
N270  G0D0    X200      Z200
```



Obr. č. 12: Těleso upínače – výkres součásti

V příkladu je zapsán program podle přiloženého technického výkresu. Zápis programu končí vyhrubovanými rozměry s přídavky pro dokončení načisto a odjezdem nástroje do bodu výměny nástrojů.

Celý program pro zvolenou součást, s přiloženým technickým výkresem, operací jednotlivých bloků programu je zapsán a vysvětlen v praktické části.

3.6 PROGRAMOVÁNÍ V SHOPTURNU

Systém ShopTurn je programové vybavení CNC stroje s řídicím systémem Sinumerik 810D, ze kterého se vyvinul a používá se pro obsluhu a programování soustruhů. Toto vybavení umožňuje pohodlné ovládání stroje a jednoduché programování obrobků.

Nová generace řídicího systému Sinumerik 810D s podpůrným systémem ShopTurn, zbavuje dělníky a programátory veškeré práce s programováním v ISO kódu. Dosud byla výroba na NC systémech většinou spojena s komplikovanými kódovanými NC programy. Tuto práci mohli dělat jen dobří programátoři.

V systému ShopTurn se místo programování sestavuje pracovní plán, který zvládne sestavit i obsluha CNC stroje přímo na obráběcím stroji. Díky integrovanému a výkonnému programování pohybů nástroje se dají pomocí tohoto systému bez námahy vyrábět i ty nejkomplikovanější kontury a obrobky.

Programování obrobku v systému ShopTurn je snadné, jelikož je graficky podporováno a nevyžaduje žádné znalosti ISO kódu. Program je zobrazován formou přehledného plánu pracovního postupu a jednotlivé cykly a prvky kontur znázorňuje prostřednictvím dynamické grafiky. Počítač umožňuje zadávání libovolných kontur. K sestavování programů se používá ovládací panel a řídicí panel, který je součástí stroje.

Zpracovávání programu lze zobrazovat trojrozměrně na obrazovce, což má výhodu v jednoduchém způsobu kontroly výsledku programování, případně sledovat opracování obrobku na stroji. K tomu nám slouží spuštění simulace obrábění. Kromě toho je možné přepnout systém i na programování v ISO kódu s G a M funkcemi, nebo můžeme různě kombinovat ISO kód se ShopTurnem.

Zápis programu se systémem ShopTurn je přehlednější, rychlejší, obsahově kratší a při přepisování nebo opravování programu je s tím méně práce než v ISO kódu. Podobné programy lze snadno kopírovat, tím je můžeme upravit podle vlastní potřeby a nemusí se pracně zakládat nové. K pracovišti se systémem ShopTurn patří vedle soustruhu s řídicím CNC systémem, ještě ovládací panel a řídicí panel stroje.

Nevýhodou programování v ShopTurnu, v porovnání s programováním v ISO kódu, je jeho pomalejší časová výroba vyráběné součásti. Nejde o čas při sestavování

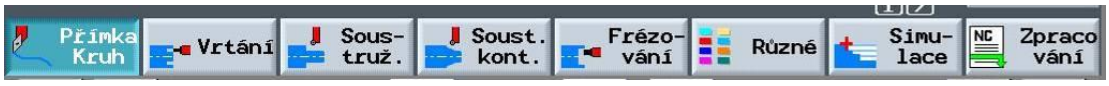
programu, ten je v ShopTurnu rychlejší, ale o to, že program v ISO kódu je při sériové výrobě jedné součásti časově rychlejší, než program, který je zhotovený v ShopTurnu. Je to zapříčiněno tím, že u ShopTurnu dochází při zpracovávání jednotlivých bloků v programu, k neustálému přepočítávání optimálních hodnot vyráběné součásti, to má za následek zpomalení výrobního času na jeden kus. Proto řídicí systém ShopTurn využívá ve velkosériové výrobě málo firem. Tento druh podprogramu je vhodné využívat pro kusovou výrobu, pro výuku žáků nebo při rekvalifikačních kurzech. Naprogramování a odladění stroje nového programu je rychlejší.

Žáci se na odborném výcviku seznamují s oběma způsoby programování. Pro jejich snazší pochopení základů programování se začíná s výukou programování v ShopTurnu. Po zvládnutí základů programování v ShopTurnu se přechází s výukou ke složitějšímu programování s ISO kódem.

3.6.1 Uspořádání ovládacího panelu stroje

Ovládací panel CNC soustruhu s řídicím systémem Sinumerik 810D se skládá ze dvou základních částí:

- **Plochý řídicí panel s obrazovkou** – soustruh je vybaven řídicím panelem od firmy Siemens s 15“ obrazovkou, tlačítky obrazovky, vodorovnou a svislou lištou programových tlačítek. Prostřednictvím tlačítek na okraji obrazovky, si volíme vlastní volbu funkcí systému ShopTurn. Programová tlačítka jsou z větší části přiřazena přímo jednotlivým položkám menu (každé tlačítko má vlastní popis funkce). Všechny pomocné funkce systému jsou k dispozici na pravé straně panelu svislé lišty. Nabídka všech hlavních funkcí systému je na dolní části panelu vodorovné lišty.



Obr. č. 13: Vodorovná lišta ovládacího panelu

Tyto funkce na obou lištách slouží k obsluze stroje, seřizování, spouštění simulace, hledání a zapisování nástrojů v tabulce nástrojů, jednoduchému odběru třísek apod.

- **Ovládací panel stroje** – používá se při obsluze stroje, při údržbě a seřizování stroje. Máme zde k dispozici řadu tlačítek, která používáme k zapnutí stroje,

zapsání a vyvolání programu, při seřizování stroje, zakládání, upínání a měření nástrojů, najíždění nulového bodu obrobku, při údržbě stroje apod.

3.6.2 Sestavování programu v ShopTurn

Celkové programování v řídicím systému ShopTurn je přehlednější, snadnější a je zde i optimální podpora v barevných pomocných obrázcích.

Před začátkem programování si v adresáři stroje založíme nový program pro vyráběnou součást, který si pojmenujeme a tlačítkem převzít založíme nový program.

Program řídicího systému je rozdělen na tři části:

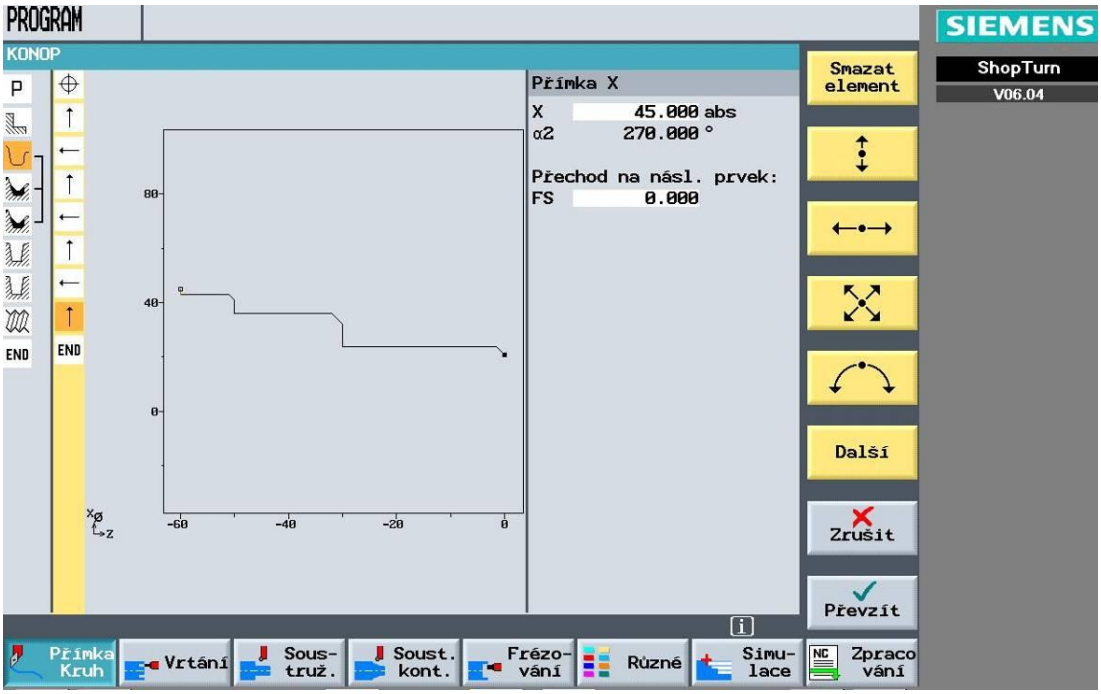
- **Hlavička programu** – záhlaví programu, které obsahuje veškeré parametry rozměru polotovaru, nulový bod obrobku, druh polotovaru (válec, N-úhelník, trubka, obdélník), přídavek na zarovnání čela obrobku, roviny příjezdu a odjezdu nástrojů, bod výměny nástrojů, limitující otáčky vřetene apod.

Správné vyplnění hodnot v záhlaví programu je velice důležité z hlediska dodržení rozměrů vyráběné součásti. Při špatném zadání výchozích hodnot, ať už se jedná o rozměry polotovaru nebo bezpečné roviny příjezdů a návratů nástrojů, může snadno dojít ke kolizi stroje s obrobkem a nástroji. Proto je nezbytné každý zapsaný program nejprve otestovat pomocí simulace a poté jej vyvolat ke zpracování a zhotovení součásti. Tyto nastavené parametry platí pro celý program.

Obr. č. 14: Obrazovka ShopTurnu – zápis programových bloků

- **Programové bloky** – slouží k zapisování jednotlivých kroků obrábění, které je podobné zápisu při programování v ISO kódu, ale s daleko rychlejším a pohodlnějším zápisem. Při programování v ShopTurnu nám odpadají složité výpočty, které musíme v ISO kódu používat. To vše za nás, pochopitelně při správném zadání potřebných hodnot, vypočítává a zapisuje sám řídicí systém. My zde v jednotlivých blocích sestavujeme vlastně jen takový plán pracovního postupu. Programování vyžaduje při zápisu programu maximální soustředěnost, správné čtení technického výkresu, představivost pro zhotovení technologického postupu výroby a v neposlední řadě i zkušenost s řídicím systémem.

- **Kontura vyráběné součásti** – na hlavní liště obrazovky ve složce programů, si programátor nebo žák navolí tlačítkem soustružení kontury. Kontura slouží při sestavování programu k přenesení potřebných rozměrů vyráběné součásti do CNC stroje. Pomocí zapsaných rozměrů do počítače nebo stroje, se v grafické podobě pomocí jednotlivých elementů vykresluje skutečný tvar programované součásti. Po zhotovení kontury obrobku se zvolí vhodný nástroj pro vyhrubování obrobku a poté se celý obrobek obrábí načisto.



Obr. č. 15: Obrazovka ShopTurnu – kontura obrobku

V následující části budou popsány jednotlivé programové bloky v programu. Ty se skládají z operací, které jsou potřebné k sestavení programu a následnému zhotovení součásti. K tomu je nutné znát a volit správný technologický postup výroby pro vyráběnou součást.

V každém programovém bloku se zadávají jen parametry, které jsou potřebné ke zhotovení požadovaného tvaru a rozměrů vyráběné součásti. Tím odpadá složitý výpočet pro různé přechody tvarových ploch, to vše dopočítává řídicí systém.

