

1948

1948

1948

1948

1948

1948

1948

1948

1948

1948

1948

1948

1948

1948

1948

Vysoká škola: VŠST Liberec Fakulta: strojní - DS  
Katedra: technické kybernetiky Skolní rok: 1984/85

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DILA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro s. Ivanu Melichovc u, provd. Slavkovou

obor 23-40-8 Automatizované systémy řízení výrobních procesů  
ve strojírenství

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Pořizování programů počítačem pro číslicově  
řízené obráběcí stroje

### Zásady pro vypracování:

- 1) Seznamte se s číslicovým a počítačovým řízením obráběcích strojů a zhodnoťte současný stav techniky i jejího využívání v ČSSR.
- 2) Proveďte analýzu a program na číslicový počítač pro boční frézování.
- 3) Popište základní rysy postprocesoru pro řídicí systém NC 470.

VÝSTRAHA  
Ústřední knihovna  
LIBEREC, ODDĚLENÍ KNIHOVNA  
PC 481 17

Autorská práva  
MŠK pro státní  
727/102/1982 ze dne 21. 8. 1982  
1962 Věstník MŠK č. 21 ze dne 31. 8. 1982/19 Sb.

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 60 stran + přílohy

Seznam odborné literatury:

- /1/ Vlach, Bohumil: Technologie obrábění na číslicově řízených strojích. Praha, SNTL 1982.
- /2/ Šmejkal, Ladislav: Kurs číslicového řízení obráběcích strojů. Praha, SNTL 1980.
- /3/ Sborník přednášek: Číslicové řízení obráběcích strojů. Praha, ČSVTS ČVUT FEL 1975.

Firemní literatura:

- /1/ Úvod do číslicového řízení obráběcích strojů. /Skripta 1973./ Kolín, Tesla 1974.
- /2/ P6060 - Application Software Library/BASIC, Numerical Control Series, CTL/3, User Manual.
- /3/ System 1360 APT, Numerical Control Processor - Version 4, Part Programming Manual. IBM 1971.

Vedoucí diplomové práce:

Prof. Ing. Boživoj Henuš, DrSc.


Konzultant:

Ing. Jan Kulhánek,  
Liberecké automobilové závody n.p.  
Jablonec nad Nisou

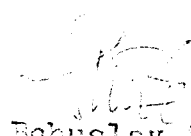
Datum zadání diplomové práce: 25.6.1984

Termín odevzdání diplomové práce: 10.1.1985



  
Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.

Vedoucí katedry

  
Doc. RNDr. Bohuslav Stáříš, CSc.

Děkan

v Liberci dne 25.6. 1984

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci  
vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, dne 15.12.1984

*Glavková Ivana*

## OBSAH:

- I. Úvod.
- II. Číslíicově řízené stroje a jejich uplatnění.
  1. Vývoj a uplatnění číslíicově říz. obráb. strojů.
    - 1.1. Vývoj.
    - 1.2. Uplatnění.
  2. Číslíicově řízené obráběcí stroje.
    - 2.1. Základní skupiny číslíicového řízení.
    - 2.2. Struktura číslíicově řízeného obráběcího stroje.
    - 2.3. Struktura řídicího systému.
    - 2.4. Řídicí systém.
  3. Použití počítačů k programování číslíicově řízených obráběcích strojů.
    - 3.1. Ruční programování.
    - 3.2. Programování s použitím počítače.
    - 3.3. Programovací jazyky užívané k programování číslíicově řízených strojů.
      - 3.3.1. Programovací jazyk APT.
      - 3.3.2. Programovací jazyk ŮKD APT.
      - 3.3.3. Programovací jazyk KOVOPROG.
      - 3.3.4. Interakční geometrický jazyk INGE.
      - 3.3.5. Programovací jazyk GTL.
      - 3.3.6. Automatický programovací jazyk APS 1.
  4. Současný stav techniky a její využívání v ŮSSR.
    - 4.1. Současný stav techniky.
    - 4.2. Výrobci číslíicově řízených obráběcích strojů a řídicích systémů v ŮSSR.
    - 4.3. Řešení úkolu IVŮ v ŮSSR.
- III. Analýza a program pro číslíicový počítač - boční frézování.
  1. Frézování.
  2. Analýza bočního frézování.
    - 2.1. Blokové schéma programu.
    - 2.2. Zadání geometrie profilu.

- 2.3. Určení polohy nástroje od obrobku - úsečka.
- 2.4. Určení polohy nástroje od obrobku - kružnice.
- 2.5. Výpočet délky úsečky.
- 2.6. Výpočet úhlu skloněné úsečky.
- 2.7. Výpočet počátečního bodu dráhy nástroje - úsečka.
- 2.8. Výpočet koncového bodu dráhy nástroje - úsečka.
- 2.9. Výpočet poloměru oblouku.
- 2.10. Výpočet počátečního bodu dráhy nástroje - kružnice.
- 2.11. Výpočet koncového bodu dráhy nástroje - kružnice.
- 2.12. Výpočet bodů přejezdu nástroje.
- 2.13. Výpočet  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  pro skloněnou přímku v závislosti na drsnost povrchu obrobku.
- 2.14. Výpočet  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  pro oblouk v závislosti na drsnost povrchu obrobku.

### 3. Program bočního frézování pro počítač.

IV. Základní rysy postprocesoru pro řídicí systém MC 470.

V. Závěr.

VI. Seznam příloh.

VII. Seznam použité literatury.

## Seznam použitých zkratek a symbolů:

NC	- číslíkově řízený stroj
CNC	- číslíkově řízený stroj s přímým řízením počítače
DNC	- číslíkově řízený stroj - řídicí počítač připojen přímou kabeláží
IVÚ	- integrovaný výrobní úsek
PVS	- pružný výrobní systém
BOS	- bezobslužný výrobní systém
CAE	- jednotná integrovaná soustava zahrnující konstrukci, technologickou přípravu i vlastní výrobní proces - realizace na počítači
CAD	- konstruování strojních součástí pomocí počítače
CAM	- automatizace TPV realizovaná na počítači
TPV	- technologická příprava výroby
D/2	- poloměr frézy
V1(1), V1(2)	- body najetí při popisu povrchu obrobku
V1(3)	- výška najetí
V1(4), V1(5)	- počáteční body profilu
V1(3+3I)	- rekurentní předpis pro zadávání profilu /zda úsek bude přímkou či kružnicí/
V1(4+3I)	- zadávání souřadnic bodů
V1(5+3I)	
V1(I-1)	- x-ová souřadnice předchozího bodu profilu
V1(1+I-1)	- y-ová souřadnice předchozího bodu profilu
V1(I)	- x-ová souřadnice bodu
V1(1+I)	- y-ová souřadnice bodu
V1(I+1)	- x-ová souřadnice následujícího bodu profilu
V1(1+I+1)	- y-ová souřadnice následujícího bodu profilu
XNASZA(I)	- x-ová souřadnice začátku dráhy nástroje na daném úseku
YNASZA(I)	- y-ová souřadnice začátku dráhy nástroje na daném úseku

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 40 - 8

automatizované systémy řízení výrobních procesů ve strojírenství

---

Katedra kybernetiky

POŘIZOVÁNÍ PROGRAMU POČÍTAČEM PRO ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ

OBRÁBĚCÍ STROJE

Ivana Slavková

Vedoucí práce: Prof. Ing. Bořivoj Hanuš, DrSc - VŠST

Konzultant: Ing. Jan Kulhánek - Liberecké automobilové závody  
n.p. Jablonec n.N.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	95
Počet příloh	3
Počet obrázků	58

15. prosince 1984



XNASKO (I)	- x-ová souřadnice konce dráhy nástroje na daném úseku
YNASKO (I)	- y-ová souřadnice konce dráhy nástroje na daném úseku
$\alpha (I)$	- výchozí úhel
$\gamma (I)$	- zadaný úhel obráběného oblouku
$\delta (I)$	- úhel jednoho kroku při obrábění oblouku
$\eta (I)$	- součet výchozího úhlu $\alpha$ a úhlu jednoho /nebo více/ kroku $\delta$
$R_a$	- požadovaná střední aritmetická úchylka /drsnost povrchu/
$R_z$	- výška nerovností povrchu - střední hodnota
R	- poloměr obráběné kružnice
$\Delta x$	- výpočet posuvu jednoho kroku v ose x
$\Delta y$	- výpočet posuvu jednoho kroku v ose y

## I. Úvod.

Vědecko-technická revoluce je charakterizována stále narůstajícím objemem vědeckého poznání v nejrůznějších oborech vědy a také bezprostřední aplikací těchto poznatků do praxe - zejména v oblasti výrobních prostředků. V posledních letech došlo k prudkému rozvoji v mnoha oborech. Nejtypičtějším příkladem je rozvoj mikroelektroniky. Tento obor se stal činitelem, jehož úroveň rozhoduje o možnostech automatizace a dosažení nové kvalitativní úrovně prakticky všech oborů lidské činnosti.

Snahy o aplikaci nových poznatků elektroniky se projevíly také v oblasti pružného řízení obráběcích strojů - v NC technice.

Nové principy aplikované jako číslicové řízení obráběcích strojů měly dopad na způsob přípravy automatizovaných strojů pro plnění výrobních úkolů. V praxi TPV /technická příprava výroby/ se začaly uplatňovat i metody přípravy, které vyvolala kvalitativní změna způsobu řízení daná aplikací principů číslicového řízení. Ruční sestavování řídicích programů pro číslicově řízené obráběcí stroje se brzy ukázalo jako nedostačující a v mnoha případech jako velmi obtížné, zdlouhavé a ekonomicky neúnosné. Potřeba dosáhnout vyšší úrovně v přípravě řídicích programů pro číslicově řízené obráběcí stroje vedla k aplikaci výpočetní techniky a vývoji programového vybavení /softwarové prostředky/ - k vývoji a zavádění programovacích jazyků pro strojní programování číslicově řízených /NC/ obráběcích strojů.

V posledních letech se směřuje k použití malé, investičně přístupné výpočetní techniky - minipočítačů nebo mikropočítačů pro účely automatického programování číslicově řízených obráběcích strojů.

Do výrobních i předvýrobních činností pracovního procesu pronikají prostředky a metody výpočetní techniky a vytvářejí jednotnou základnu, na níž lze postupně sjednocovat veškeré

tyto činnosti do jednotné integrované soustavy zahrnující konstrukci, technologickou přípravu i vlastní výrobní proces. Soustava je v odborné literatuře označována zkratkou CAE /computer aided engineering/.

Část této integrované soustavy zaměřené na konstruování strojních součástí s pomocí počítače se označuje zkratkou CAD /Computer aided desing/ a zahrnuje v sobě fyzické i programové prostředky /hardware a software/ aplikované nebo vyvinuté pro účely konstruování za pomoci počítače.

Ve spojení s prostředky automatizace technologické přípravy výroby a plánování, realizovanými rovněž na počítači a zaměřenými na NC techniku, vytvářejí jednotný systém integrovaných činností od konstrukce až po realizaci ve výrobě - CAM /Computer aided manufacturing/.

Vznik CAD metod ve strojírenství úzce souvisí se vznikem číslicově řízených obráběcích strojů.

Vytváření matematického modelu geometrie součásti se zpravidla provádí na základě zpracované konstrukční výkresové dokumentace. Tuto výkresovou dokumentaci musí člověk určitým způsobem dekódovat /přečíst/ a upravit ji do takové formy /tedy opět kódovat/, aby byla srozumitelná počítači. Tak je vytvořen sekundární model téže součásti, který se ukládá do paměti počítače.

Vytvoření sekundárního modelu je pro další zpracování, které zpravidla směřuje k vytvoření řídicí NC pásky, nezbytné.

Problém modelu geometrie součástí a jeho zpracování počítačem se musel řešit také při automatizaci přípravy programů pro NC stroje.

CAD/CAM systémy integrují proces návrh-výroba, přičemž integrujícím prvkem tohoto procesu je právě model geometrie součástí. Tento model je vytvářen formou dialogu ve fázi návrhu a je využíván ve fázi přípravy vlastní výroby /CAM/.

Klasické pomůcky konstruktéra jsou nahrazovány moderními periferními jednotkami počítače, který je středem pracoviště nového typu. K jeho vybavení patří obrazový grafický a alfa numerický displej, kreslicí zařízení /plotter/, zařízení pro dokumentování výsledků zobrazených na grafickém displeji, zařízení pro plynulé snímání souřadnic bodů z výkresu a jejich přenos do počítače /tablet/ a další periferní jednotky jako

tiskárna, snímač a děrovač děrné pásky, velkokapacitní disky aj. Neméně významnou část tohoto systému tvoří odpovídající softwarové vybavení zaměřené na řešení problematiky CAD/CAM.

Výhody těchto netradičních postupů spočívají především v rychlém provedení výkresů s možností volby nejvhodnější konstrukční varianty. Do pracovního postupu lze zahrnout potřebné výpočty z oblasti pružnosti a pevnosti, ploch, objemů, hmotnosti, momentů aj.

Rychlá a snadná manipulace vede ke snížení časových ztrát způsobených možnými chybami na výkresech.

Geometrická data lze okamžitě převádět do formy potřebné pro provoz NC stroje. Usnadní a zjednoduší se kontrola

a urychleně lze realizovat jakoukoli změnu v konstrukci.

Výkresy uložené v paměti lze jednoduše a bez časových ztrát evidovat, archivovat a v případě potřeby přivolávat.

/Představitelem těchto tendencí je např. systém CADIS -

- Computer aided desing interactive systém - fy Siemens./

Tyto vývojové tendence představují novou kvalitu v oblasti integrace výrobního procesu a nelze je podceňovat, protože stále klesající investiční náklady na vybavení takových pracovišť a vzrůstající produktivita automatizovaného konstruování a přípravy výroby postupně vytvářejí příznivé ekonomické podmínky pro uplatnění těchto progresivních metod v praxi.

## II. Číslicově řízené obráběcí stroje a jejich uplatnění.

### 1. Vývoj a uplatnění NC obráběcích strojů.

#### 1.1. Vývoj.

Číslicově řízené obráběcí stroje překonaly v posledním -  
- ne příliš dlouhém období rychlý rozvoj.

Od počátků, kdy číslicově řízené systémy byly přidávány ke konvenčním obráběcím strojům až po dnešní nejsložitější systémy, které jsou již reprezentovány několika stroji, spojenými dopravníky, a cele řízeny samostatným počítačem, uplynulo asi 30 let.

Stupeň vývoje řídících systémů pro číslicově řízené obráběcí stroje je charakterizován úrovní použitých prvků pro jejich sestavení:

1. generace je reprezentována použitím průmyslových elektronek a elektromagnetických relé

2. generace je reprezentována použitím tištěných spojů a tranzistorů z germania či křemíku

3. generace je reprezentována použitím integrovaných obvodů, které jsou levnější a zabírají asi jednu šestinu objemu diskrétních obvodů. /Vytvářejí se již stavebnicové řídicí systémy/

4. generace, která se připravuje, staví řídicí systémy na báze integrovaných bloků.

Někdy se za čtvrtou generaci řídicích systémů označuje i CNC /Computerised Numerical Control - jde v podstatě o použití počítače v soustavě řídicího systému/.

Dosavadní vývoj číslicově řízené výrobní techniky je charakterizován těmito vývojovými stupni.

1. Začátky sahají do období let 1949 a 1952. Číslicové řízení je připojováno ke konvenčním strojům /mechanická část číslicově řízeného stroje je stejná jako u konvenčního stroje/. Většina těchto strojů byla vysoce poruchová a v tomto pojetí se tedy již nevyrábějí.
2. Mechanická část číslicově řízených strojů je přizpůsobena potřebám NC řízení.
3. Zaměření na zvyšování stupně automatizace číslicově řízených strojů včetně automatické výměny a upínání obrobků a automatické výměny nástrojů v průběhu pracovního cyklu. Vznikají číslicově řízená obráběcí centra a další NC stroje, které jsou vhodné pro nasazení v pružných výrobních systémech.
4. Tento stupeň číslicově obráběcích strojů je na počátku svého vývoje. Stroje **jsou** vybaveny aktivní rozměrovou kontrolou, řízení je adaptivní a samooptimalizační.

### 1.2. Uplatnění číslicově řízených obráběcích strojů.

Z uvedeného je patrné, že číslicově řízená výrobní technika prochází prudkým vývojem. Důkazem jejího praktického uplatnění je skutečnost, že ve světě je v provozu asi 100 000 NC strojů.

Praktické využití číslicově řízené výrobní techniky v obrobkách strojírenských podniků probíhá jako:

- jednotlivé nasazení číslicově řízených obráběcích strojů a číslicově řízených obráběcích center pro realizaci speciálních technologických záměrů

- skupinové nasazení číslicově obráběcích strojů a číslicově obráběcích center pro realizaci ohraničených technologických úkolů
- pružné výrobní systémy /resp. integrované výrobní úseky/ pro realizaci komplexní a plně automatizované výroby.

Ve většině případů jde vzhledem k technické a ekonomické možnosti podniků o skupinové nasazení NC výrobní techniky - a to budováním výrobních středisek číslicově řízených obráběcích strojů.

Účelné využití NC strojů je v jejich sestavení do IVÚ, PVS, BOS.

- IVÚ - integrovaný výrobní úsek
- od zadání jednoho stroje je obrobek předáván na další stroje
  - nadřazený počítač sleduje tok materiálu /palety s obrobkem/ a tok palety s nástroji, řídí nakladač, který přiváží a odváží obrobky
  - když vznikne "krizová cesta", má počítač zjistit neoptimálnější cestu řešení
  - soubor např. 30 strojů  
/- Sezimovo Ústí/
- PVS - vyšší stádium IVU
- manipulaci vykonává manipulátor /řeší obrobky i nástroje/ - řízen z nadřazeného počítače
  - několik málo strojů - méně než u IVÚ
- BOS - bezobslužný obráběcí stroj /"malý PVS"/
- obsahuje zpětnou vazbu na řídicí systém
  - ve stádiu projektu - předpokládaná realizace v r. 1986-87

## 2. Číslicově řízené obráběcí stroje.

### 2.1. Základní skupiny číslicového řízení.

U číslicového řízení obráběcího stroje se do řídicí soustavy vkládá program pohybového cyklu ve tvaru číselných vstupních informací. Kromě instrukcí, vyjadřujících geometrický tvar dráhy nástroje vzhledem k obrobku, obsahuje též číselný záznam další funkce obráběcího stroje /např. instrukce pro změnu otáček, rychlostí posuvů, směrů posuvů .../. U strojů s automatickou výměnou nástrojů musí obsahovat i instrukce pro jejich výměnu během pracovního cyklu. Tím je řízení stroje ze strany obsluhy omezeno na vkládání vstupních informací a nastavování výchozích poloh suportů.

Číslicová řízení obráběcích strojů se dělí podle složitosti pohybového cyklu do dvou základních skupin:

- a/ přetržitá řízení
- b/ souvislá řízení

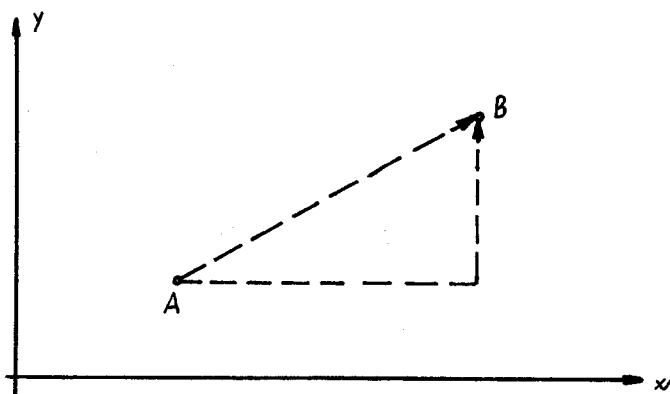
ad a/ Přetržitá řízení - v této skupině se pohyb řídí v každé souřadnici zvlášť. Pohyby v jednotlivých souřadnicích mohou probíhat jeden po druhém nebo současně - ale nezávisle na sobě. Celý pohybový cyklus je rozdělen na úseky různé délky - v každém úseku se řídí pouze dosažené stanoveného koncového bodu.

Přetržitá řízení se dělí do dvou podskupin:

- polohové řízení: Používá se u vrtaček a vyvrtávaček všeho druhu. Poloha osy nástroje se nastává při chodu naprázdno. Pro přesné nastavení musí být řízení vybaveno zpětnou vazbou, aby se souřadnice při přejetí opravila.

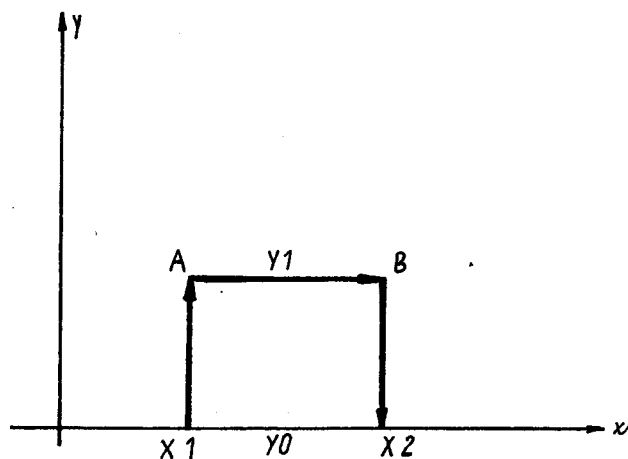


obr. č. 1



- pravouhlé řízení: Používá se především u soustruhů a frézek. Obrábí se jím součásti, jejichž tvar určují plochy rovnoběžné s jednotlivými souřadnými osami.