Základní bloky programu v ShopTurnu:

- **zarovnání čela** – zadává se druh nástroje, kterým bude probíhat odběr třísky z obrobku, optimální řezné podmínky nástroje pro obrábění, druh obrábění (nahrubo nebo načisto), výchozí vztažný bod v ose X, tj. z jakého průměru obrobku bude začínat odběr třísky, v ose Z se zapisuje hodnota velikosti třísky, o kolik se čelo obrobku zarovná, koncový bod v ose X, velikost třísky na destičku nože při jednom odběru.

- **sestavování kontury –** kontura slouží k přenosu rozměrů součásti do programu. Konturu tvoří elementy, do kterých se zapisují rozměrové hodnoty zhotovované součásti. Tímto postupem dokreslíme konturu do požadovaného tvaru součásti. Rozměrové hodnoty lze zapisovat v absolutně i inkrementálně.

- **opracování kontury –** po sestavení kontury se musí zadat opracování kontury zvolenými nástroji. Navolíme požadovaný nástroj pro obrábění nahrubo a v příslušných kolonkách zadáme požadované řezné podmínky pro obrábění, druh obrábění /nahrubo nebo načisto), velikost třísky pro obrábění a přídavky na dokončení hladicím nožem. Následuje zvolení nástroje pro opracování kontury načisto a zápis požadovaných hodnot se opakují, jako při opracování nahrubo.

- **soustružení, frézování, vrtání –** po opracování kontury se k dalším potřebným krokům pro dokončení požadovaného tvaru obráběné součásti navolí na dolní liště, další způsob obrábění (vrtání, soustružení, frézování, různé). Tyto operace již nepatří do soustružení kontury, ale jedná se o konkrétní obrábění.

- **konec programu –** jde o poslední větu v zápisu programu a ta nám značí konec celého programu.

4 OBSLUHA CNC STROJE

Obsluha, programátor i žák při výuce, kteří obsluhují CNC stroj, se musí dobře seznámit se všemi základními části CNC stroje, referenčními body v pracovním prostoru stroje, způsoby upínání obrobků, držáky nástrojů, chlazení a odvod třísek, podepírání obrobků, pojezdový mechanismus a poháněnní stroje. Všechny tyto znalosti obsluhy stroje lze použít při základní údržbě CNC stroje, případně pro odstranění jednoduchých poruch a v neposlední řadě pro obsluhu a programování stroje.

Základem je, že rozumí komplexně celému stroji, na jakém principu stroj pracuje, co všechno lze na stroji obrábět, jak se zachovat při nenadálé situaci, apod. Důležité je také vědět, jakým správným postupem vypnout stroj při kolizi, co dělat při opotřebení destičky nástroje, pokud k něčemu takovému dojde, tak jak nejlépe reagovat. Při údržbě, upínání obrobků, nástrojů, odstraňování třísek a seřizování stroje je dobré znát, jak se chovat v prostoru stroje a na pracovišti kolem stroje, aby nedošlo k zbytečnému úrazu.

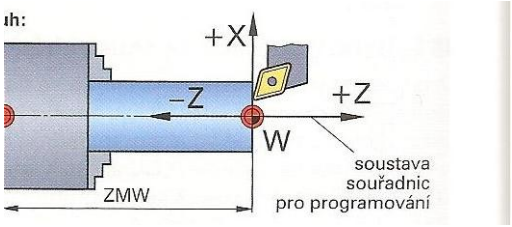
Pracovníci a žáci jsou při výuce seznamováni se základní údržbou stroje. Podle návodu pro obsluhu stroje, která je součástí každého stroje, je obsluha seznámena s pravidelnými intervaly výměny olejů, chladicí kapaliny, kontrola centrálního mazání, mazání a čištění sklíčidla, výměna vzduchových filtrů apod. Každý výrobce strojů má své pravidelné intervaly kontrol a údržby požadovaných částí stroje. Kontroly se řídí podle odpracovaných tzv. pracovních hodin stroje nebo v měsíčních intervalech, to záleží na vytíženosti stroje.

Každý žák nebo obsluha stroje jsou pravidelně vyškolovány v BP na pracovišti, stroji a v jeho blízkosti. Samozřejmostí je nošení ochranných pomůcek včetně pracovního oděvu. Ke kontrole proškolování BP má každý žák i dělník svůj deník bezpečnosti práce. Školení žáků probíhá třikrát do roka, při nástupu na pracoviště v září a poté jednou za tři měsíce. V neposlední řadě probíhá také školení k ochraně životního prostředí, kdy jsou seznamování s nakládáním odpadů, třídění materiálů a třísek, ukládání použité chladicí kapaliny, oleji apod.

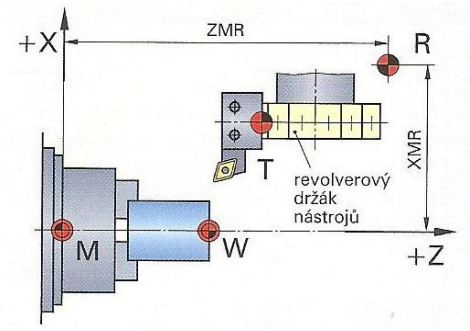
4.1 BODY V PRACOVNÍM PROSTORU STROJE

M - nulový bod stroje – je definován výrobcem a nelze ho změnit, je k němu vztažen souřadný systém stroje, bývá umístěn v místě čela vřetene

W – nulový bod obrobku – dále jen (NBO), je to bod, ke kterému je vztažen program. Jeho poloha může být libovolná, zpravidla je definován na čele obrobku, protože je k němu ve výkresu vztaženo nejvíce kót.



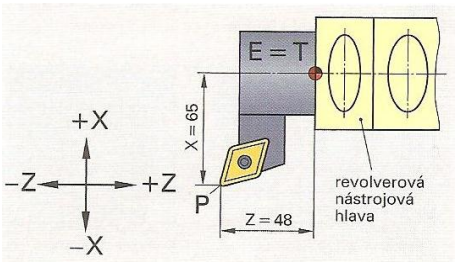
Obr. č. 16: Poloha nulového bodu obrobku



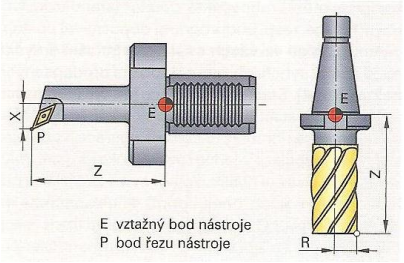
Obr. č. 17: Referenční a nulové body soustruhu

R – referenční bod – najíždí se na něj za účelem vynulování měřicího systému, řídicí systém tak nalezna svůj počáteční bod pro měření úseků dráhy

E = F – vztažné body nástrojů a držáků nástrojů – jsou důležité pro seřizování strojů s revolverovými zásobníky s předem stanovenými nástroji. Měří se pomocí automatické sondy nebo ručně naškrábnutím obrobku (Štulpa, 2006).



Obr. č. 18: Korekční body soustružnického nože



Obr. č. 19: Vztažné body nástroje

4.2 KONSTRUKCE CNC STROJŮ

K zajištění dostatečné tuhosti rámů strojů slouží často svařence, které jsou plněné polymerbetony, kovovými pěnami, apod. Dříve se u klasických strojů používala litina, která se opět začíná používat k výrobě rámů. CNC stroje se skládají z několika základních částí:

Lože – používá se valivé vedení (dříve kluzné), které má výhody i nevýhody. Mají nízké hodnoty tlumení rázů, citlivost na nečistoty, lože se musí chránit kryty proti nečistotám a s tím souvisí nutnost řešit jejich mazání. Lože jsou u soustruhů šikmé a suporty jsou umístěny za osou rotace.

Suport – je umístěn na ložích, po kterých se pohybuje. Je na něm umístěna revolverová hlava s obráběcími nástroji pro obrábění. Skládá se z podélného a příčného suportu, které po ložích vykonávají pohyby v ose „X“ a ose „Z“.

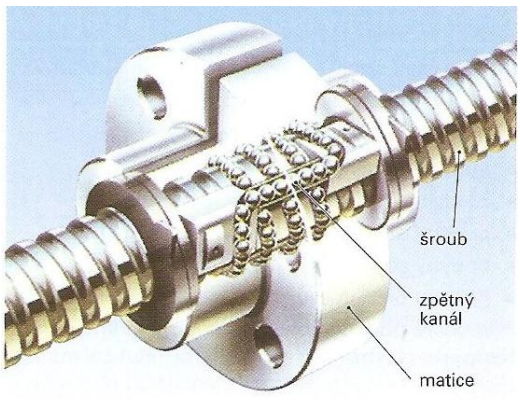
Revolverová hlava – je to zásobník nástrojů, na kterém jsou upevněny držáky s nástroji pro obrábění. Vyrábí se v různých tvarech (hvězdicová, bubnová, korunková hlava, apod.) a pro různý počet nástrojů. Soustruhy mohou mít i několik revolverových hlav, které jsou pohyblivé nezávisle na svých suportech. Používají se pro obrábění před osou a za osu obrábění. Některé hlavy mají možnost i upínání pro poháněné nástroje, např. pro vrtání mimo osu nebo frézování, gravírování popisů na čele obrobku.

Vřeteníky – vykonávají hlavní pohon vřetena a otáčky se pohybují u běžných strojů v rozmezí od 5000 až 12 000 ot/min, u frézování a vrtání i vyšší až 30.000 ot/min. Jsou uloženy mezi ložisky, která jsou mazána a chlazena, jsou pevně spojena s lóžemi strojů.

Sklíčidlo – pro upínání obrobků se používají tříčelisťová nebo čtyřčelisťová sklíčidla různých velikostí a jsou upevněna na vřeteníku. Pro upínání se používají čelisti pro vnější a vnitřní upínání obrobků, upínání je ovládáno hydraulicky.

Pohony – pro pohony vřeten se využívají motory s plynulou regulací otáček, přesné polohování a pootáčení vřeten o požadovaný úhel, mají možnost vysokého zrychlení a zpomalování. Servomotory posuvů a kuličkové šrouby přenášejí pohyby suportů s nástroji (soustruhy) nebo stoly s obrobky (frézky), přesnost pohybu stroje je do tisíciny milimetru.

Posuvné kuličkové šrouby – jsou jednou z nejdůležitějších částí posunového mechanismu. Šrouby zajišťují rychlý a přesný pohyb bez vůle s minimálním třením. Šroub s maticí jsou vzájemně předepjaty, čímž se dosahuje vyšší tuhosti a přesnosti. Kuličkové šrouby jsou téměř neopotřebitelné.



Obr. č. 20: Posuvový kuličkový šroub

Odměřování dráhy – odměřuje dráhu a zajišťuje okamžitou polohu suportu nebo pracovního stolu. Každá osa CNC stroje má vlastní odměřovací zařízení. Používají se různé systémy odměřování dráhy, např. digitální odměřování, analogové odměřování,

induktivní odměřování a to se dělí na přímé a nepřímé, inkrementální a absolutní odměřování.

Podpěrný koník – při výrobě dlouhých součástí, hřídelů, kdy je nutné součást z jedné strany podepřít. Koník je posouván servomotorem a to je řízeno příkazy z CNC programu.