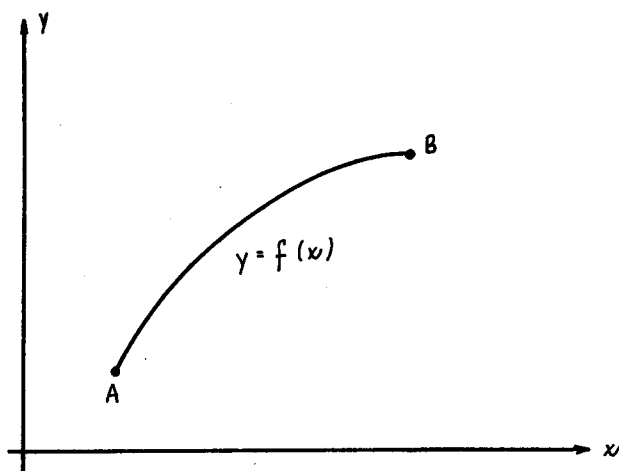
obr. č. 2



ad b/ Souvislá řízení /obecná/ - používá se u automatických soustruhů, revolverových poloautomatů, kopírovacích frézek ap.

Vyžaduje mnohem složitější pohybový cyklus s křivkovými nebo přímkovými úseky, které jsou šikmo k souřadným osám. Současný pohyb ve dvou nebo ve třech souřadnicích se musí řídit souvisle. Řízení dráhy v každé souřadnici musí být vázáno s řízením rychlosti pohybu. Křivkové dráhy lze řídit buď lineární nebo kvadratickou interpolací.

obr. č. 3



Interpolace - proložení křivky určitého typu /přímky, paraboly, kružnice, paraboly vyšších řádů/ dvěma nebo několika body. Někdy je tvar křivky daného typu určen již body, kterými má křivka procházet /úsečka - určena dvěma body  
kružnice a parabola - určena třemi body/.

Pro určení křivky je také možné využít požadavku hladkého napojování úseků křivek /aby tečny obou úseků ve styčném bodě byly shodné/

- lineární interpolace - proložení přímkového úseku dvojicí krajních bodů

- kruhová interpolace - proložení kruhového úseku, který je nejčastěji určen - dvojicí krajních bodů a středem  
- počátečním bodem, středem, úhlem rozevření průvodičů /úhel spojnic krajních bodů a středů/  
- počátečním a koncovým bodem, poloměrem, směrem rozvoje /ve směru - proti směru pohybu hodinových ručiček/ a směrem středu /nad - pod spojnicí krajních bodů/.

Při řízení strojů frézovacího typu je třeba zvládnout problém korekce na průměr nástroje včetně hladkého a nehladkého napojování.

## 2.2. Struktura číslicově řízeného obráběcího stroje.

Obráběcí stroj má z hlediska funkce tři části:

- vlastní obráběcí stroj, umožňující obrábění
- akční členy bezrozměrových operací - umožňující např. automatické řazení rychlosti posuvů, otáček, start, stop a pod.
- pohonné mechanismy posuvů - umožňující obrábění požadovaných tvarů požadovanou rychlostí.

Do systému vstupují informace ze snímače z ovládacího panelu systému nebo stroje /působením obsluhy/ nebo z nadřízeného počítače /při řízení DNC/.

Obsluha opticky, případně akusticky sleduje stav obrábění, stav stroje a jeho částí. V případě potřeby má možnost zasáhnout prostřednictvím různých ovladačů na panelu systému, stroje, dále může provádět měření, výměnu nástroje a obrobku.

### 2.3. Struktura řídicího systému -

- je pevné, neproměnné provedení řídicího systému, jehož úkolem je zpracovávat proměnný program, který je zadáván některým nosičem informací a vydávat ho v příslušných časových intervalech ve formě povelů k řízení konkrétního stroje. /Nosičem informací může být děrný štítek, děrná páska, magnetická páska .../.

Číslicový řídicí systém obráběcího stroje - automat schopný řídit pohyby nástrojů proti obrobku a všechny funkce obráběcího stroje /otáčky, posuvy, směry posuvů atp./.

Automat je charakterizován programem a strukturou.

### 2.4. Řídicí systém.

Klasický řídicí systém: obsahuje vstupní obvody /obvody řízení snímače děrné pásky/, paměť bezrozměrových informací /informace o rychlosti posuvů, otáček, chlazení, výměna nástroje, obrobku apod./, obvody odměřování polohy /vyhodnocení signálu z odměřovacího snímače a převedení na číselný údaj o poloze/, obvody řadiče /zasahují do všech částí systému, řídí správný sled operací v předvoleném režimu, určují počátek a konec vykonávání

instrukcí na stroji, vydávají povely pro přečtení nových informací, zabezpečují systém proti nesprávnému zásahu/, indikační panel /na něm se zobrazuje skutečná a žádaná poloha systému, obsah bezrozměrových informací, vzdálenost od cíle/.

System DMC - řídicí počítač je spojen přímou kabeláží s NC systémy obráběcích strojů. Řídicí informace jsou předávány do NC systémů v takové formě, v jaké jsou obvykle přijímány z děrné pásky /=<sup>m</sup> přímé číslicové řízení/.

System CNC - použití volně programovatelného číslicového počítače pro řídicí funkce /=<sup>m</sup> přímé řízení počítačem/.

System adaptivního řízení - je uzavřena zpětná vazba mezi řezným procesem a řídicím systémem /kontrola dosažení nebo překročení stanovených parametrů řezného procesu, řízení k dosažení optimálního procesu obrábění podle předem stanoveného kritéria/.

Systemy CNC jsou řešeny na kvalitativně vyšší technické úrovni a dovolují využívat pro realizaci funkcí NC strojů pružných prostředků a metod z výpočetní techniky /zejména v oblasti softwaru/. Tyto zkušenosti vedou k podstatnému zjednodušení řídicích programů, manipulace s nimi, jejich ukládání, ladění, edici a tím i příznivě ovlivňují významnou fázi technologické přípravy výroby - programování.

CNC systémy lze stavebnicově přizpůsobovat nejrůznějším požadavkům a vytvářet tak řídicí systémy s různým stupněm a úrovní funkčního vybavení - od vlastního prostého CNC řízení až po ta, která jsou vybavena dialogovým /konverzačním/ programováním, zobrazováním údajů řídicího programu na alfanumerické displeji, grafickým zobrazením pracovního postupu pro jednotlivé nástroje včetně kontroly možných kolizních stavů na grafickém displeji CNC systému.

Aplikace prostředků známých z výpočetní techniky zajišťuje velkou pružnost programování, protože lze užít podprogramů, a to jak stálých - knihovních /uložené v paměti CNC systému/, tak i uživatelských, které si technolog vytváří pro svou potřebu.

Technika využití stálých programů zaručuje podstatné zjednodušení a urychlení práce technologa - programátora.

Postupně se vytvářejí nové tendence založené na realizaci tzv. přímého programování u NC stroje. Řídící systémy CNC pro přímé programování jsou vybaveny řadou geometrických a technologických podprogramů, které lze vyvolávat přímo na řídicím panelu NC stroje určenými tlačítky a spojovat je do uceleného řídicího programu pro obrábění konkrétní součásti.

Tato koncepce umožňuje sice pozitivní přístup zainteresovanosti lidského činitele, avšak má i vážné nedostatky. V mnoha případech dochází takto k záměně řádně vybaveného pracoviště technologické přípravy výroby za improvizované v prostředí, které omezuje soustředění obsluhy. Dále - po dobu tvorby nového řídicího programu se stroj vyřazuje z činnosti a tím se zhoršuje jeho časové využití.

Řešením nevýhod "přímého programování" je "paralelní programování". Tento způsob programování je programátorskou činností prováděnou na NC stroji současně při obrábění a využívající k tomuto účelu přizpůsobeného CNC řídicího systému obráběcího stroje.

### 3. Použití počítačů k programování číslicově řízených obráběcích strojů.

#### 3.1. Ruční programování.

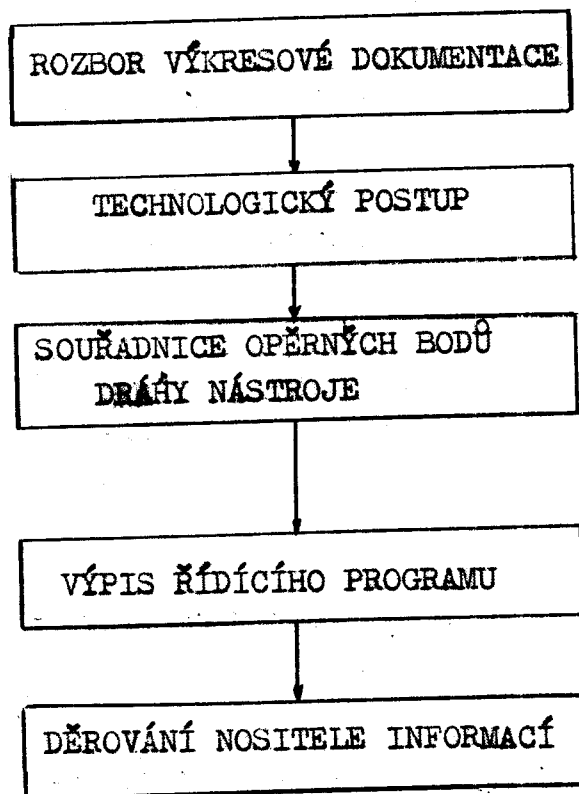
Programováním číslicově řízeného obrábění nazýváme sestavování informací, které zajistí zamýšlené pohyby nástroje na příslušném číslicově řízeném obráběcím stroji. Programování pro číslicově řízené obrábění můžeme rozdělit na dvě základní etapy. V první etapě se určuje, jak se dá daná součástka co nejlépe obrábět, jak je třeba ji upnout, jaké mají být podmínky obrábění, tvar obráběcího nástroje apod. Druhá etapa /kterou se budeme zabývat/ sestává z určení dráhy nástroje a jejího rozdělení do elementárních pohybů stroje.

Do informací, které slouží pro vypracování řídicího programu, náleží typ použitého číslicově řízeného stroje, druh, tvar a rozměry obráběného materiálu, požadovaný tvar, rozměry a drsnosti ploch obrobene součásti. Tyto vstupní informace využije programátor pro určení upnutí obrobku, sledu pracovních úseků a nástrojů, pracovních cyklů nástrojů a řezných podmínek.

Zpracované údaje slouží pro záznam řídicího programu, podle kterého se vyděruje nositel informací. Náročnost zpracování technologického postupu a určování souřadnic opěrných bodů dráhy nástroje závisí na způsobu obrábění a použitém stroji.

obr. č. 4:

Postup při ručním programování:





Tento způsob programování přináší mnoho práce, která musí být vykonána s velkým soustředěním, protože případné chyby mají vážné důsledky a nemohou být eliminovány žádnou automatickou kontrolou. Programátor tedy musí pracovat přesně a bez chyb. Vyskytují se i tak náročné programy, které prakticky nelze ručním programováním vyřešit. Jde například o programy obrábění zborcených ploch.

Ruční programování se obvykle používá tam, kde nic jiného není k dispozici.

Výhody ručního programování:

- menší náklady na zařízení pro výrobu řídicí pásky
- odpadnou náklady spojení s použitím počítače
- lze programovat ihned a kdekoliv

Nevýhody ručního programování:

- větší náklady na zaškolení
- nutnost ručních výpočtů
- únavná práce, která vyžaduje koncentraci a pozornost zaměřenou na každou podrobnost
- zvýšená možnost chybných údajů v programu
- časově náročná práce
- technolog programátor musí znát všechny funkční vlastnosti každého NC stroje, pro který sestavuje programy
- programování složitých součástí, vyžadujících řízení nástroje ve více než dvou osách současně, je pro složitost geometrických vztahů při řešení jeho dráhy prakticky nemožné.

### 3.2. Programování s použitím počítače.

Vzhledem k tomu, že při přípravě programů pro číslicově řízené stroje se uplatňují aritmetické a logické operace, které lze úspěšně převést na počítač, byly samočinné počítače využity jako nákladní prostředek automatizace tvorby programů číslicově řízeného obrábění. Způsob programování při použití

počítačů se označuje jako strojní programování. Počítačem lze určit potřebné geometrické parametry dráhy nástroje a obrobku, stanovit řezné podmínky pro dané řezné nástroje. Počítač může rovněž provést volbu řezných nástrojů pro uskutečnění programované operace a rozdělit operaci do jednotlivých úseků tak, aby délka pracovního cyklu nástrojů byla co nejmenší.

Hlavním cílem technologické přípravy pro číslicově řízené obráběcí stroje je vytvoření řídicího programu /partprogram/. Řídicí program obsahuje podrobné instrukce pro řízení dané operace na číslicově řízeném stroji, které určují rozměry a tvar obráběné součásti a také pracovní podmínky v každém okamžiku automatického pracovního cyklu.

V řídicím programu jsou obsaženy dva důležité typy informací - geometrické a technologické.

Geometrická oblast - definuje dráhy jednotlivých nástrojů, které odebírají třísku z polotovaru. Definuje předepsaný tvar i rozměry obrobku, které jsou stanoveny výkresem.

Technologická oblast - definuje volbu nástrojů a pracovní podmínky.

Princip automatické tvorby řídicích programů na počítači využívá možnosti, které poskytuje speciální provozní programové vybavení /software/ počítače. Pro potřeby programování číslicově řízených strojů byly sestaveny výpočetní programy, které vyžadují pouze zjednodušený způsob zadávání geometrických a technologických informací programátorem. Programátor sestavuje místo podrobného řídicího programu pro číslicově řízený stroj a jeho řídicí systém tzv. zdrojový /autorský/ program /= zjednodušený popis tvaru, rozměrů a způsobu obrábění daného obrobku/.

K sestavení zdrojového programu má programátor k dispozici programovací jazyk nebo systém. Zpravidla jde o symbolický programovací jazyk, protože pro popis úlohy ve zdrojovém programu užívá programátor vybraných slov tvořících zvláštní slovník sestavený k tomuto účelu. Dále může jednotlivé geometrické či technologické úseky označit vhodnými abecedními nebo abecedně číselnými symboly.

V průběhu sestavování zdrojového programu, který je vlastně zadáním potřebných vstupních dat pro počítač, se musí přísně dodržet syntaxe programovacího jazyka /t.j. soubor předepsaných pravidel, jakým způsobem a v jakém pořadí se tvoří jednotlivé definice zdrojového programu, jsou-li plně určeny potřebné parametry a odpovídají-li použité slovní výrazy programovacího jazyka slozím předepsaným ve slovníku tohoto jazyka/. Obsahuje-li text zdrojového programu syntaktické chyby, hlásí tuto závadu počítač po provedení příslušných kontrol.

Kromě syntaxe je třeba dbát na to, aby nedošlo k semantickým chybám /semantika = správné přiřazení vnitřních hodnot jednotlivým proměnným a parametrům ve zdrojovém programu/. Jestliže např. má programátor zadat dvě hodnoty parametrů pro rotační součást - průměr 50 mm a délku 150 mm v tomto pořadí a on je napíše obráceně /t.j. 150, 50/, potom je zpracovaný program vadný, ale může existovat součást, která má průměr 150 mm a délku 50 mm, pro niž by byl zpracovaný program bezchybný. Jde tedy o semantickou chybu, která neodporuje logice programovacího jazyka a tyto chyby nemůže počítač odhalit.

Aby se mohl zdrojový program sestavený programátorem zpracovat na počítači, musí být v programovém vybavení počítače k dispozici zpracovatelský program, který je schopen přečíst, dešifrovat vstupní data obsažená ve zdrojovém programu, překontrolovat jejich úplnost a syntaktickou správnost a zpracovat je do požadované formy. Zpracovatelský program uložený v počítači se dělí na dvě samostatné, na sebe navazující části.

První z nich je obecná, na konkrétním typu číslicově řízeného stroje nezávislá část - procesor, který je schopen zpracovat do jisté formy zdrojové programy pro jakýkoliv číslicově řízený stroj téhož druhu /např. pro číslicově řízený soustruh bez ohledu na to, jde-li o karuselový, revolverový či hrotový/. Je třeba, aby výstup z procesoru měl universální smluvenou formu a aby se tato předzpracovaná data mohla snadno přizpůsobit pro konkrétní typ a vlastnosti číslicově řízeného stroje téhož druhu a použitého řídicího systému. Takováto forma výstupu dat z procesu se nazývá CI data /Cutler Location Data - data o poloze nástrojů v průběhu obrábění/.

Druhá část zpracovatelského programu - postprocessor -  
- přizpůsobí výsledek zpracování z procesoru pro konkrétní  
typ číslicově řízeného stroje a jeho řídicí systém.

#### Výhody strojního programování:

- nižší náklady na zaškolení pracovníků
- zvýšení produktivity programátora
- možnost strojních výpočtů
- omezí se chyby, které vznikají z nepozornosti při ručním programování resp. při ručním děrování řídicího programu
- méně chyb ve výpočtech
- možnost diagnostiky chyb
- většina charakteristických vlastností NC stroje je podchy-  
cena procesorem
- při zpracování dat mohou vznikat informace pro výpočet  
normy času apod.

#### Nevýhody strojního programování:

- náklady na strojní výpočet
- závislost na počítači

### 3.3. Programovací jazyky užívané k programování číslicově řízených strojů.

Potřeba podstatného rozšíření oblasti strojního programování vedla ke vzniku geometrických programovacích jazyků. Tyto jazyky zadávají počítači úlohy v symbolické formě a mají v podstatě univerzální použití. /K této době se váše vznik jazyka APT - počátek vývoje asi v r. 1954/.

U geometrických jazyků se využívá analytických způsobů zpracování geometrické informace počítačem pro obrábění součástí, jejichž obrysy se skládají z jednotlivých geometrických elementů. Počet těchto běžně užívaných elementů

není velký. Jde převážně o body, přímky, kruhové oblouky, a křivky. Každý element může být zadán řadou způsobů, přičemž je možné počítačem stanovit body, ve kterých se jednotlivé geometrické elementy stýkají, protínají apod.

Z geometrických jazyků vznikly také nové varianty, které jsou orientovány rovněž na technologickou problematiku programu a označují se jako technologicky orientované programovací jazyky. Základem pro většinu z nich byl progr. jazyk APT. Patří mezi ně jazyky EXAPT, ČKD APT, AUTOPROG a další.

V současné době se rozvíjejí jak systémy aplikované na minipočítačích, tak i systémy pro střední počítače. Převažující trend automatizace NC programování je však nyní veden přes aplikace minipočítačů a mikropočítačů. Důvodem je většinou možnost mít v kanceláři TPV k dispozici zařízení, které je kdykoliv dostupné /totéž nabízejí střední nebo velké počítače pouze s terminálovou sítí/.

Ve světě se objevily nové systémy programování číslíkově řízených strojů na minipočítačích. Větší výrobci obráběcích strojů nabízejí programovací místa, kde uživatel získává kompletní hardware a software pro určitou oblast nasazení číslíkově řízených strojů. Současně jsou nabízeny barevné displeje, animace pohybů - zobrazení pohybujícího se nástroje, indikace kolizních stavů apod.

I když jsou československé možnosti chudší, přece jen se u nás objevilo také několik programovacích systémů. Jde o systémy na dovážených a o systémy na tuzemských počítačích:

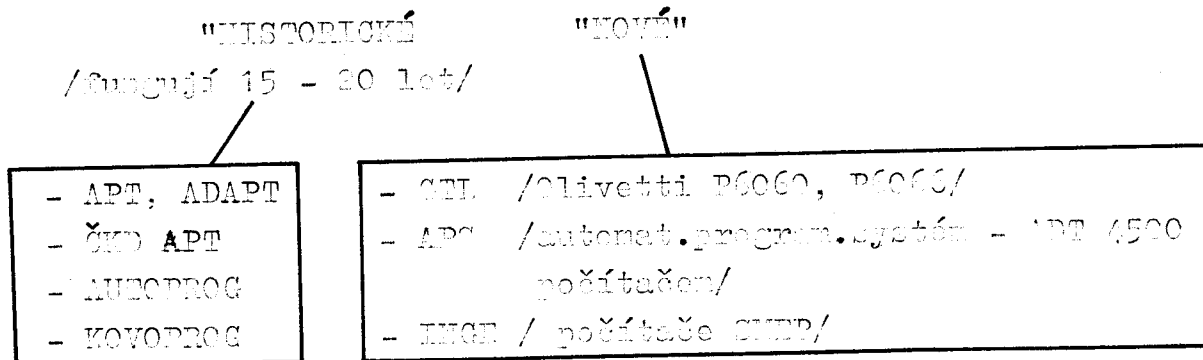
a/ na dovážených počítačích

- jazyk GTL - firmy Olivetti  
/Geometrical and Technological Language/
- Kovoprogram - Kovosvit Sezimovo Ústí

b/ na tuzemských počítačích

- programovací systém APS pro minipočítače řady SMEP
- programovací systém INGE
- ČKD APT /ČKD Praha/
- APT /Automatic Programming of Tools/

JAZYKY



V následujících kapitolách uvádím informace o různých program. jazycích. Podrobněji se rozepisují o jazycích APT /světově velice rozšířený/, GTL a APS, který vykládá z jaz. GTL /nové jazyky/.

3.3.1. Programovací jazyk APT.

Tento jazyk je provozovaný v trustu podniků VHI ČMEPOS /trust výrobní zařízení pro chem. a potravn. průmysl/. Jde pravděpodobně o světově nejrozšířenější geometrický jazyk s bohatou tradicí. U nás je v zásadě používán na počítače IBM 370, ES 1033, ES 1030 a minipočítač H 4030. Jádro programovací soustavy je vytvořeno z programů procesoru jazyka APT, doplněného sestavenými postprocesory pro konkrétní ES stroje a obsluhující programy pro vytvoření a údržbu datové základny.

APT dovoluje popis prostorového pohybu nástroje ve 2 souřadnicích s možností naklopení osy nástroje ve dvou směrech.

Zdrojový program v jazyku APT tvoří řada příkazů, zapsaných podle syntaktických pravidel, obdobných jako v ostatních symbolických jazycích pro programování NC strojů. K popisu jsou používány zkratky nebo zkratková slova odvozená z angličtiny, jména proměnných stanovená uživatelem a číselné konstanty.

Příkazy jazyka slouží pro:

- definici skalárních hodnot nebo geometrických prvků v rovině i prostoru
- popis nástroje a jeho dráhy
- popisy a příkazy pro ovládání pomocných funkcí stroje
- definici parametrů pro opracování součásti

Příkazy jsou děrovány do 80 sl. DŠ, které slouží jako vstupní médium processoru. Processor však může zpracovávat i zdrojový program /partprogram/, který je uložený na magnetické pásce nebo disku /t.j. archivované zdrojové programy nebo jejich části/.