Chladicí soustava – využívá se při obrábění k chlazení obrobku a nástroje, kdy je do řezu středem nástroje nebo vnějším vysokotlakým chlazením nástroje přiváděna chladicí kapalina, která chladí nástroj i obrobek a zároveň odplavuje třísku. Chladicí soustava se skládá z čerpadla, nádrže a rozvodových trubek. Trendem je omezit nebo úplně odstranit chlazení při obrábění, z hlediska ekologie.

Dopravník třísek – třísky, které vznikají při obrábění, jsou odváděny do sudů nebo palet určené pro sběr třísek. Používá se pásový dopravník, který je umístěn pod CNC strojem podélně pod prostorem obrábění, tak aby třísky padaly na pás a následně byly vysypány do palet. Pohon dopravníku zajišťuje elektromotor (Štulpa, 2006).

4.3 SEŘIZOVÁNÍ SOUSTRUHU

Před každým příchodem k CNC stroji je nutné udělat několik důležitých kroků, něž připravíme stroj pro programování a výrobu.

Zapnutí CNC soustruhu – má pět základních kroků, které ovládáme z hlavního panelu:

1. krok – zapnout hlavní vypínač na zadní části stroje do svislé polohy

2. krok – po spuštění softwaru se musí resetovat (smazat) chyby v ovládacím panelu obrazovky

3. krok – tlačítkem pohonů zapneme stroj

4. krok – zmáčkneme tlačítko pro otevření ochranných dveří pro přístup do obráběcího prostoru stroje

5. krok – tlačítkem se symbolem koníka, načteme koníka do koncového bodu stroje

Tímto postupem a těmito kroky je stroj zapnutý a připraven k seřizování, programování.

Upínání nástrojů do revolverové hlavy – k upínání nástrojů do revolverové hlavy se používají VDI držáky různých profilů a slouží k upínání nástrojů pro vnější i vnitřní obrábění a pro vrtací nářadí. Pro poháněné nástroje se používají speciální EWS držáky. Tyto držáky s nástroji jsou upevněny pomocí šroubu a vodícího kolíku k revolverové hlavě. Každá hlava má několik míst pro nástroje a tato místa jsou označena čísly, např. 1 – 12 podle typu hlavy.

Založení a vyvolání programu – pro obsluhu stroje nebo žáka, je nezbytné, aby se správně orientovali v ovládacím panelu stroje, znali potřebná tlačítka na panelu, aby dokázali vyhledávat, zakládat a zpracovávat potřebný program pro výrobu v paměti stroje. Musí znát základní kroky potřebné k uvedení stroje do výroby, což je předpoklad nepoškození stroje.

Kontrola stroje před výrobou – obsluha nebo žák má za povinnost před uvedením stroje do činnosti předcházet poruchám, kolizím a zabraňovat zbytečnému opotřebovávání nástrojů (špatně navolené řezné podmínky), preventivně provádět kontrolu, např. provozního tlaku stroje, stav chladicí kapaliny, funkčnost centrálního mazání pohonů a vedení, funkčnost dopravníku třísek, upnutí sklíčidla, apod.

4.4 NÁSTROJE PRO CNC SOUSTRUH

Při obrábění na soustruhu se k odběru třísek používají různé druhy soustružnických nástrojů (nožů). Nástroje se upínají do držáků, které mají jednotný systém pro rychlejší výměnu. Tím odpadá vystřeďování nástrojů do osy.

Pro nástroje se používají vyměnitelné břitové destičky, např. ze slinutých karbidů (SK), povlakované (TIN), keramické destičky (KM), CNB, PCD, apod. Vyměnitelné destičky mívají zpravidla dva a více břitů pro obrábění. Při opotřebení stačí destičku jen otočit o 180° nebo se otočí dolní plochou nahoru. To nám usnadňuje a urychluje výměnu celého nástroje, který bychom museli opětovně naměřit, což snižuje časovou prodlevu při výměně. Pro obrábění je možné používat destičky pro různé druhy materiálů, např. šedá litina (K), ocel (M), neželezné kovy (N), speciální žáropevné slitiny (S) a zušlechtěné oceli (H). (Hoffmann Group, 2008)

Pro upínání soustružnických nástrojů na čelní a svislé revolverové hlavy se používají nástrojové držáky s označením VDI a pro poháněné nástroje s označením EWS, které mají tvary různých profilů. Nástrojové držáky lze rozdělit na dvě základní skupiny a to podle směru obrábění na pravé a levé a podle způsobu držení nástroje na převrácené pravé a levé.

Dělení nástrojových držáků podle způsobu obrábění:

- **Radiální držáky** – pro nástroje k vnějšímu obrábění součástí

- příčné upínače čtyřhranu – pro upínání nástrojů s průřezem čtyřhranu nebo obdélníku, např. ubírací nůž, hladicí nůž, zapichovací nůž, závitový nůž, apod.

- **vrtací a frézovací hlavy** – používají se u soustruhů s poháněnými nástroji, např. podélné frézování a vrtání

- **Axiální držáky** – pro nástroje k vnitřnímu obrábění součástí a pro vrtací nástroje

- podélné upínače čtyřhranu – pro nástroje s průřezem čtyřhranu nebo obdélníku při čelním obrábění, např. čelní zapichovací nůž různých profilů

- držáky nástrojů s válcovou a kuželovou stopkou – pro nástroje, které se používají pro vnitřní obrábění, např. vrtáky s výměnnými destičkami, vrtáky s kuželovou stopkou, pro vnitřní nože, vyvrtávací tyče, apod.

- kleštinové držáky – pro nástroje s válcovou stopkou a k usazení nástroje se používá kleština, do které se vkládají potřebné nástroje, např. středicí vrtáky, NC navrtáváky, vrtáky, závitníky, frézy, apod.

- **vrtací a frézovací hlavy** - používají se u soustruhů s poháněnými nástroji, např. čelní frézování, gravitování a vrtání

Základní rozdělení soustružnických nástrojů:

- **Vnější soustružení** – používají se pravé a levé nože podle směru obrábění, např. ubírací nože hrubovací, ubírací nože hladicí, zapichovací nože, závitové nože, tvarové nože, apod.

- **Vnitřní soustružení** - používají se pravé a levé nože podle směru obrábění, např. ubírací nože hrubovací, ubírací nože hladicí, zapichovací nože, závitové nože, tvarové nože, apod.

- **Vrtání otvorů** – pro vrtání otvorů se používají vrtáky s různými vrcholovými úhly, které se volí podle druhu vrtaného materiálu, např. vrtáky spirálové s válcovou nebo kuželovou stopkou, vrtáky s výměnnými destičkami, středicí vrtáky a NC navrtáváky (Hoffmann Group, 2008).

4.4.1 Korekce nástrojů

Korekce nástrojů slouží při zpracovávání programů, k zohledňování rozdílné geometrie nástrojů. Údaje v korekčních parametrech nástrojů se ukládají do tabulky nástrojů. Řídicí systém tyto korekční parametry nástrojů při každém vyvolání nástroje započítává. Proto nám při programování stačí zadávat skutečné rozměry vyráběné součásti, které jsou zapsány v technickém výkresu součásti. Na základě toho si řídicí systém sám vypočítává optimální dráhu pohybu nástroje.

„ NC program popisuje obvykle dráhu jednoho často i myšleného bodu nástroje. Tak zvanými korekcemi jsou pak upravovány odchylky polohy břitu tak, aby obráběný dílec měl rozměry v zadané toleranci“ (Vrabec, 2004, str. 32).

U starších typů CNC strojů se korekce nástrojů zapisovaly přímo do programových vět. V současnosti se zapisují korekce nástrojů do tabulky nástrojů a to buď ručně, nebo pomocí automatické sondy.

Korekce nástrojů a jejich dělení:

- **Korekce délkové** – vyrovnává rozdíly v délce nástroje v osách X a Z mezi různými nástroji. Délka nástroje je vzdálenost mezi vztažným bodem držáku nástroje T a špičkou nástroje P. Délkové korekce nástrojů se zjišťují ručně, automatickou sondou nebo lupou. Nejpoužívanější způsob zápisu je ve tvaru T1D1, kde T1 znamená nástroj na první pozici a D1, že má nástroj skutečně korekce.

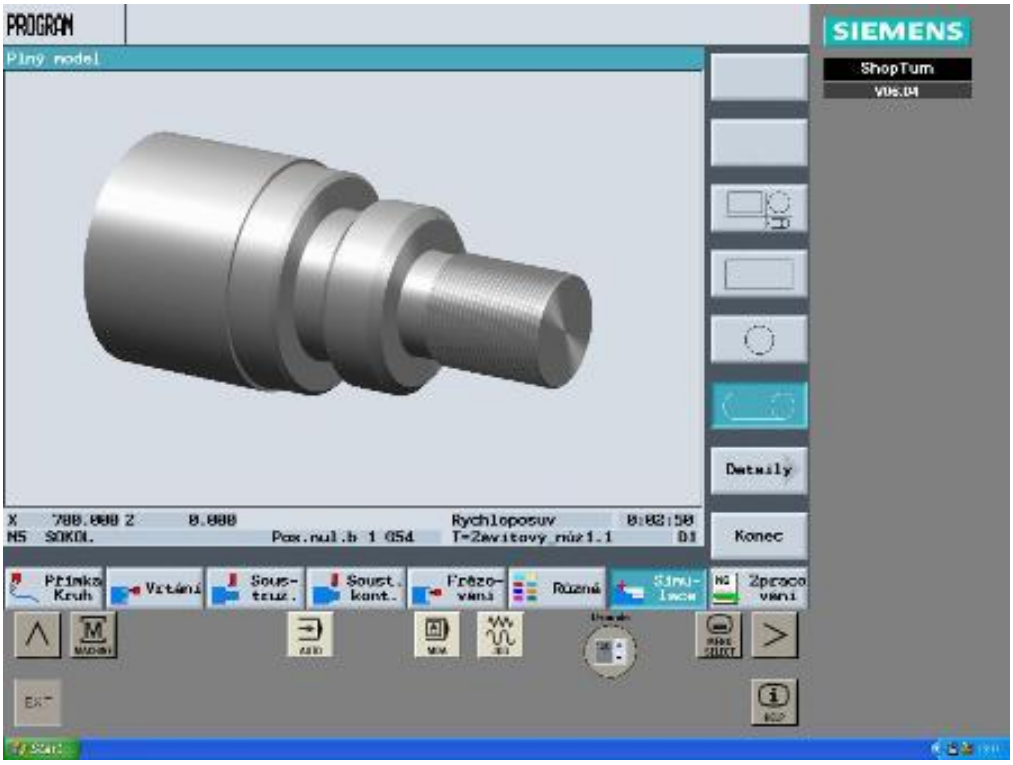
- **Korekce rádiusové** – určují se podle velikosti rádius špičky nástrojů a musí se stanovit poloha nástroje k obráběné ploše.

- **Korekce výsledná** – je to optimální pozice obou předchozích korekcí a vytváří tzv. ekvidistantní křivku (posunutá dráha nástroje). Na základě rádius nástroje, který je zapsán v tabulce nástrojů, si řídicí systém vypočítává posunutou dráhu nástroje (Štulpa, 2006).