Elementy jazyka: Processor používá vlastní slovník, jehož klíčová slova lze rozdělit do několika skupin:

- popis geometrie součásti /například POINT, PLANE, HYPERB atd./
- popis výpočetních operací a matematických funkcí /IF, SIN, COS, ABS, DIST atd./
- příkazy pro postprocesor /STOP, RAPID, SPINDL atd./
- slova užívaná jako modifikátory, označovače a selektory /XLARGE, TANTO, POSY, LEFT, RIGHT atd./
- pro popis požadovaného pohybu /GO, GODLET atd./
- pro určení požadovaného způsobu zpracování zdrojového programu /CLPRNT, NOPOST atd./
- pro vstup nebo výstup požadovaných výsledků na vnější paměti eventuelně výstupní média /PRINT, READ atd./

Geometrické popisy: Jazyk poskytuje prostředky pro snadnou definici 18 typů geometrických útvarů v rovině i v prostoru:

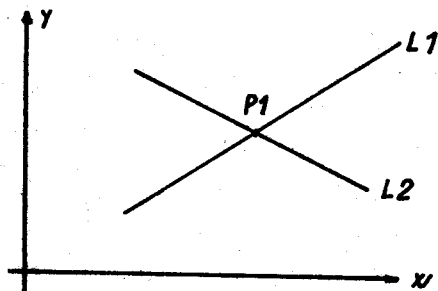
- rovinné: bod, přímka, kružnice, elipsa, hyperbola, kvadratické křivky, vektory a tabelárně zadané křivky
- prostorové: rovina, válec, kužel, koule, kvadrity /například eliptický válec, hyperbolický válec, elipsoid, hyperboloid/ atd.
- matice pro rovinnou i prostorovou transformaci dráhy nástroje

Geometrické instrukce: SETPT - vyjadřuje výchozí polohu nástroje

P1 = POINT/X,Y,Z - definuje bod P1, který má souřadnice X,Y,Z

P1 = POINT/INTOF, L1, L2 - definuje bod P1 jako průsečík přímek L1 a L2

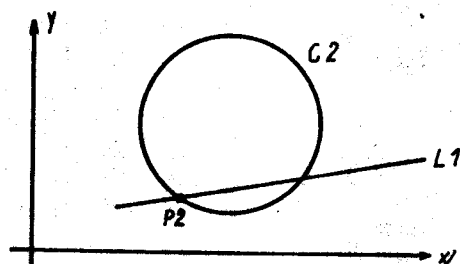
obr. č. 5





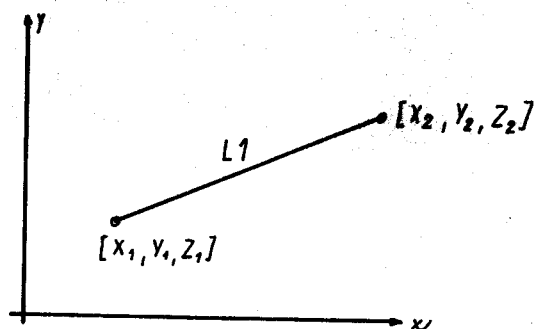
P2 = POINT/X SMALL, INTOF, L1, C2 - definuje bod P2 jako průsečík kružnice a přímky. Jde-li o druhý průsečík s kružnicí, nahradí se výraz SMALL výrazem LARGE

obr. č. 6



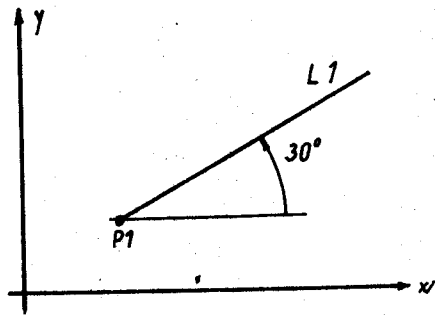
L1 = LINE/X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, Z<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>, Z<sub>2</sub> - určuje přímku L1 jako spojnicí bodů P1, P2 o souřadnicích X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, Z<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>, Z<sub>2</sub>

obr. č. 7



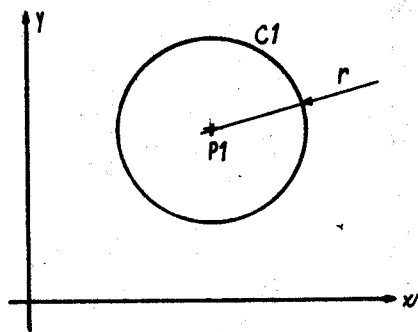
L1 = LINE/P1, ATANGL, 30 - určuje přímku L1, která je dána bodem P1 a úhlem k ose X

obr. č. 8



C1 = CIRCLE/ $X_1, Y_1, Z_1, r$  - určuje kružnici, která je dána středem P1 o souřadnicích  $X_1, Y_1, Z_1$  a poloměrem  $r$

obr. č. 9



Aritmetické příkazy: Je povolen zápis aritmetických příkazů formou podobnou matematickým zápisům

PŘ.:  $A = B + \text{SINF } /C/$

Konvence zápisu jsou převzaty z jazyka FORTRAN.

Výrazy mohou být složeny ze skalárů, aritmetických operátorů, aritmetických a geometrických funkcí.

Proměnné jsou povoleny jednoduché nebo indexované, což poměrně usnadňuje efektivní způsob zápisu řešeného problému.

Programování souvislé dráhy nástroje:

Pro spojité řízení pohybu nástroje podél obráběných ploch jsou určeny příkazy:

- CUTTER - umožňuje podrobný popis tvaru a rozměrů nástroje
- GO/par. - navedení nástroje na obráběnou plochu
- GOFWD, GORGT, GOLET, GOBACK a další příkazy - pro vedení nástroje po požadované dráze

Příkazy pro postprocesor: Jazyk obsahuje slovník klíčových slov určených k použití jako příkazy předávané do postprocesoru. Tyto příkazy procesor nezpracovává, pouze provádí základní syntaktickou kontrolu. Přesný tvar a význam je jim přiřazen až konkrétním postprocesorem. Tento slovník obsahuje celkem 94 použitelných výrazů.

Uživatelům jazyka APT jsou dány k dispozici i procesory dovolující použití příbuzného jazyka AD-APT.

AD-APT je programovací jazyk, který je odvozen od APT. Je určen pro řízení "z bodu do bodu" a pro souvislé řízení v rovině. Význam a formáty příkazů jsou obdobné jako u APT, v geometrické části chybí popisy prostorových ploch a příkazy víceosého pohybu. Pro běžného uživatele, který víceosé řízení nevyužívá, jsou oba jazyky totožné.

### 3.3.2. Programovací jazyk ČKD APT.

Jazyk ČKD APT má vysokou vyjadřovací schopnost. Obecné matematické výpočty se v něm programují podobně jako v jazyku FORTRAN. Pro úlohy číslicového řízení je jazyk vybaven výrazovými prostředky umožňujícími výpočty s geometrickými objekty /jako např. bod, přímka, kružnice, obecná křivka, plocha/. Tyto výrazové prostředky se dělí na definice objektů a výkonné příkazy pro pohyb nástroje. Další skupinu tvoří technologické příkazy. K dispozici je knihovna nástrojů a technologických podmínek obrábění.

Zadání konkrétní úlohy /zejména kót a jiných údajů z výkresu součásti/ je možno uvádět přímo do ČKD APT programu. Lepším řešením je však načtení těchto údajů z datových souborů, které jsou uloženy v počítači.

Konkrétní úlohu podle výkresu pak řešíme podle obecného programu, který obsahuje příkazy pro načtení konkrétního zadání.

Vstup ČKD APT programu do počítače může být buď klasickým způsobem /děrná páska, štítky/, avšak přednost se dává zápisu programu z terminálu. Na počítačích PDP 11 a SMEP je možno požadovat interakční kontrolu zadání, která dovoluje uživateli bezprostředně opravovat chyby.

Zpracování ČKD APT programu probíhá na dvou úrovních:

- 1/ Procesorem, který představuje převažující část zpracování - nezávislou na vlastnostech použitého NC stroje
- 2/ Pak následuje dořešení postprocesorem, jenž obecné rozpracování úlohy upraví podle konkrétních vlastností použitého NC stroje. Postprocesor děruje řídicí pásku pro NC stroj, může sestavit nástrojový list, údaje o výrobních časech, údaje pro plánovací útvary i další podklady pro technologickou přípravu výroby.

Nejznámějšími jazyky, pracujícími na podobném principu jsou EXAPT 2 a GTL/T. Přitom druhý z nich představoval při vývoji automatizovaného soustružení ČKD APT vzor programových možností.

### 3.3.3. Programovací jazyk KOVOPROG.

Jde o symbolický konverzační jazyk pro programování rotačních součástí typu hřídelů a přírub. V poslední době se pracuje i na jeho verzích pro vrtání, vyvrtávání, frézování.

Jazyk je implementován na stolní kalkulátory Hewlett Packard typu HP 9830 A, B, HP 9835 a HP 9845 s minimální pamětí 8 K slov, které jsou vybaveny periferními jednotkami pro grafické zobrazení, tisk, čtení a děrování děrné pásy.

Konverzačním způsobem sestavený zdrojový program je zpracován v geometrickém a technologickém procesoru. Na grafickém výstupu je možno ověřovat správnost výsledků tím, že se vykreslí obraz polotovaru a obráběné součásti včetně drah nástroje při jednotlivých záběrech při dělení hrubovacích třísek i při dokončování.

Pro popis geometrie se užívá geometrických definic:

Příklad definice bodů:

Určení polohy bodu vzhledem k jinému bodu:  $B_n, 1, B_n, X, Y$

- pro daný příklad:  $B_1, 1, B_0, 25, 10$

/kód prvku, číslo prvku, typ definice, vztažný prvek,

B

1

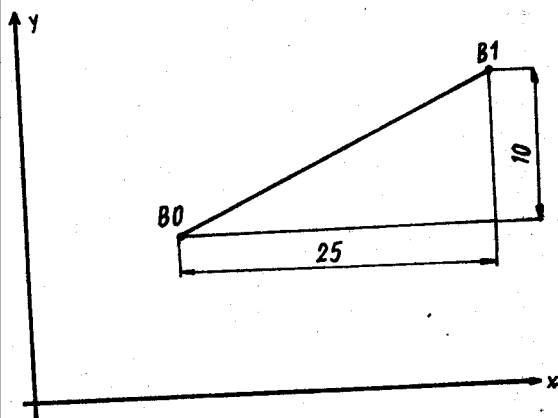
1

$B_0$

souřadnice/

25, 10

obr. č. 10



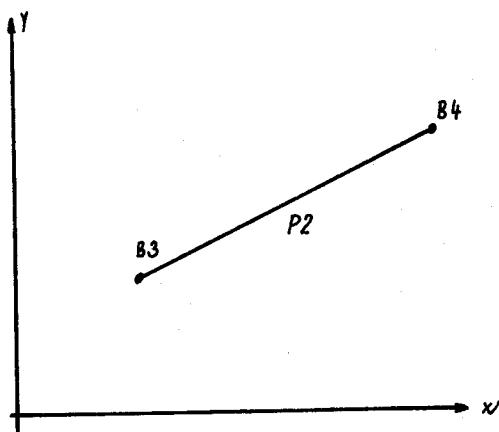
Příklad definice přímky:

Přímka určena dvěma body:  $P_n, 1, B_n, B_n$

- pro konkr. případ:  $P_2, 1, B_3, B_4$

/kód prvku,	číslo prvku,	typ definice,	vztahový prvek/
P	2	1	B3, B4

obr. č. 11



Pro realizaci technologie je určeno 16 technologických a 6 pomocných podprogramů, které se zadávají ve zdrojovém programu třípísmennými názvy.