5 VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH PROGRAMŮ PŘI VÝUCE

Simulační program slouží programátorům, obsluze stroje i žákům při výuce k otestování sestavovaného programu. Po zhotovení každého programu do počítače nebo stroje máme možnost si program odsimulovat a zkontrolovat. Na obrazovce CNC stroje nebo počítače se znázorní v grafické podobě naprogramovaný model vyráběné součásti. Následně se zobrazí na obrazovce zvolený nástroj, který podle zapsaných parametrů pro obrábění začne simulovat odběr jednotlivých třísek z polotovaru. Toto znázornění pohybu nástroje odpovídá skutečnému odběru třísek při výrobě i se stanovenou rychlostí posuvu nástroje. Při simulování celého procesu obrábění je vidět na obrazovce, jak dochází k výměnám nástrojů, které jsou v programu určeny pro odběr třísek v jednotlivých operacích. Jsou vidět dráhy pohybů nástrojů, návraty nástrojů zpět před materiál, hodnoty v souřadnicích v osách X a Z. Pohyby nástrojů lze ovládat kolečkem na snižování a zvyšování rychlosti posuvů. Takto je možné simulaci spouštět při soustružení i frézování.

Po ukončení programu, kdy nám nástroj dokončil poslední operaci při odběru třísky z vyráběné součásti, lze součást zobrazit na obrazovce z různých náhledů. To je vhodné pro detailnější pozorování a zkoumání případných nedostatků a chyb na povrchu součásti. Je možné si součást prohlédnout v 3D obrázku, v řezu součásti, v různých směrech natočení součásti, kdy je možné součást otáčet oběma směry i přibližovat a oddalovat.



Obr. č. 21: Obrazovka simulace s 3D obrázkem

Výběr náhledu při simulaci lze také přepnout do náhledu, kdy zároveň sledujeme simulaci odběru třísky, ve 3D pohledu a také z čela obrobku. Během simulace obrábění je také řídicím systémem kontrolována syntaxe programu. Je zde možnost spouštět simulaci při samotné výrobě součásti, kdy nám v prostoru CNC stroje probíhá skutečná výroba součásti a zároveň je možné si na obrazovce stroje pouštět simulaci obrábění. Při obrábění je spuštěna chladicí kapalina, která se rozprašuje, protože se při obrábění otáčí obráběná součást a tím není přes sklo dveří vidět, proto není možnost sledovat průběh obrábění (Rybín, Rafaj, 1995). Pro to, aby nám bylo umožněno simulaci spustit, je nutné mít v programu vhodně založeny nástroje pro jednotlivé operace obrábění, tak aby odpovídaly směru obrábění. To, zda jsou nástroje fyzicky upnuté v revolverové hlavě nám nevadí, protože simulace se dá spustit i se smyšlenými nástroji. To samé platí i pro navolení vhodných řezných podmínek, které také nemusí odpovídat skutečnosti. V simulaci je možné spustit obrábění, při kterém dojde ke kolizi. Kolizi je možné vidět při simulování, kdy nám zajede nůž, např. do upínacího sklíčidla. Simulace se nezastaví a ani nám nenahlásí, že došlo ke kolizi, proto je nutné při ověřování dávat pozor jestli se nástroj pohybuje v prostoru, kam jsme ho chtěli naprogramovat. Toto je jedna z nevýhod simulace, jak pro obsluhu stroje, tak programátora i žáka. Z tohoto důvodu je nezbytné před každou výrobou nové součásti, která byla naprogramována a odsimulována, aby se program před spuštěním řádně zkontroloval a při odběru první podélné třísky ohlídal dojezd nástroje před sklíčidlo.

Simulační programy usnadňují a urychlují všem programování a obsluha stroje má pro kontrolu méně práce a usnadňuje to spouštění programu. Simulace žákům při výuce usnadňuje samotné programování, mají lepší orientaci v programu, lépe vidí naprogramované chyby a v neposlední řadě si lépe představují samotné obrábění a pohyby nástrojů při obrábění.

6 SEŘIZOVÁNÍ CNC STROJŮ

Při obsluze a seřizování CNC strojů je nutné, aby žáci během výuky a pohybu na pracovišti dodržovali problematiku bezpečnosti práce, hygieny práce a požární ochrany.

Tato problematika je součástí teoretického i praktického vyučování a vychází z požadavku platných právních předpisů – zákonu, vyhlášek, technických norem i předpisů ES pro danou oblast. Prostory, ve kterých probíhá výuka, musí odpovídat Vyhlášce č.410/2005 Sb.

V úvodu každého pracovního dne na pracovišti odborného výcviku, jsou žákům pravidelně opakovány základní body BP. Každý žák, který se pohybuje v prostorách odborného výcviku a u strojů, musí být poučen a vyškolen o BOZP. Školením se preventivně předchází úrazům, žáci jsou seznámeni s povinnostmi a chováním u strojů. Žáci jsou školeni v jednom dni, tj. 6h a po proškolení učitelem OV, který je řádně vyškolen, podepíší ve své kartě BP, že byli ten den proškoleni. Školení probíhá při každé změně pracoviště, zpravidla třikrát během školního roku.

6.1 BOZP NA ODBORNÉM VÝCVIKU

Žáci jsou podrobně seznámeni se všemi riziky na pracovišti odborného výcviku, s prostory objektu, s umístěním lékárniček první pomoci, na určeném místě je sešit o evidenci úrazů dětí, žáků i studentů, kde se nacházejí přenosné hasicí přístroje, základní požární dokumentace, umístění ohlašovny požáru. Při proškolování z BOZP jsou žáci prokazatelně seznamováni s návody k obsluze jednotlivých strojů a zařízení. Při praktickém vyučování je nad žáky vykonáván dozor učiteli OV.

Výuka žáků na pracovišti odborného výcviku probíhá v souladu s provozními řády, hygienickými, bezpečnostními a protipožárními předpisy stanovenými pro tato pracoviště. Jsou dodrženy pracovní podmínky mladistvých, délka výuky v praktickém vyučování, limity pro zvedání a přenášení břemen chlapci a dívkami, práce ve výškách, při rozdílných teplotách. Dále jsou seznámeni s provozním řádem pracoviště, používáním ochranných pracovních pomůcek, dodržování pracovní doby a bezpečnostních přestávek na odpočinek a jídlo.

Žáci jsou seznámeni se základní dokumentací požární ochrany umístěnou na pracovišti OV, o chování při vzniku požáru na pracovišti a s rozmístěním hasicích prostředků.

6.2 MĚŘENÍ NÁSTROJŮ AUTOMATICKOU SONDOU

Měření nástrojů můžeme provádět třemi způsoby - ručním měřením (tzv. naškrábnutím průměru a čela obrobku), automaticky (pomocí sondy), lupou (u starších strojů, kdy se přes lupu zaměří nástroj v osách X a Z). Pokud je stroj vybaven automatickou sondou, tak je to nejrychlejší a nejpřesnější měření nástrojů. Zpravidla jsou tímto systémem vybaveni modernější stroje. Měření jednotlivých nástrojů automatickou sondou probíhá na samotném stroji, kde jsou nástroje upnuty v revolverové hlavě pomocí nástrojového držáku.

Žák, který provádí měření nástrojů, provádí jednotlivé kroky pod dohledem učitele OV. Nejdříve učitel OV všechny žáky ve skupině seznámí s jednotlivými kroky ústně a poté jim na vybraném CNC stroji názorně předvede veškeré potřebné kroky při měření nástroje. Žáci mají k dispozici v tištěné podobě návod na měření nástrojů, ve kterém mají vše popsáno krok za krokem. Tento materiál si učitel OV vypracoval sám, pro zlepšení a zkvalitnění výuky. Tento manuál má žák k dispozici při každé obsluze CNC stroje a po osvojení znalostí a dovedností vyučovaného tématu, je žák schopen bez větších problémů, nástroje naměřit sám.

Výuka probíhá z počátku jako frontální, kdy se žáci na učebně a u CNC strojů nejdříve slovně a se zápisem poznámek do sešitů, podrobně seznámí s daným tématem výuky. Postupně se výuka přesouvá k individuální výuce, kdy si každý žák teoreticky s učitelem ověří správnost postupu a následně prakticky pod dozorem učitele OV provede měření nástrojů. Takto se postupně prostřídají všichni žáci ve skupině. Ostatní žáci zatím plní přidělené úkoly na počítačové učebně, které jim přidělil učitel OV, ve skupinkách nebo samostatně.

Měření nástrojů má několik kroků:

- **volba nástroje** – žák si na hlavním panelu obrazovky navolí číslo měřeného nástroje, zapíše a potvrdí tlačítkem ***„Input“***. Žák musí dávat pozor, aby zvolený nástroj byl fyzicky upnut v revolverové hlavě.

- **načtení nástroje** – tlačítkem ***„Cyklus START“*** (zelené tlačítko), tím provede žák načtení nástroje do hlavní obrazovky ovládacího panelu stroje a natočení revolverové hlavy s nástrojem do výchozí polohy

- **vyklopení automatické sondy** – pro měření nástroje musí žák tahem ruky vyklopit sondu z chránicího krytu a tím ji aktivuje

- **volba měření nástroje** – na spodní liště panelu obrazovky si žák vybere tlačítko ***„Měření nástrojů“***, potvrdí a následně si na pravé straně obrazovky vybere měření ***„Automatické“***, pomocí strojních posuvů se s nástrojem přiblíží cca 10 mm nad nebo před sondu a se špičkou břitu na střed sondy**.** Postupně začne měřit obě osy (X, Z).

- **volba os měření** – žák si na pravé liště vyber osu, na kterou je najetý nástrojem a po zvolení osy vyvolá měření tlačítkem ***„Cyklus START“***. Proběhne automatické naměření a zapsání naměřených hodnot do tabulky nástrojů k danému nástroji a příslušné ose. Stejným postupem opakuje měření druhé osy.

- **odjetí od sondy a ukončení měření** – po naměření obou os, žák odjede strojním posuvem do bezpečné vzdálenosti od sondy, ukončí měření tlačítkem ***„Zrušit“*** a návratem do hlavní obrazovky, zaklopí sondu zpět do ochranného krytu sondy

Pro měření dalších nástrojů opakuje stejným způsobem všechny kroky. Pozor při měření nástrojů, které jsou určeny pro středové obrábění, např. vrtáky, frézy, závitníky, výhrubníky, výstružníky, apod., tyto nástroje se měří pouze v ose **Z**!!!

6.3 NAJETÍ NULOVÉHO BODU OBROBKU

Pro zvolení nulového bodu obrobku (dále jen NBO) je nutné udělat několik důležitých kroků. NBO se zpravidla určuje na čele obrobku, protože z tohoto místa je dle výrobního výkresu součásti odměřována většina rozměrů. NBO lze najíždět jakýmkoliv nástrojem, ale je dobré NBO najíždět vnějším ubíracím nožem (má destičku pro hrubování, více vydrží).

- **volba nástroje a otáček vřetena** – do základní obrazovky ovládacího panelu žák zapíše číslo pozice zvoleného nástroje v revolverové hlavě a otáčky pro otáčení vřetena. Po zapsání čísla provede žák tlačítkem ***„Cyklus START“*** načtení nástroje do hlavní obrazovky a natočení revolverové hlavy do výchozí pozice.

- **najetí nástroje před čelo obrobku** – pomocí strojních posuvů si žák s nástrojem najede cca 10 mm před čelo obrobku a pod průměr polotovaru.

Tlačítkem se symbolem *„Otáčky vřetena“*, aktivuje nastavené otáčky ve směru hodinových ručiček.

- **najetí NBO na čelo obrobku** – žák přepne tlačítkem pro ruční řízení stroje stroj do ručního ovládání, na pravé liště panelu zvolí rychlost posuvu inkrementálního posuvu (0,01 mm) a na spodní liště panelu si zvolí osu v jaké se bude pohybovat (osa **Z**). Pomocí ***„Inkrementálního kolečka“*** si pomalu a opatrně najede nožem na čelo obrobku a po dotyku přepne z osy Z na osu X a s nožem odjede nad povrch obrobku, vypne otáčky vřetena červeným tlačítkem ***„STOP“***.

- **zapsání posunutí NBO** – na spodní liště panelu si žák vybere tlačítkem ***„Nul. bod obrobku“*** nastavení NBO a do řádku Z0 zapíše hodnotu o kolik se má posunout NBO od nulového bodu stroje. Zapisuje se hodnota, o kolik potřebujeme zarovnat čelo obrobku, např. 1mm. Tlačítkem ***„Nastavit posun NBO“*** provede nastavení posunutí NBO.

- **odjetí nástroje od obrobku** – žák tlačítkem se symboly posuvů aktivuje strojní posuvy z manuálního řízení a na spodní liště panelu tlačítkem ***„T, S, M“*** přepne obrazovku do základní obrazovky.

7 SAMOSTATNÉ PROVEDENÍ SEŘÍZENÍ A OBSLUHA CNC STROJE ŽÁKEM

Výuka žáků, kteří docházejí na pracoviště odborného výcviku, probíhá na několika pracovištích. Podle ročníků a probíraných témat výuky jsou rozděleni na pracoviště frézování, soustružení a programování a obsluhy CNC strojů.

Základem pochopení výuky o problematice obrábění, obsluhy, seřizování, údržby a programování na CNC strojích, je pro žáka nutnost zvládnout obrábění na klasickém stroji (soustruh, frézka). Tyto vědomosti a dovednosti klasického obrábění, získávají žáci během druhého ročníku odborného výcviku. Teoretické vědomosti získávají žáci ve škole v hodinách technických předmětů technologie, technické dokumentace a strojírenské technologie. Na obsluhu, seřizování a programování CNC strojů se dostávají ke konci druhého ročníku a celý třetí ročník. Při výuce na klasických strojích si žák ověřuje naučené teoretické vědomosti, provádí nezbytné kroky pro získání dovedností všech způsobů klasického obrábění.

Žák by se měl důkladně seznámit se složením jednotlivých částí klasického stroje, s jeho základními pohyby, jakým způsobem dochází k odběru materiálu z obrobku nástroji, jaké nástroje lze při obrábění používat, způsoby upínání obrobků a samozřejmostí je vhodně a hospodárně zvolit technologický způsob obrábění. Princip obrábění na CNC strojích vychází z klasického soustružení nebo frézování. Jen s tím rozdílem, že hlavní pohyby a řízení stroje nevykonává člověk, ale příslušný řídicí systém CNC stroje.

Pro to, aby žáci pochopili a správně se naučili programovat a obsluhovat CNC stroje, tak je nutné, aby učitel OV jasně a srozumitelně vysvětlil základy programování a názorně ukázal jednotlivé kroky obsluhy stroje. Učitel OV musí pevně stanovit podmínky, jak se u CNC stroje chovat, samozřejmostí je dodržování bezpečnosti práce, jak se vyvarovat možným komplikacím při obsluze, apod. Učitel by měl zvolit vhodnou formu výuky, např. nevyučovat jen ve skupinkách, nebo zvolit individuální výuku na CNC stroji. To je důležité z hlediska získání větších dovedností žáka při práci na stroji, ten se tak lépe zbaví ostychu a strachu před strojem, lépe si osvojí veškeré kroky obsluhy při seřizování stroje. Pokud udělá žák nějaké chyby během obsluhy, tak si je po upozornění učitelem lépe zapamatuje a příště se jich většinou nedopouští, nebo jen v menší míře. Samozřejmě záleží na osobnosti a zručnosti každého žáka.

Podle jednotlivých témat při výuce obsluhy CNC strojů a jejich programování, se žáci pozvolna seznamují s problematikou skládání a zapisování NC programů a s popisem jednotlivých částí CNC strojů, jejich údržbou, seřizováním a vlastní obsluhou strojů. Žáci

se učí od základu vše, co potřebují pro zvládnutí kompletní obsluhy a seřizování strojů. To co se týká skládání a zapisování programů, tak to žáci vykonávají většinou na počítačové učebně, která je vybavena počítači, ve kterých jsou nainstalované programy se stejným řídicím systémem, které využívají výukové CNC stroje. V počítačové učebně probíhá výuka frontální nebo skupinová. Během výuky na PC učebně se ve skupinkách nebo individuálně střídají u obsluhy a seřizování CNC stroje. Zde pod vedením učitele OV vykonávají všechny potřebné kroky, které jsou nutné, aby si osvojili a vyzkoušeli teoretické vědomosti týkající se kompletní obsluhy a seřizování stroje.

Mezi tyto základní kroky, které musí žák zvládnout, patří zapnutí a vypnutí stroje, ustavování nástrojů do držáků nástrojů, upnutí držáku do revolverové hlavy, založit nástroj do tabulky nástrojů, naměření nástrojů, seřízení upínacích čelistí, způsob upnutí součásti, najetí nulového bodu obrobku, naprogramování součásti, vyvolání programu a jeho následné zpracování, vyrobení součásti a v neposlední řadě tam patří i údržba stroje a jeho čištění. Pokud tyto dovednosti žák nezvládne, tak nemůže být připuštěn k závěrečné zkoušce nebo k maturitní zkoušce.

7.1 VÝUKA ODBORNÉHO VÝCVIKU

Vzhledem k náročnosti oboru, je nutné při výuce odborného výcviku s žáky propojit teoretickou výuku s praktickou výukou. Při společné výuce teorie a praxe je výhodou, že si žáci při výuce OV zopakují a hlavně prakticky osvojí a vykonají učivo probrané v hodinách teoretického vyučování. To má velkou výhodu pro žáky, kteří mají problém pochopit výklad teorie. Někteří žáci školní výklad pochopí až poté, když si jednotlivé témata výuky prakticky vyzkoušejí na klasickém nebo CNC stroji. Moderní způsoby výuky vedou žáky k jednoduššímu naučení a pochopení vyučované látky. Neustále se zlepšuje materiální vybavení školních tříd, pracovišť praktického vyučování, školní pomůcky pro učitele, obnovování strojového parku na dílnách odborného výcviku probíhá rychlejším tempem a vybavenost učeben na OV doznává značných změn (vybavení učeben počítači, výukové softwary v PC, které slouží pro výuku programování řídicích systémů CNC strojů, apod.).

Cílem praxe je praktické osvojení řemeslných dovedností a aplikace všeobecných a odborných dovedností při zhotovení strojírenských součástí. V teorii i praxi jsou žáci vedeni k hospodárnému zacházení s materiály a energií, k ekologickému chování ke slušnému chování a k dodržování hygienických předpisů, protipožárních předpisů a

předpisů bezpečnosti práce. Obecným cílem je připravit žáka tak, aby se dobře umístil na trhu práce, případně byl schopen reagovat na měnící se podmínky trhu práce.

Výuka odborného výcviku probíhá na pracovišti KOVO, které je rozděleno na tři oddělená pracoviště. Žáci prvních ročníků mají k dispozici celkem dvě pracoviště, na kterých probíhá výuka ručního opracování kovů. Pracovní dobu mají na 6 hodin, kdy vyučovací hodina trvá 60 minut, po které mají 5 minutové přestávky, mezi tím mají 30 minutovou přestávkou na oběd. Výukový den jim začíná v 7 hod., od 10.45 – 11.15 hod. mají přestávku na oběd a pracovní den jim končí v 13.30 hod. Žákům druhých, až čtvrtých ročníků začíná pracovní den v 6 hodin a končí v 13.30 hod. Během dne, dodržují stejný časový harmonogram, jako žáci prvních ročníků.

Výuka probíhá podle tematických plánů výuky, které jsou rozplánovány na jednotlivá témata daného ročníku. Tematické plány si učitele OV připravují podle ŠVP. Žáci jsou rozděleni do skupin, které mají počet většinou do 10 žáků ve skupině. Podle učebního oboru a ročníku jsou žáci rozděleny k jednotlivým učitelům OV, kteří jsou specialisté na jednotlivé strojírenské obory. Na škole se vyučují tříleté obory – Obráběč kovů, Strojní mechanik, které jsou zakončeny výučním listem a čtyřletý obor – Mechanik seřizovač zakončený maturitní zkouškou.

Žáci prvních ročníků všech tří oborů získávají postupně teoretické a praktické vědomosti, dovednosti a návyky o ručním opracování kovů, dodržují zásady a předpisy ochrany zdraví a bezpečnosti práce. Učí se hospodárně využívat materiál a dbají na úsporu energií. Postupně se seznamují se základními operacemi opracování kovů: vrtání, broušení, řezání, stříhání, ohýbání materiálů. Ke konci prvního ročníku mají několik hodin výuky na klasických obráběcích strojích.

Žáci od druhých ročníků Obráběč kovů a Mechanik seřizovač začínají pracovat již samostatně na klasických strojích (frézky, soustruhy, vrtačky). Ke konci druhého ročníku se začínají zaškolovat na obsluhu CNC soustruh a CNC frézku. Dalšími vyučovanými tématy jsou základy NC programování.

Od třetího ročníku si žáci prohlubují získané vědomosti a dovednosti z NC programování. Učí se pochopit strukturu a tvorbu programu, zapisování programů do počítačových programů a CNC strojů. Důležitou částí výuky je samotná údržba, obsluha a seřizování CNC strojů. Tuto činnost žáci vykonávají pod odborným dohledem učitelů OV přímo na CNC strojích, kterými je dílna OV vybavena.

Žáci čtvrtých ročníků se během posledního roku výuky pravidelně střídají na smluvních pracovištích partnerů školy, kde získávají zkušenosti z běžného pracovního života, získávají zkušenosti na různých obráběcích strojích, navazují kontakty s lidmi, mají odpovědnost sami za sebe a hlavně mají možnost ukázat na své schopnosti a dovednosti, tzv. předvést se na trhu práce a tím možnost získání kontaktu a možné nabídky při hledání budoucího zaměstnání.

7.2 VYBAVENÍ UČEBEN A DÍLNY

Vzhledem k tomu, že dříve výuka na pracovišti probíhala spíše jen jako praktická část, obsahovala méně teoretických poznatků, jednotlivé bloky byly před praktickým cvičením stručné, tak nebylo třeba, aby na pracovišti byly k dispozici učebny s lavicemi a dalším školním vybavením. To dnešní výuka je daleko rozsáhlejší, odborně teoreticky náročná na výklad i pro názornou demonstraci pohybů nástrojů a technologii obrábění při použití CNC strojů. Z tohoto hlediska byla nutná modernizace jednak strojového parku dílny (CNC stroje a nářadí), tak i samotné vytvoření prostorů pro zřízení učeben (učebna pro teoretickou výuku a učebna vybavená počítači).