Např.:        VRT    -    cyklus vrtání  
              PRI    -    pohyb po přímce  
              NAS    -    určení nástroje  
              HRU    -    hrubování

Nevýhodou tohoto systému je jeho vázanost na konkrétní typy zahraničních minipočítačů, které jsou v našich závodech pouze v omezeném množství.

#### 3.3.4. Interakční geometrický jazyk INGE.

Systém INGE představuje geometricky orientovaný systém programování číslicově řízených strojů, který je zpracován pro počítače řady SMEP a umožňuje práci s prostředky počítačové grafiky k vizuální kontrole definované geometrie součásti, programové dráhy nástroje či možné kolize nástroje s obrobkem.

Systém INGE je tvořen následujícími moduly nebo jejich skupinami:

- aritmetický procesor /"APR"/
- geometrické definiční moduly /"JEG", "SET", "FIT"/
- modul geometrických transformací /"GTR"/
- technologické moduly /"MILL", "LATHE"/
- moduly grafických výstupů /"HFM", "HLM"/
- postprocesory

Systém INGE byl vytvořen na základě zkušeností se systémem GNC /Graphical Numerical Control/, který byl vyvinut na CAD Centru v anglické Cambridge.



System INGE je původním programovým dílem pracovníků INORGY /Ústav pro automatizaci řízení v průmyslu, Praha/. V současné době je již poměrně rozsáhlý /již přes 20 tisíc fortranských příkazů/. Tomuto rozsahu odpovídá i složitost struktury. System je provozovatelný v 32 K slovech paměti počítačů SM 4 s prostředky počítačové grafiky.

Práce s prostředky počítačové grafiky je podporována obecným grafickým systémem MINIG /grafický systém určený pro implementaci na počítače řady SMEP/, který umožňuje realizovat grafické výstupy na libovolné zařízení /kreslící stoly či grafické displeje/.

### 3.3.5. Programovací jazyk GTL.

Jazyk GTL byl vyvinut italskou firmou Olivetti jako součást softwarového vybavení minipočítačů Olivetti P 6060 koncem 70 let. Od té doby byl neustále zdokonalován a postupně implementován na novější počítače této firmy P 6066 a M 40. Protože docházelo k řadě různých zdokonalení, lze starší verzi systému vždy použít na novějším počítači.

V ČSSR dosáhl tento programovací systém značného rozšíření a byla vyvinuta celá řada postprocesorů.

Jazyk GTL umožňuje automatické programování obráběcích strojů s NC a CNC řízením. Je rozdělen do tří základních částí:

1. Procesor - provádí kontrolu syntaxe instrukcí zdrojového programu, řeší geometrické a technologické instrukce zdrojového programu, provádí výpočet dráhy nástrojů a vytváří soubory dat o pohybu rezného nástroje.

2. Postprocessor - na základě datových souborů procesoru vytváří řídicí děrnou pásku pro konkrétní stroj a NC nebo CNC systém. Podle požadavku zpracovává časový rozbor práce stroje, zpracovává výpisy programů apod.

3. Uživatelské programy - doplňují základní vybavení a zvyšují možnosti uživatele. Umožňují kreslení drah nástroje, ukládání souborů technologických dat, edici zpracovaných programů apod.

Pro základní typ operací je procesor standartní bez ohledu na typ stroje a řídicího systému. Postprocessor je vytvořen pro konkrétní konfigurace stroje a řídicí systém.

Vstupem do programovacího systému jsou geometrická a technologická data, která jsou zapsána pomocí jazyka GTL. Je to alfanumerický jazyk tvořený instrukcemi, které podle jednoduchých pravidel popisují geometrii součásti a technologii jejího obrábění. Posloupnost instrukcí jazyka GTL tvoří zdrojový program.

Geometrické instrukce jazyka GTL využívají orientovanou geometrii, která umožňuje jednoznačnou definici prvků co do polohy, velikosti a orientace. K definici rovinného obrazce je v jazyce GTL použito tří geometrických prvků: bodů, přímek, kružnic.

U přímek a kružnic je třeba kromě údajů určujících polohu definovat orientaci prvku. /Přímky L1 a L2, které jsou shodné, ale mají opačnou orientaci, jsou chápány jako dvě různé přímky/. U kružnic je kladný smysl ve směru proti hodinovým ručičkám /CCW/ a záporný ve směru hodinových ručiček /CW/.

Obecný slovník jazyka GTL obsahuje tyto definice základních geometrických prvků:

- 1/  $O_n/\dots$  definice souřadných systémů - umožňuje posouvání a otáčení souřadného systému zdrojového programu.

Příklad přímé definice:  $O1/ X 10, Y 20, A 30$

kde:  $X, Y$  - souřadnice nového počátku

$A$  - úhel natočení souřadného systému

Příklad nepřímé definice:  $O2/P1, A 30$

kde:  $P1$  - bod definovaný dříve

- 2/  $P_n/\dots$  definice bodu - může být zapsána v kartézských i polárních souřadnicích.

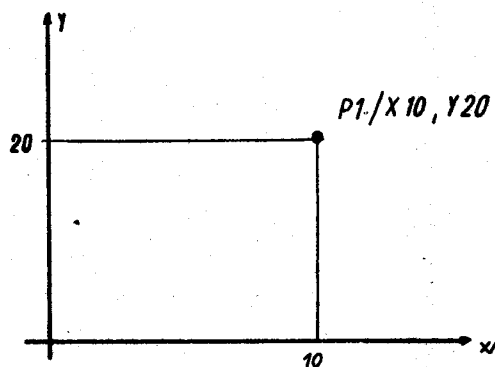
Příklad přímé definice:  $P1/X 10, Y 20$

$P2/M 30, A 40$

kde:  $A$  - úhel natočení

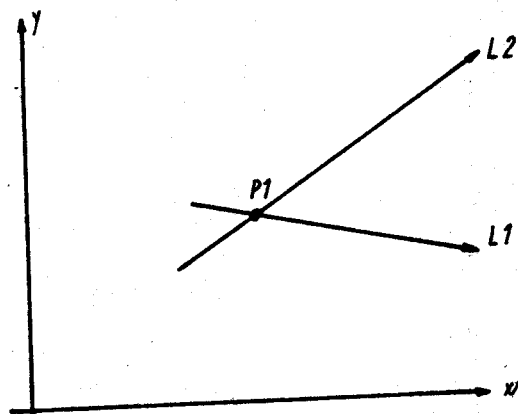
$M$  - průvodič

obr. č. 12



Příklad nepřímé definice:  
 $P1/L1, L2$  - bod definovaný jako průsečík dvou přímek

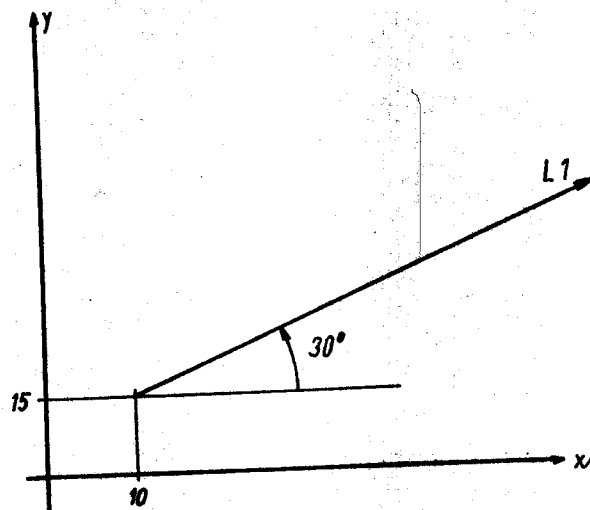
obr. č. 13



3/  $L_n/\dots$  definice přímky. Orientace přímky je dána vždy od prvního k druhému definovanému prvku.

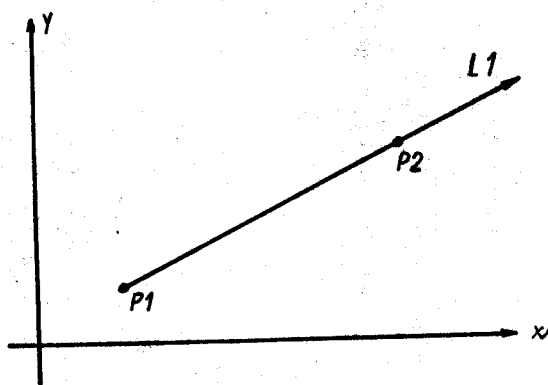
Příklad přímé definice:  $L1/X 10, Y 15, A 30$  - přímka dána bodem a úhlem

obr. č. 14



Příklad nepřímé definice:  $L1/P1, P2$  - přímka procházející dvěma body

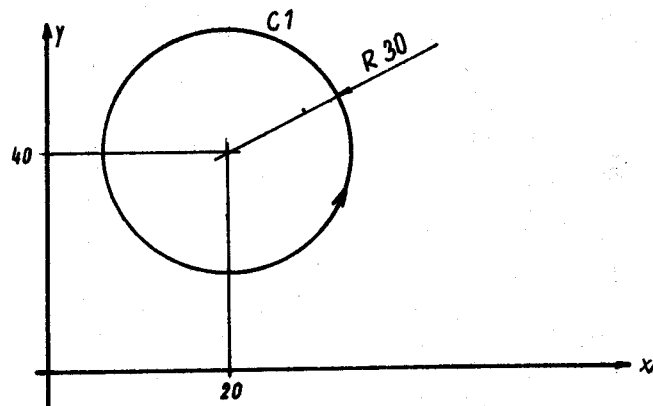
obr. č. 15



4/  $C_n/\dots$  definice kružnice  
Orientace kružnice se označuje znaménkem  
u poloměru v definici kružnice.