Počítačová učebna, ve které probíhá teoretická výuka programování a praktická část na počítačích, je vybavena deseti pracovními místy s židlemi a počítači, ve kterých jsou nainstalovány programy pro řídicí systémy CNC soustruhů a frézek. Dalším programem je program pro kreslení technických výkresů. Všechny tyto programy mají možnost po zapsání programu spuštění simulace, která žákům usnadňuje kontrolu sestaveného programu. Pro učitele odborného výcviku nebo teorie, to usnadňuje kontrolu zadaných úkolů žákům, lze se snadno pohybovat v celém programu a jsou při spuštěné simulaci lépe vidět chyby v celém programu. Další velkou výhodou je, pokud žák provádí obsluhu a programování přímo na CNC stroji, tak si před samotným spuštěním programu do výroby může detailně prohlédnout celý program a tím má možnost ještě odstranit možné chyby v programu. V simulaci je vidět jednak celý profil obráběné součásti, sklíčidlo s upínacími čelistmi a všechny nože, které jsou při obrábění používány. Tím se snižuje velké riziko nabourání CNC stroje a jeho další poškození. Dalším vybavením PC učebny jsou školní a didaktické pomůcky jako, přenosná magnetická tabule, pevná nástěnná tabule, fixy různých barev a magnety, strojní tabulky, katalogy s nářadím a nástroji, různé vyrobené součásti, měřidla. Počítače jsou vybaveny internetovým připojením, které žákům slouží při výuce k vyhledávání informací, které využívají při řešení zadaných úkolů.

Ve druhé učebně je celkem šest školních lavic se židlemi, jedna přenosná magnetická tabule a jeden stůl se židlí pro učitele. V této učebně probíhá jen teoretická část výuky technologie obrábění kovů a programování. Žáci se zde také učí měřit základními měřidly. V učebně jsou ještě didaktické pomůcky např., stojní tabulky, katalogy s nářadím a nástroji, základní měřidla (posuvná měřidla, mikrometry pro vnější i vnitřní měření), různé druhy vyrobených součástí, magnety a fixy různých barev. Ještě v této učeně probíhá školení bezpečnosti práce.

Výuková dílna je rozdělena do tří základních pracovišť, ve kterých probíhá výuka OV. Podle ročníků jsou žáci rozděleny na jednotlivá pracoviště dílny. Dvě hlavní části dílny jsou obsazeny žáci druhých až čtvrtých ročníků, na dílně frézování je umístěno celkem dvanáct klasických frézek a na dílně soustružení je celkem sedm klasických soustruhů, tři CNC soustruhy a jedno frézovací centrum. Dílna se soustruhy patří mezi nejmoderněji vybavenou část dílny, která prošla během sedmi let velkou modernizací. Do budoucna je plánován nákup 5ti-osé frézky a postupné modernizování dílny pro frézování. Vše je otázka peněz, které ve školství scházejí. Poslední třetí část dílny slouží pro výuku žáků prvních ročníků a pro přípravu materiálu, Je zde několik druhů strojních vrtaček, strojní pila, kotoučová pila, tabulové a strojní nůžky na plech, ohýbačka a stáčečka plechu. Mezi nejdůležitější vybavení této dílny patří bezesporu dvanáct zámečnických stolů se svěráky. Na těch probíhá praktická část výuky ručního opracování kovů. Jedno takové pracoviště pro první ročníky máme ještě v prvním patře dílny. Nutností takové dílny je také mít brusírnu nástrojů a výdejnu nářadí.

Jedním velkým problémem postupné modernizace celé dílny je jednak nedostatek zmiňovaných peněz a druhým nedostatkem jsou malé prostory dílny. Nelze na úkor modernizace dílen novými CNC stroji, vyřadit staré klasické stroje. Bez výuky na klasických strojích, kde žáci získávají první zkušenosti, dovednosti a návyky obrábění kovů, nelze vychovat z žáka dobrého obráběče kovů a už vůbec ne dobrého programátora a obsluhu stroje. Pro pochopení správného obrábění na stroji se žák musí naučit nejdříve pohybům na klasickém stroji a teprve potom přejít k CNC stroji.

7.3 ŠKOLNÍ VZDĚLÁVACÍ PROGRAM

Obecným cílem vzdělávacího programu je připravit žáka absolventa tak, aby se dobře umístil na trhu práce, případně bude schopen rychle reagovat na případné změny a podmínky na trhu práce. Modernizace strojírenského průmyslu CNC stroji, vyžaduje po

absolventech vysoké nároky na vzdělávání, manuální zručnost i odbornou znalost. Proto je nezbytné udržovat stejný krok i vzdělávání ve škole a na odborném výcviku.

Na základě školských reforem v nedávné době, se zpracoval podle skutečných potřeb a požadavků kladených na studenta školní vzdělávací program Mechanik seřizovač 23 - 45 L/01. Při jeho tvorbě se vycházelo z obsahu učiva okruhu Rámcově vzdělávacího programu. Vzdělávací program umožňuje získání všeobecných a odborných vědomostí a manuálních a intelektových dovedností potřebných k vykonávání povolání v oblasti strojírenské výroby. Při sestavování a naplňování Školního vzdělávacího programu je respektována snaha o vybavení absolventa takovými znalostmi, dovednostmi a postoji, které mu umožní dobré uplatnění na trhu práce. Při sestavování obsahu vzdělávání jsou respektovány požadavky sociálních partnerů. Učivo je přizpůsobeno podle možností pracovního uplatnění absolventa v různých provozních jednotkách a podnicích v regionu.

7.3.1 Organizace výuky

Výuka odborného výcviku se skládá z teoretického a praktického vyučování a první část dne tedy začíná na počítačové učebně. Vzhledem k tomu, že při výuce programování a obsluhy CNC strojů je obsah učiva značně široký, tak je nezbytné před každým výukovým tématem začít s výkladem teorie a zopakováním probraného učiva ve škole. To je důležité z hlediska návaznosti na jednotlivá témata a samotnou realizaci v praktické části výuky. Při výuce na odborném výcviku se v učebně nachází zpravidla v průměru kolem devíti žáků.

Každý žák má k dispozici pracovní stůl se židlí a jeden počítač, ve kterém jsou nainstalovány výukové programy různých řídicích systémů pro obsluhu a programování CNC strojů. Další didaktickou pomůckou, kterou využívá učitel při výkladu je magnetická tabule a k dispozici jsou také strojní tabulky, manuály k seřizování CNC strojů, technické výkresy, vyrobené součásti, apod. Žáci si dělají z teoretického výkladu poznámky do pracovních sešitů, které mají možnost používat při realizaci obsluhy CNC strojů.

Na počítačích si zkoušejí sestavovat různé NC programy, mají možnost si v programu kreslení nakreslit technický výkres a poté provést zápis programu do počítače, po zhotovení programu mají k dispozici simulaci, na které si spustí proces obrábění a v případě špatně zvoleného technologického postupu si mohou program opravit. Při teoretické části je používaná frontální výuka, při zapisování programu do počítače se volí většinou individuální výuka, ale jsou situace, kdy volíme skupinovou a kooperativní

výuku. Pro udržení pozornosti žáků a vyvětrání učebny, jsou během výuky naplánovány pětiminutové přestávky po 60 minutách výuky.

Praktická část výuky probíhá již na samotných CNC strojích pod dozorem učitele OV, kde žáci zužitkují své vědomosti získané při teoretické výuce technologie obrábění ve škole, tak zopakované a ověřené vědomosti z první části výuky na učebně. Zde již probíhá individuální a skupinová výuka (spolupráce dvou žáků). Než začne samotná výuka na CNC strojích, tak se nesmí zapomínat na každodenní zopakování bezpečnosti práce na strojích a v jeho okolí. Při obsluze CNC stroje se učí žáci prakticky ovládat stroj, najíždějí nulový bod obrobku, provádějí měření nástrojů, jejich upínání, seřizování stroje, jeho údržbu, způsoby upínání obrobků a manipulaci se sklíčidlem, zapsání programu do stroje, jeho zpracování a nakonec realizují výrobu naprogramované součásti. Ti žáci, kteří nejsou momentálně u obsluhy CNC strojů, plní zadané úkoly učitelem OV na počítačové učebně.

Z hlediska bezpečnosti a možného poškození stroje je nutné, aby byl učitel při obsluze stroje žáky vždy přítomen. Pokud potřebuje odejít za žáky na PC učebnu, tak zadá žákům u stroje jiné úkoly, než přímou obsluhu stroje, aby nedošlo k jeho poškození. Během výuky se žáci na stroji střídají a průběžně probíhá hodnocení splněného úkolu učitelem.

Na konci celého pracovního dne probíhá na učebně celkové zhodnocení výuky a plnění úkolů žáky. Zde mají také žáci možnost diskuze nad nejasnými problémy, které se přihodily při plnění úkolů. Je zde prostor sdělovat různé připomínky k průběhu výuky, navrhovat řešení a sdělovat si své vlastní poznatky zkušenosti. Průběžně se také píší kontrolní testy pro zopakování probraného učiva.

7.3.2 Cíle výuky

Zadávané úkoly postupně navazují jeden na druhý, protože pokud není dodržena posloupnost jednotlivých úkolů, tak nastává problém sestavit NC program. Větu po větě se učí žáci strukturu programu, tak aby na konci vyučovaného celku byli schopni samostatně sestavit NC program. Začíná se jednoduššími programy, tak aby pochopili podstatu zápisu podle zvoleného technologického postupu. Výstupem celého vyučovaného celku během roku je to, že žák umí naprogramovat složitější tvar součásti samostatně, pokud možno s co nejmenšími chybami. Dalším důležitým cílem je umět obsluhovat, seřizovat a programovat samostatně CNC stroj. Zde také žák začíná od nejjednoduššího úkonu, až po ten

nejsložitější. Opět je zde určitá posloupnost úkolů, které musí žák při obsluze samostatně zvládnout.

Pokud žák pravidelně dochází na OV a plní poctivě zadané úkoly, není pro něj problém komplexně obsluhovat CNC stroj a tvorba NC programů. Tímto by měl být žák připravený k závěrečné praktické zkoušce a uplatnit své vědomosti a dovednosti na trhu práce.

7.3.3 Hodnocení

Žáci jsou hodnoceni z ústního a písemného projevu známkou, která je v souladu s Klasifikačním řádem SOU a je součástí školního řádu školy. Není podmínkou, že žák musí být hodnocen jen známkou, ale je zde možnost i slovního hodnocení. Toto hodnocení učitel používá při výuce podle potřeby a může hodnotit individuálně i skupinově. Při hodnocení se učitel zaměřuje na ucelenost splněného úkolu, na jeho přesnost a trvalost osvojení požadovaných poznatků, kvalita provedení nebo splnění úkolů, samostatnost a tvořivost žáka. Při plnění úkolů se učitel také zaměřuje na pohotovost a techniku žáka.

Hodnotí se i časové rozmezí splnění jednotlivých úkolů, ale není to zas tak podstatné, jako třeba kvalita samotného programu. Časový limit spíše slouží jako motivační prvek, kdy ten či onen žák chce být rychlejší než ten druhý. Může to také být nápomocné, jako příprava před závěrečnými zkouškami, kdy si žák ověří rychlost obsluhy nebo složení programu.

Při praktickém konání se hodnotí samostatnost, vztah k práci, k pracovnímu kolektivu, k praktickým činnostem, teoretických vědomostí k obsluze, chování u stroje, činnost plnění jednotlivých kroků obsluhy stroje, údržba stroje, zhotovení programu a výroba součásti, dodržení stanoveného technologického postupu obrábění a dodržení rozměrů součásti dle technického výkresu.