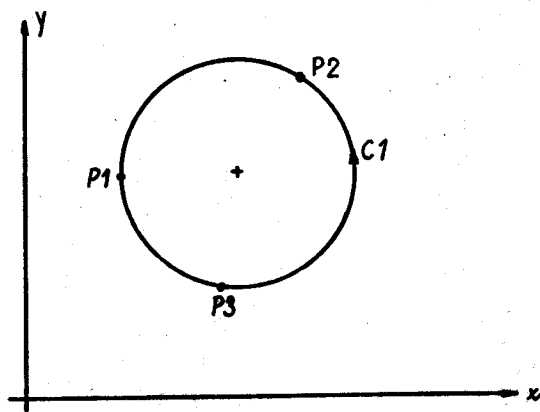
Příklad přímé definice:  $C1/X\ 20, Y\ 40, R\ 30$

obr. č. 16



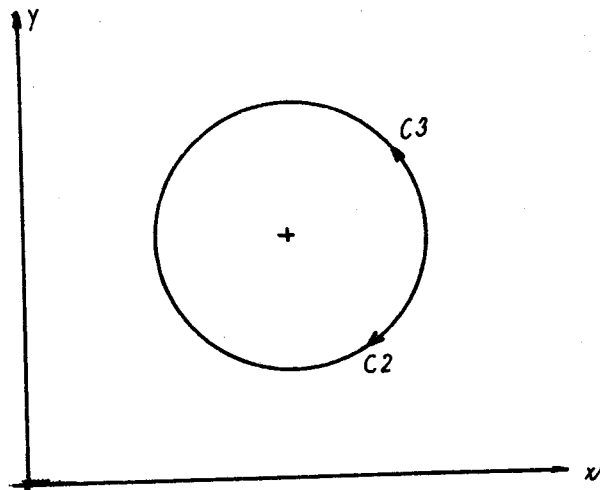
Příklad nepřímé definice:  $C1/P1, P2, P3$  - kružnice pro-  
cházející třemi body

obr. č. 17



C2/ E C 3 - kružnice opačné orientace k C 3

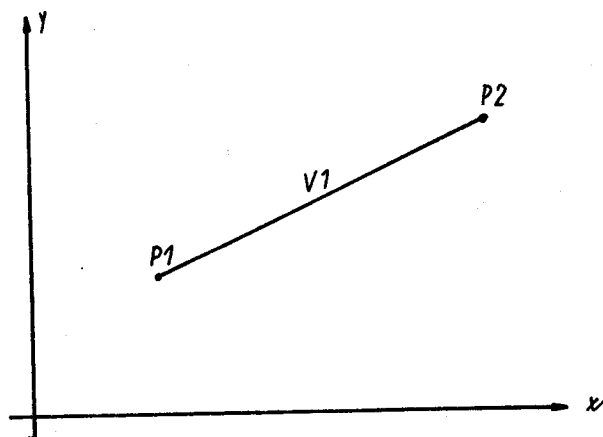
obr. č. 18



5/  $V_n/\dots$  definice numerických proměnných - umožňuje defini-  
novat přímo nebo nepřímo např.: vzdálenost dvou  
bodů:

$V1/P1, P2$  - nepřímá definice

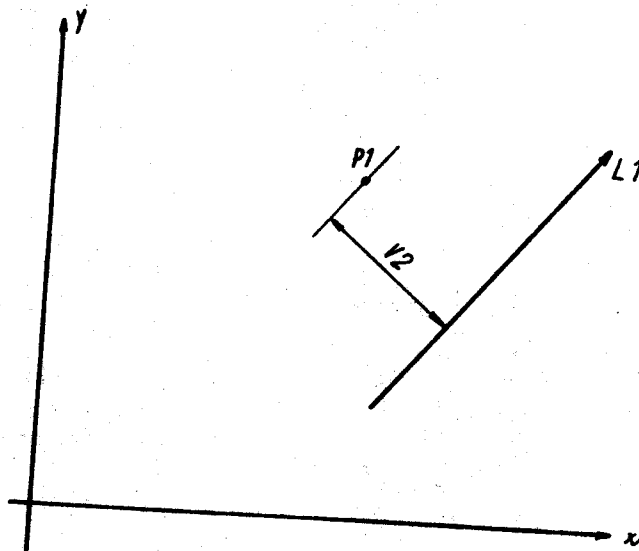
obr. č. 19



- vzdálenost bodu od přímky /apod./

V2/P1, L1

obr. č. 20



Zmínila bych se o dvou nejrozšířenějších variantách systému GTL.

- Je jím:
1. GTL/3 V - systém pro obrábění nerotačních součástí
  2. GTL/T - systém pro obrábění rotačních součástí



ad 1. GTL/3 V

- geometrické definice jsou rozšířeny o - vsuvky, které umožňují definici určitého geometrického tvaru, který se na daném profilu opakuje. Vsuvka je definována seskupením geometrických elementů, které byly definovány dříve. Pomocí vsuvek je možné požadovat automatické řízení radiusového přechodu mezi dvěma prvky nebo automatické srážení hrany mezi dvěma prvky.
- Definice podprofilů, které umožňují libovolné opakování vsuvky v různých polohách, v posunutí nebo natočení
- profily, které lze vytvořit buď jako posloupnost dříve definovaných elementů nebo jako zrcadlový obraz již definovaného profilu nebo jako tzv. katalizované profily pomocí některého definovaného profilu /drážky, vybrání apod./
- křivky dané body - umožňují zadávání rovinných křivek sítí bodů
- soubory bodů - umožňují definovat v jedné instrukci všechny body, na nichž má být provedena stejná nebo podobná operace.

Pro definování pohybu nástroje a generování požadovaných technologických funkcí se používají technologické instrukce.

Instrukce automatické technologie umožňují jednoduchý popis celých operací obrábění. Programátor nemusí programovat nástroj - ten je pro danou operaci volen automaticky a automaticky jsou mu také řazeny řezné podmínky. Podle daných kritérií priorit a logické návaznosti řadí procesor automaticky jednotlivé operace za sebe. Základním elementem definice instrukce automatické technologie je "forma", která se skládá

z jedné nebo více technologických operací. Tyto formy dovo-  
lují provádět všechny vrtací a vyvrtávací operace, závito-  
vání, čelní frézování a frézování vybrání.

ad 2/ GTL/TV

Pro definování geometrie obrobku z výchozího polotovaru  
se v systému GTL/TV využívá definice dvou profilů.  
Jednotlivé profily jsou složeny z elementárních prvků  
a lze v nich dodatečně definovat přechodové prvky /ra-  
diusy, srážení/.

V systému GTL/TV je pouze ruční technologie. Programá-  
tor musí tedy definovat jednotlivé nástroje a postoup-  
nost instrukcí ve zdrojovém programu je zachována.  
Avšak stupeň automatizace při zpracování procesoru je  
podstatně vyšší než u systému GTL/3V.

Výhodnost využití systému GTL/TV je proti systému  
GTL/3V posunuta k poněkud složitějším součástem.

Další rozšiřování systému GTL ve strojírenských  
podnicích v ČSSR je závislé na dovozních možnostech  
počítačů Olivetti.

VÚOSO Praha vytváří nové postprocesory, z nichž  
dosud zpracované jsou poměrně široce využívány.

### 3.3.6. Systém APS 1 /automatický programovací systém/

Programovací jazyk APS 1 je právě tak jako GTL alfa-  
numerický výpočetní systém určený pro automatizaci  
programování číslicově obráběcích strojů na počíta-  
cích.

NC stroje mohou pracovat v souvislém nebo pravouhlém režimu řízení.

Programovací jazyk umožňuje vytvářet řídicí programy jednak pro třískové NC stroje, které obrábí součásti nerotačního charakteru /vyvrtávací a frézovací centra, vodorovné a svislé vyvrtávačky, vrtačky a frézky/, jednak pro netřískové NC stroje /elektroerozivní drátové řezačky, vypalovací a tvářecí stroje .../

Programovací jazyk je orientován technologicky a má kromě geometrické části zpracovávající informace o drahých nástrojů také technologickou část, která řeší problematiku spojenou s automatickou volbou nástrojů a jejich řazení do sledu určitého pracovní postup včetně volby rezných podmínek.

Výpočetní programy jazyka APS 1 jsou postaveny způsobem procesor - postprocesor. Nejprve je zpracován vstupní - zdrojový program procesorem, přičemž výsledkem jsou informace o drahých nástrojů v univerzální formě /tzv. CL data/. V druhé fázi jsou výsledky z prvního průchodu zpracovány postprocesorem pro daný NC stroj, na kterém se obrábění bude provádět.

Procesor programovacího jazyka je v současné době k dispozici, postprocesory pro různé NC stroje je nutno vytvořit dle potřeby.

Jazyk je koncipován pro provoz na samočinném počítači typu ADT 4500 československé výroby /výrobce ZPA/.

Zpracování programu APS na počítači ADT 4500 je řádově pětinásobně rychlejší než na počítači Olivetti.

Pro APS 1 je vše vybaveno grafickým výstupem. V současné době je grafický výstup na papírku resp. tis-

o ro... Praha ukonč...

toru

Výpočetní programy systému APS /procesory a postprocesory/  
jsou sestaveny v počítačovém jazyku FORTRAN IV.  
Programovací systém byl vyvinutý pro minipočítače řady ADT  
pro konverzační programování.  
V současné době probíhá převod systému pro užití na počítačích typu SMEP.

## 4. Současný stav techniky a její využívání v ČSSR.

### 4.1. Současný stav techniky.

Vývoj obráběcích strojů přímo závisí na rozvoji mikroelektroniky, která výrazně ovlivňuje současnou světovou technickou úroveň obráběcích strojů.

Mikroelektronika se v první řadě uplatňuje ve zvýšení technické úrovně mikropočítačových řídicích systémů CNC, řídicích systémů pro manipulátory s obrobky a nástroji, ve využívání průmyslových robotů apod.

Na obráběcích strojích jsou realizovány systémy adaptivního řízení /= je uzavřena zpětná vazba mezi obráběcím procesem a systémem, na stroji jsou umístěna čidla, která snímají zvolené parametry řezného procesu a vytvářejí předpoklady, aby mohl být optimalizován - není nutná trvalá přítomnost obsluhy/ a aktivní kontroly jak rozměrů obráběných prvků, tak i kontroly polohy nástrojů, sledování opotřebení břitu nástroje, trvanlivost nástroje a jiné.

Rozvoj mikroelektroniky umožnil také rozšíření kapacity vnitřní paměti mikropočítačových řídicích systémů CNC a tím i vývoj v oblasti nových automatizačních prostředků.

Světový vývoj technologické přípravy výroby v oblasti programování NC strojů má snahu v co největší míře usnadnit a urychlit náročnou přípravu NC programů využitím všech moderních prostředků výpočetní techniky.

U všech výrobců jak mini - a mikropočítačů využívajících technologicky orientovaných systémů, tak i výrobců mikropočítačových řídicích systémů CNC se projevuje orientace na maximální využití interaktivního programování s možností využít pro programování v co největší míře výhod grafických displejů, které umožňují grafické znázornění postupu prací při vlastní tvorbě řídicího programu.

Zásluhou rozvoje a nasazování číslicově řízené výrobní techniky, která nachází zatím největší uplatnění v oblasti obráběcích strojů se dostává automatizace strojírenského výrobního procesu nejen do oblasti hromadné a velkoseriové strojírenské výroby, ale také do oblasti nižších typů výrob /maloseriová strojírenská výroba/.

Nároky na číslicové řízení neustále stoupají. Jejich konstrukční uspořádání jednoznačně směřuje k jejich využití v automatizovaných výrobních systémech.

Číslicové řízení obráběcích strojů zvyšuje produktivitu práce při vlastním obrábění. Samo o sobě však neřeší problém přepravy a upínání obrobku. Proto při použití jednotlivých strojů s číslicovým řízením není možné z procesu obrábění vyloučit obsluhu. Kromě vlastního obrábění se tedy začíná řešit i automatizace montáží, mezioperační dopravy a manipulace. Je to možné pouze sdružováním obráběcích strojů, centrálním řízením obráběcích strojů, skladů, dopravy i vlastní manipulace s materiálem - tzn. vytvářením PVS.