Známky se udělují podle celkové správnosti provedení, známka 1 se uděluje za bezchybné provedení úkolu a podle množství chyb se známka postupně snižuje až na stupeň 5. Tuto známku dostává žák za nesplnění úkolu nebo za velké množství chyb, případně špatně zvolený postup. Pokud nastane situace, že se ve skupině žáků najde jedinec, který má velké problémy s pochopením vyučované ho tématu, musí se zvolit individuální přístup výuky. Pokud ani to nevede ke zlepšení, je mu navrženo jiné řešení, např. přestup na jiný méně náročný obor.

8 VÝROBA VÝROBKU

Při plnění zadaného úkolu, kterým je vyrobit pohárek z duralového materiálu, postupují žáci podle určitých pravidel. Učitel odborného výcviku jim zadá tvar a rozměry pohárku, podle kterých si žáci sami nakreslí v programu kreslení technický výkres součástky. Poté následují jednotlivé kroky, které vedou k finální podobě vyrobeného pohárku. Postup výroby se člení na několik operací.

8.1 SESTAVENÍ PROGRAMU

Důležité pro správné sestavení a následné přenesení programu do CNC stroje je, že si žák zvolí vhodný technologický postup výroby. To je důležité nejen z hlediska správného postupu odběru třísek z materiálu, dodržování rozměrů, ale i z hlediska ekonomického a bezpečnosti práce. Žák si po zhotovení a zkontrolování programu připraví podle nástrojového listu, který si také předem připraví, všechny potřebné nástroje k výrobě celé součásti. Samozřejmostí je dodržování vhodných řezných podmínek při obrábění, které si dosazuje k jednotlivým nástrojům po předchozích výpočtech. Při výpočtech se řídí dle hodnot uvedených k jednotlivým nástrojům, které jsou uvedeny v tabulkách nebo na krabičkách s vyměnitelnými destičkami a druhu obráběného materiálu.

8.2 ODLADĚNÍ CNC SOUSTRUHU

Pokud má žák NC program zapsán ve stroji a zkontrolován učitelem, tak začíná kompletní seřízení stroje. Nutností je před samotnou obsluhou stroje si ještě připomenout důležité body BP, chování u CNC stroje a v jeho okolí.

Nejprve si žák připraví všechny nástroje, které bude při obrábění používat. Všechny nástroje si upne do vhodných upínačů nástrojů a následně nástroje i s upínači upne k revolverové hlavě do vhodných pozic. Zapíše upnuté nástroje do tabulky nástrojů a provede postupně pomocí automatické sondy naměření všech nástrojů. Posledním důležitým krokem je najetí nulového bodu obrobku. Žák si upne polotovar do předem připravených čelistí sklíčidla a zvoleným nástrojem si najede strojním posuvem před čelo obrobku. Přepne stroj z automatického posuvu do ručního a naškrábne si pomocí ručního posuvu čelo obrobku. Zapíše hodnotu, o kterou se má posunout NBO a odjede od obrobku. Tímto má stroj připravený pro vyrobení pohárku.

8.3 ZHOTOVENÍ VÝROBKU

Pro vyvolání programu do výroby si žák na ovládacím panelu vybere tlačítko ***Program Manager*** a zde vyhledá potřebný program. Tento program si otevře a překontroluje si jej pomocí simulace. Pokud v programu neshledal nějaké nejasnosti a má ho schválený od učitele, tak tento program zadá ke zpracování. Program se načte do hlavní obrazovky stroje a tlačítkem ***Cyklus Start*** dá pokyn řídicímu systému CNC stroje k vyrobení pohárku. Po ukončení celého procesu obrábění se překontrolují skutečné rozměry pohárku vhodnými měřidly. Tímto je proces obrábění ukončen.

9 PRŮZKUM

Pro ověření kvality výuky v odborném výcviku a význam používání simulace při ověřování a kontrolování NC programu, bylo na základě předloženého dotazníku provedeno celkové vyhodnocení. Průzkum je považován za neoficiální, protože do průzkumu byl zapojen malý počet žáků středního odborného učiliště. Jednalo se o žáky 4. ročníku maturitního oboru Mechanik-seřizovač a celkem se průzkumu zúčastnilo 22 žáků. V dotazníku odpovídali na celkem deset otázek (příloha A), které byly zaměřeny na výuku NC programování a využívání simulace programu během výuky.

V dotazníku byly otázky hodnoceny známkovou stupnicí, kde známka 1 znamenala jasný souhlas s položenou otázkou a postupným snižováním známky, až na známku 5, vyjadřovali žáci s otázku jasný nesouhlas. Známka 3 byla takovou neutrální, kdy žáci neměli jasně dáno, zda s otázkou souhlasí nebo nesouhlasí.

Pro to, aby bylo k výsledku dotazníku přistupováno jako k výzkumu, muselo by být do průzkumu zapojeno více žáků z různých škol v celém regionu nebo celé republice. Tento výsledek dotazníku je jen orientačním měřítkem pro zpětnou vazbu učitele, co by měl změnit ve výuce, zdali jsou žáci spokojeni s průběhem výuky a v neposlední řadě, zda jim opravdu simulace programu usnadňuje postup programování nebo zda se pro ně stává program přehlednější.

Poslední otázka byla pro žáky otevřená a měli možnost vyjádřit své názory na výuku a mohli vypsat příklady, co by si přáli, aby se ve výuce změnilo, zlepšení kvality výuky, případně nějaké výhrady vůči učiteli OV.

Před samotným začátkem vyplňování dotazníku byli žáci seznámeni s tím, že jde o anonymní průzkum a bez uvádění svého jména. Z tohoto důvodu se nemuseli obávat nějakých postihů nebo nějakého nepříjemného pocitu vůči učiteli odborného výcviku. Tím, že byl dotazník anonymní, brali žáci hodnocení opravdu zodpovědně a známkování odpovídalo skutečnosti. Je nutné podotknout, že jsou žáci při výuce odborného výcviku rozděleni do tří skupin, což znamená, že se při vyplňování dotazníku střídali po skupinách. Tím spíše se nemohli při vyplňování dotazníku mezi sebou domlouvat a odpovědi by měli být pravdivé.

Vyhodnocení otázek

1. Jak hodnotíte své znalosti po několika měsících výuky na počítačích s možností simulace programu?

Cílem otázky bylo, jakými vědomostmi a znalostmi jsou žáci vybaveni po několika měsíční výuce na počítačích s možností využívání zpětné vazby, kterou je simulace programu. Při celkovém hodnocení byla otázka hodnocena známkou 2. Tato známka dle hodnotící tabulky znamená skoro souhlas a pro učitele odborného výcviku to vypovídá o velmi dobré znalosti a orientaci žáků v oblasti používání počítače s možností využití simulačního programu.

2. Kladl při výuce učitel odborného výcviku na jednotlivé žáky vysoké nároky?

Tato otázka měla zjistit, jak velké nároky klade učitel na žáky při výuce. Dosažená známka by měla být pro učitele motivací k případnému vylepšení výuky, případně zvýšení nároků na žáky. Otázka byla ohodnocena známkou 3,21, což znamená, že učitel na žáky neklade nějak velké nároky. Proto by měl zvážit, kde a co vylepšit pro zvýšení požadavků na žáky, jak žáky motivovat pro vyšší výkony a lepší přípravu do následujících hodin výuky.

3. Jak hodnotíte průběh a kreativitu výuky?

Tato otázka je opět zaměřena na kvalitu výuky učitelem, jakým způsobem organizuje učitel výukový den, jaké nápady zařazuje do výuky, řešení a vedení dne, apod. Otázku žáci ohodnotili průměrnou známkou 1,96, což vypovídá o velmi pozitivním hodnocení pro učitele. Žáci vesměs skoro souhlasí s celkovou strukturou výukového dne a zdá se, že jim takový průběh, náplň dne vyhovuje.

4. Domníváte se, že vám výuka s počítačem při programování usnadňuje práci?

Usnadňování práce při programování díky využívání počítače má pro žáky velký význam. V dnešní moderní době, již nelze bez používání počítačů prakticky nic dělat. To, že jej žáci využívají při programování, jim zpříjemňuje samotnou práci a také usnadňuje

celé programování. Hodnota známky za tuhle otázku, byla jedna z nejlepších a dosáhla hodnoty 1,21. Je vidět, že je pro žáky počítač v současnosti nepostradatelný.

5. Je pro vás vyhovující návaznost jednotlivých výukových témat?

Důležitou součástí v hodinách odborného výcviku je návaznost jednotlivých výukových témat. Bez návaznosti nelze žákům správně a srozumitelně vysvětlit probírané téma. Pro pochopení a zapamatování je to velmi důležité. Výklad musí být jasně formulován a musí být srozumitelný pro každého žáka. Tím, že žáci otázku oznámkovali známkou 1,96, tedy skoro souhlasí s formulovanou otázkou, tak to pro učitele znamená, že má veškerá výuková témata vhodně sestavena.

6. Používání počítače při výuce NC programování vám zkvalitňuje výuku?

Opět se v této otázce hodnotilo používání počítačů při výuce, jak jim počítač zkvalitňuje výuku. Pro učitele je to spíše jen taková informace, zda skutečně žáci rádi pracují na počítačích a není to pro ně jen taková povinnost. Pro žáky to znamená kvalitnější práci při zapisování NC programu do počítače. Tato otázka dostala vůbec nejlepší známku z celého dotazníku a to 1,17. Vypovídá to o opravdu zkvalitnění výuky a nutnosti mít neustále k dispozici počítač.

7. Domníváte se, že používání simulačních programů při výuce vede k snazšímu hledání chyb v programu?

Používání simulačních programů je jednak velkou pomůckou pro samotného učitele, protože v simulaci vidí, aniž by si nejdříve zkontroloval celý program, jasné chyby programu nebo možné kolize. Žák tímto používáním simulace má možnost před odevzdáním hotového programu ke kontrole, spustit simulaci a následně opravit případné nedostatky. To vede žáky k odstraňování vlastních chyb a větší zodpovědnosti za svoji práci. Známka 1,21 je skoro souhlas a vypovídá o skutečnosti, že si možnost simulace programu žáci velmi cení.

8. Při zapisování NC programu do CNC stroje si vždy při kontrole spouštíte simulaci?

Opět se v této otázce hodnotí používání simulace. Pro učitele je to dobrá zpětná vazba od žáků, zda si každý zapsaný program opravdu ještě zkontrolují pomocí simulace, než se dostanou do fáze zpracování programu a následné zhotovení součásti. Dosažená

známka 1,25 je opět skoro souhlas a je patrné, že si žáci program opravdu před zhotovením součásti kontrolují.

9. Slovní výklad k tématu NC programování je těžké pochopit, pokud nevidíte zapsaný program v počítači a následném zhlédnutí simulace?

Tato otázka je opět zaměřena spíše jako zpětná vazba pro učitele, zda žáci lépe chápou výklad bez možnosti využití počítače a simulace programu, nebo musí mít možnost praktického využití počítače se simulací programu. Tím, že žáci ohodnotili otázku známkou 2,33, která byla druhou nejhorší z celého dotazníku, tak je to v hodnocení známkou někde mezi skoro souhlasí a mezi nejasným názorem. Známka vypovídá o tom, že žáci nemusí mít nutně pro pochopení výkladu k dispozici počítač se simulací.

10. Po zkušenostech se simulačními programy navrhněte, co byste změnili ve vyučování?

V této otázce měli žáci možnost navrhnout, jakým vhodným způsobem změnit výuku, nebo co by bylo vhodné do výuky zařadit. Návrhů bylo několik a to by mělo být pro učitele takovým vodítkem, motivací ke zkvalitnění výuky a vylepšení stávajících, méně vyhovujících metod výuky. Návrhy byly vyhodnoceny v procentech a jeden návrh měl hodnotu 0,24%. Nejvíce procent získal návrh - *nic není třeba měnit* = 46%, na druhém místě se umístil názor - *neví co změnit* = 12,5% a názor – *možnost celého programu v češtině* = 12,5%. Ostatní názory dostali po jednom návrhu, to odpovídalo 4,17%.

Jak je patrné z celého průzkumu, tak je většina žáků s výukou, organizací, kreativitou, možností používání počítačů a využívání simulace programu při výuce spokojena. Ty ostatní návrhy by měl vzít učitel v potaz, odstranit malé nedostatky ve výuce a ještě více výuku zkvalitnit a vylepšit. Dalším úkolem by mělo být zvýšení motivace žáků k výuce.

10 ZÁVĚR

V současné době je na trhu práce velký nedostatek kvalifikovaných pracovníků v oblasti strojírenského průmyslu. Do budoucnosti se tento problém bude zřejmě prohlubovat, protože současní žáci mají velké problémy s chutí se učit, vzdělávat a vytyčovat si cíle do budoucna. Další problém vidím v tom, že se dnešní žáci potýkají s nedostatkem manuální zručnosti, o matematických schopnostech ani nemluvě. Nejspíš je toto spojeno s uspěchanou dobou, jednak s nedostatkem času rodičů věnovat se více svým dětem a stylem, jakým dnešní děti tráví svůj volný čas.

Mezi vyhledávané kvalifikované pracovníky na trhu práce patří zejména Obráběč kovů, Programátor NC strojů a Obsluha a seřizovač CNC strojů.

Vzhledem k tomu, že pracuji na Středním odborném učilišti jako učitel odborného výcviku, kde vyučuji obsluhu a programování CNC strojů, jsem se v této bakalářské práci zaměřil na téma, které je zaměřeno na výuku NC programování, s využitím simulačních programů při výuce a obsluhu CNC strojů.

Trh práce vyžaduje po absolventech středních odborných škol, průmyslových škol a vysokých škol nejen teoretické vzdělání, ale také manuální zručnost a pokud možno samostatnost. To je spojeno s velkým požadavkem na náročnost a kvalitu teoretické výuky odborných předmětů, ale hlavně na výuku praktické části odborného výcviku. To bývá mnohdy velký problém hlavně u starší generace učitelů odborného výcviku, protože se již nechtějí nebo možná si myslí, že se nepotřebují zapojovat do dalšího vzdělávání v moderních technologií obrábění. Moderní technologie vyžadují odborné zaškolení a hlavně zvládnutí celého procesu obsluhy a údržby CNC stroje. Nutností je také porozumět tvorbě NC programů a možnosti využití simulačních programů.

Pro kvalitu výuky a její neustále obohacování o nové technologie obrábění je také nutné, aby výuka žáků probíhala v co možná nejmodernějším prostředí. K tomu by mělo být zajištěno vhodné didaktické vybavení učeben počítači, vhodnými výukovými programy a hlavně moderními CNC stroji na pracovištích odborného výcviku (dále jen OV).

V této práci jsem se zaměřil v teoretické části na základní kroky, které vedou k seznámení s CNC stroji, tvorbě NC programů, obsluze a seřizování CNC strojů. Praktické části jsou popsány samotné kroky obsluhy CNC stroje žákem, popis pracoviště a učebny, výroba součásti a zhodnocení výuky žáků na odborném výcviku s využitím simulačních programů.

Bakalářská práce by měla pomáhat při výuce žáků, kdy lze tyto materiály použít jako výuková témata a pro výuku v prvotním vzdělávání. Tyto výukové materiály jsou vhodné pro 3. a 4. ročníky maturitního oboru „Mechanik – seřizovač“ a také pro tříletý obor „Obráběč kovů“. Při práci jsem navazoval na vědomosti žáků, které získali při teoretické výuce zejména v předmětech strojírenská technologie, technologie, technická dokumentace a samozřejmě při odborném výcviku.

V práci jsou použity materiály, které jsem si sám připravil a sám je využívám v hodinách výuky odborného výcviku.

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Obecné schéma CNC stroje……5

Obr. 2 Frézka univerzální konzolová ……6

Obr. 3 Univerzální soustruh SV 18 …… 6

Obr. 4 Obráběcí frézovací centrum …… 7

Obr. 5 CNC soustruh DMG 310 …… 7

Obr. 6 Oživovací pracoviště systémů NC PPS-4 druhé generace ……7

Obr. 7 5ti-osé obráběcí centrum DMC 60 U 8 …… 8

Obr. 8 Absolutní programování …… 11

Obr. 9 Přírůstkové programování …… 11

Obr. 10 Souřadnicový systém „pravé ruky“ …… 13

Obr. 11 Korekce poloměrů špičky nástroje G41 a G42 ……18

Obr. 12 Těleso upínače – výkres součásti …… 21

Obr. 13 Vodorovná lišta ovládacího panelu …… 23

Obr. 14 Obrazovka ShopTurnu – zápis programových bloků …… 24

Obr. 15 Obrazovka ShopTurnu – kontura obrobku …… 25

Obr. 16 Poloha nulového bodu obrobku …….. 25

Obr. 17 Referenční a nulové body soustruhu ……25

Obr. 18 Korekční body soustružnického nože…….. 25

Obr. 19 Vztažné body nástroje ……..... 28

Obr. 20 Posuvový kuličkový šroub …… 29

Obr. 21 Obrazovka simulace s 3D obrázkem …….. 34

12 SEZNAM LITERATURY

BARTOŠ, V., MINÁRIK, R., ŠTULPA, M., KRÁL, M. *Základy CNC obráběcích strojů.* 1. vydání. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. ISBN 80-7200-295-3.

DILLINGER, J. A KOL. *Moderní strojírenství pro školu i praxi.* 1. vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.

JANDEČKA, K., ČESÁNEK, J., KOŽMÍN, P. *Programování NC strojů.* Plzeň: ZČU Plzeň, 2000.

RYBÍN, P., RAFAJ, J. *Obsluha a programování CNC strojů.* Praha: ČVUT, 1995.

ISBN 80-01-01391-X.

SCHMIDT, D. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechaniku.* 1. vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2005. ISBN 80-86706-10-9.

SKALKOVÁ, J. *Obecná didaktika.* 2. vydání. Praha: GRADA, 2007.

ISBN 978-80-247-1821-7.

SKALKOVÁ, J., ŠVEC, Š. *Výukové metody.* Brno: Paido, 2003. ISBN 80-7315-039-5.

SVOBODA, E. *Technologie a programování CNC strojů.* 1. vydání. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. ISBN 80-7200-297-X.

ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje.* 1. vydání. Praha: BEN, 2008.

ISBN 978-80-7300-207-7.

VÁVRA, P., LEINVEBER, J. *Strojnické tabulky.* Praha: SNTL, 1984.

VRABEC, M., MÁDL, J. *NC programování v obrábění.* Praha: ČVUT, 2004.

ISBN 80-01-03045-8.

FRIEDMANN, Z. *Didaktika technické výchovy.* 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 2003. ISBN 80-210-2641-3.

www.siemens.cz/sinumerik

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Dotazník ……. I

14 RESUMÉ

Tato bakalářská práce se zabývala výukou žáků na CNC strojích s využitím simulace. Práce byla rozdělena do tří částí. V první části bylo popsáno, jaké obráběcí stroje se používaly dříve a jaké se používají dnes. Jaké řídicí systémy se používají k ovládání CNC strojů, z jakých hlavních částí se skládají CNC stroje a jejich údržba. Byla zde popsána struktura NC programu, hlavních G funkcí a pomocných M funkcí. Dalším důležitým bodem v bakalářské práci bylo seřizování CNC soustruhu při výuce žáky a zapisování NC programů do stroje. Při programování byla ke kontrole využívána simulace programu, byly zde vysvětleny hlavní výhody a nevýhody simulace a využívání simulace žáky.
V druhé části bylo vysvětleno, jakým způsobem probíhalo seřizování CNC strojů při výuce žáky, dále měření nástrojů, najetí nulového bodu obrobku, seřizování stroje a výroba součásti na CNC soustruhu.
Ve třetí části byla popsána výuka žáků, učební prostory pro výuku, vybavení dílny a učeben, známkování a hodnocení výuky.
V závěru bakalářské práce proběhl neoficiální průzkum malého počtu žáků 4. ročníku na průběh výuky a využití simulace při programování.

This bachelor work deals with teaching of pupils operating CNC machines using simulation.
Work was devided into three parts.
The first described history of machine tools and which are being used today and which control systems are used in operating of CNC machines, which main parts they are assembeled of and maintanance of them.
There was described the structure of the NC programm, main G functions, auxilliary M functions.Next important point was setting up of CNC lathe during teaching process and registering NC programmes.
Programm simulation was used during programming explaining main simulation advantages and disadvantages.
The second part explained a way of setting up CNC machines during the teaching process, measurements, setting of zero point, machines setting up and production of parts on CNC lathe.

The third part covers the teaching process, teaching space, workshop equipment, classification and evaluation of the teaching process.

The bachelor work was conluded by unofficial results surveying as small number of 4th grade students relating to the teaching process and using of simulation during programming.

15 PŘÍLOHY

Příloha A - Dotazník

Pokyny k dotazníku:

Při vyplňování dotazníku se snažte odpovídat na otázky pravdivě a pokuste si vybavit, jakým způsobem probíhá výuka na odborném výcviku.

Před zapsáním odpovědi si každou otázku důkladně přečtěte. Otázky jsou hodnoceny dle vaší úvahy známkami od 1 do 5, kde známka 1 vyjadřuje váš jasný souhlas a známka 5 jasný nesouhlas.

Souhlas		**Mezi**	**Nesouhlas**	
1	**2**	**3**	**4**	**5**
jasně souhlasím	skoro souhlasím	nemohu se rozhodnout	méně souhlasím	vůbec nesouhlasím

1. Jak hodnotíte své znalosti po několika měsících výuky na počítačích s možností simulace programu: ….....
2. Kladl při výuce učitel odborného výcviku na jednotlivé žáky vysoké nároky: …....
3. Jak hodnotíte průběh a kreativitu výuky: ….....
4. Domníváte se, že vám výuka s počítačem při programování usnadňuje práci: ….
5. Je pro vás vyhovující návaznost jednotlivých výukových témat: …...
6. Používání počítače při výuce NC programování vám zkvalitňuje výuku: …...
7. Domníváte se, že používání simulačních programů při výuce vede k snazšímu hledání chyb: …..
8. Při zapisování NC programu do CNC stroje si vždy při kontrole spouštíte simulaci:….
9. Slovní výklad k tématu NC programování je těžké pochopit, pokud nevidíte zapsaný program v počítači a následném zhlédnutí simulace: …....
10. Po zkušenostech se simulačním programy navrhněte, co byste změnil ve vyučování (napište konkrétní příklady): ….....