Lze předpokládat, že stejně jako se nyní prodávají číslicově řízené stroje jako jeden celek, bude se prodávat i kompletní technologické vybavení určitého výrobního úseku a na tento celek se bude poskytovat servis.

Plně automatizovaná technologická pracoviště jsou předpokladem pro vytváření automatických provozů či dokonce závodů. /Nejdále pokročilo Japonsko, které na začátku osmdesátých let má mít první automatický závod na výrobu strojních součástí./

Světové prognózy uvádějí, že v roce 1990 má být více než 50 % vyrobených obráběcích strojů nasazeno ve výrobních systémech s automatickou manipulací součástí mezi pracovišti, které jsou řízeny řídicím počítačem. Výroba NC strojů má tvořit minimálně 50 % z celkové výroby strojů.

4.2. Výrobci číslicově řízených obráběcích strojů  
a řídicích systémů v ČSSR.

V ČSSR číslicově řízené stroje vyrábí:

- 1/ n.p. Kovosvit Sezimovo Ústí - poloautom. soustruhy /SPT 16 N, SPT 32 N/  
- souřadnic. vrtačky  
VR 5 NB, VXR 50 NC
- 2/ n.p. TOS Varnsdorf - vodorovné vyvrtávačky:  
WHN 9 B, WHN 13 B
- 3/ n.p. TOS Trenčín - poloaut. soustruh SPL 25 NC A
- 4/ n.p. ZPS Gottwaldov - Revolverový soustruh  
SPR 63 NC  
  
Revolverový soustruh  
SPR 100 NC  
  
obráběcí centrum FQH 50
- 5/ n.p. TOS Kuřim - hrotový soustruh SS 50 A NC  
konzolové frézky FGSV 40 NC,  
FD 40 V NC  
stolová frézka FC 50 V NC;  
FCR 50 NC;  
FC 63 V NC A
- 6/ n.p. Škoda Plzeň - těžké hrotové soustruhy  
SUA PreciS 125 NCC  
SIU 250-A NCC  
SDZ 250 NCC  
obr. centrum: WPQ 25 NC

7/ n.p. TOS Hulín - svislé soustruhy  
SKI 8 NC  
SKI 12 NC  
SKI 16 NC  
SKI 20 NC  
SKQ 8 NC  
SKQ 12 NC  
SKQ 20 NC

8/ n.p. ČKD Blansko - svislé soustruhy  
SKJ 25-50 NC  
SKJQ 25-50 NC

Výrobci řídicích systémů v ČSSR - např.:

- 1/ Tesla Kolín - NS 113, NS 114, NS 245, NS 250, NS 316,  
NS 350, NS 351, NS 361, NS 441, NS 442,  
NS 452, NS 471
- 2/ ZPA Košíře - NS 316, NS 320, NS 421
- 3/ ZPA Nový Bor - Dapos S-3 G

4.3. Řešení úkolu IVÚ v ČSSR.

V roce 1969 byly zahájeny práce na řešení úkolu státního plánu rozvoje vědy a techniky "Integrované výrobní úseky ve strojírenství" se záměrem vytvořit základní předpoklady pro vytváření výrobních soustav složených převážně z NC strojů. Účelem těchto prací bylo dosažení optimální automatizace výrobního procesu pro vybrané soubory technologicky podobných součástí v podmínkách kusové a maloseriové výroby.



Byla zpracována řada studií integrovaných výrobních úseků /IVU/. Jednou z nich byla také studie na IVU pro výrobu drobných a středních rotačních součástí, která byla zpracována v n.p. Kovosvit Sezimovo Ústí.

Základním výrobním programem závodu Sezimovo Ústí národního podniku Kovosvit, kde je realizován IVU 320, je výroba třískových obráběcích strojů. V nedávné době závod zahájil seriovou výrobu číslicově řízených univerzálních soustružnických poloautomatů typů SPT 16 N a SPT 32 N a jejich variant, které budou postupně nahrazovat dosavadní univerzální soustruhy v našich závodech.

Aby bylo zaručeno maximální časové využití NC strojů, je soustava jednotlivých technologických pracovišť propojena systémem mezioperační dopravy, která je realizována automaticky řízeným zakladačovým vozíkem v návaznosti na mezioperační sklad.

Realizátorem a výrobcem dalšího IVU - označeného IVU 200, jsou Povážské strojírny n.p., Povážská Bystrica. IVU 200 byl projektován na specifické domácí podmínky a potřeby, ale se zaměřením na vytvoření předpokladů pro mnohonásobná opakovaná nasazení v podmínkách československého strojírenství.

Dalším řešitelem a realizátorem IVU je n.p. TOS Kuřim, výrobce obráběcích strojů. Jedná se o dva integrované výrobní úseky - IVU 800

IVU 1250

N.p. Škoda Plzeň realizoval výrobní systém ŠKODA "NC-M" pro obrábění těžkých součástí.

Užití NC směřuje k vytváření IVU, PVS a BOS. V současnosti však převažuje izolované uplatnění NC strojů, nezapojených

do sdružených pracovišť. Tyto NC stroje pronikají do všech závodů našich n.p. Jako příklad mohu uvést několik podniků z našeho okolí:

n.p. LIAZ - Jbc - Rýnovice

- soustruh SPL 25 NC s říd. systémem PLESSEY 1160
- obráběcí centrum C-BKoz 1400, NC 470
- programování ruční

n.p. LIAZ - Liberec, Hanychov

- hrotový soustruh SS 50 s řídicím systémem NS 441
- přírubový soustruh SPL 25 s říd. syst. NS 440
- vertikální fréza SCV 50 s říd. syst. NS 352
- obráběcí centrum WHQ 9 s říd. syst. NS 471
- programování ruční

n.p. Jablonecké sklárny - Desná

- frézka MAHO MH 500 C PSRONTEM  
s řídicím systémem CNC 432 /PHILIPS/
- programují strojově pomocí programu jazyku PC APT na počítači PDP 1123

n.p. ELITEX - Chrastava

- soustruhy: SPT 16 N - NS 421 E  
SPT 32 N - Daps S 3 G  
DSF 400 NC - NS 450
- vrtačky: VR 5 NA - NS 350  
VXR 50 NC - NS 316
- frézky: FC 63 V - NS 452  
FC 50 - NS 350  
FD 40 V - NS 351  
WHN 9 B - NS 361 /horizont. frézka/
- program. ručně, připravuje se programov. na mikropočítači fy Packard HP 85 pomocí programovacího jazyku Basic 85.

LVZ Liberec

- soustruhy: SPR G 3 NC, NS 421 E  
SPL 25 NC, NS 440
- obráběcí centra: ACTON, OSIDATA 1800 E NC  
MOOG 1000 PTCP
- svařovací roboty: 10 W - CNC
- vystřihovací lis: TRUMATIC 180 K,  
SINUMERIC /Siemens/, CNC
- ohraňovací lis: SAFAN - CNC
- programování ruční i strojní

Po několikaleté výrobě číslicově řízených strojů lze říci, že tato technika se u uživatelů pevně uchytila.

Poptávky po strojích tohoto druhu jsou velmi vysoké a lze předpokládat, že v příštích letech porostou. Výzkumná pracoviště se dnes připravují na řádově vyšší sestupení PVS, kde je uvažováno s komplexní automatizací, t.j. včetně využití výpočetní techniky k řízení výrobního procesu. Je tedy nutné, aby se uživatelé naučili pracovat s individuálně nasazenými stroji. Pak teprve budou moci přejít na další stupeň, kterým budou PVS.

### III. Analýza a program na číslicový počítač pro boční frézování.

#### 1. Frézování.

Při frézování se obrábějí plochy rovinného nebo obecného tvaru vícebřitým nástrojem. Výsledná řezná síla je součtem sil působících na jednotlivé zuby frézy.

Podle toho, které zuby jsou v záběru, rozeznáváme frézování čelní, obvodem a jejich kombinacemi.

Při čelním frézování je osa nástroje kolmá na obráběný povrch. Hlavním řezným pohybem je rotace frézy kolem své osy a posuvy se dějí v rovině kolmé na osu rotace. Hloubka řezu je určena tloušťkou odebíraného materiálu v ose nástroje.

Při frézování obvodem je osa nástroje rovnoběžná s obráběným povrchem. Hlavním řezným pohybem je opět rotace nástroje a posuvy jsou na ni kolmé. Hloubka řezu je určena tloušťkou odebíraného materiálu mezi jeho povrchem a ostřím zubů frézy.

Kombinované frézování umožňuje využití ostří jak na čele, tak na obvodu frézy.

Je-li smysl rotace stejný se směrem posuvu, jde o sousledné frézování, směřují-li rychlosti proti sobě, mluvíme o nesousledném frézování.

Frézování dále dělíme na vnitřní a vnější.

## 2. Analýza bočního frézování.

Systém řízení musí být programován tak, aby při frézování vytvářel pro pohyb nástroje ekvidistantu ve vzdálenosti poloměru nástroje k zadané přímce či kružnici /části kružnice/.

Ekvidistantní dráhou nástroje při frézování rozumíme dráhu středu nástroje. Tato dráha se skládá z ekvidistant k jednotlivým částem obrysu obrobku a z navazujících úseků. Ekvidistantou k úsečce je opět úsečka, ke kruhovému oblouku kruhový oblouk.

Z matematického hlediska tvar obrobku popisujeme body, přímkami, kružnicemi. Snažíme se o rozdělení tvaru na jednoduché geometrické úseky, jejichž tvar lze popsat jednoduchými rovnicemi.

U pravoúhlého řídicího systému NC 470 musíme kruhový oblouk a skloněnou úsečku nahradit lomenou čarou.

### 2.1. Blokové schema programu.

- viz příloha č. 1

#### 4.2.2. Zadání geometrie profilu obrobku.

##### Výchozí podmínky:

- body najetí nástroje:  $V1/1/$ ,  $V1/2/$   
 $V1/3/$  - výška najetí
- počáteční body profilu:  $V1/4/$ ,  $V1/5/$

##### Profil je zadán trojicemi bodů:

- rekurentní předpis:  $V1 /3+3I/$
- pokud:  $V1 /3+3I/ = 0$  - jedná se o úsečku,  
kde:  $V1 /4+3I/$  - x-ová souřadnice počátečního bodu úsečky  
 $V1 /5+3I/$  - y-ová souřadnice počátečního bodu úsečky
- pokud:  $V1 /3+3I/ \neq 0$  - jedná se o oblouk,  
kde:  $V1 /3+3I/ = \varphi(I)$   
 $V1 /4+3I/$  - x-ová souřadnice středu oblouku  
 $V1 /5+3I/$  - y-ová souřadnice středu oblouku

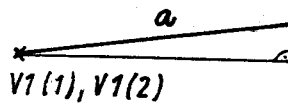
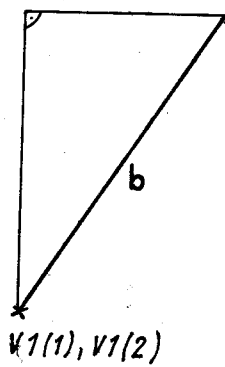
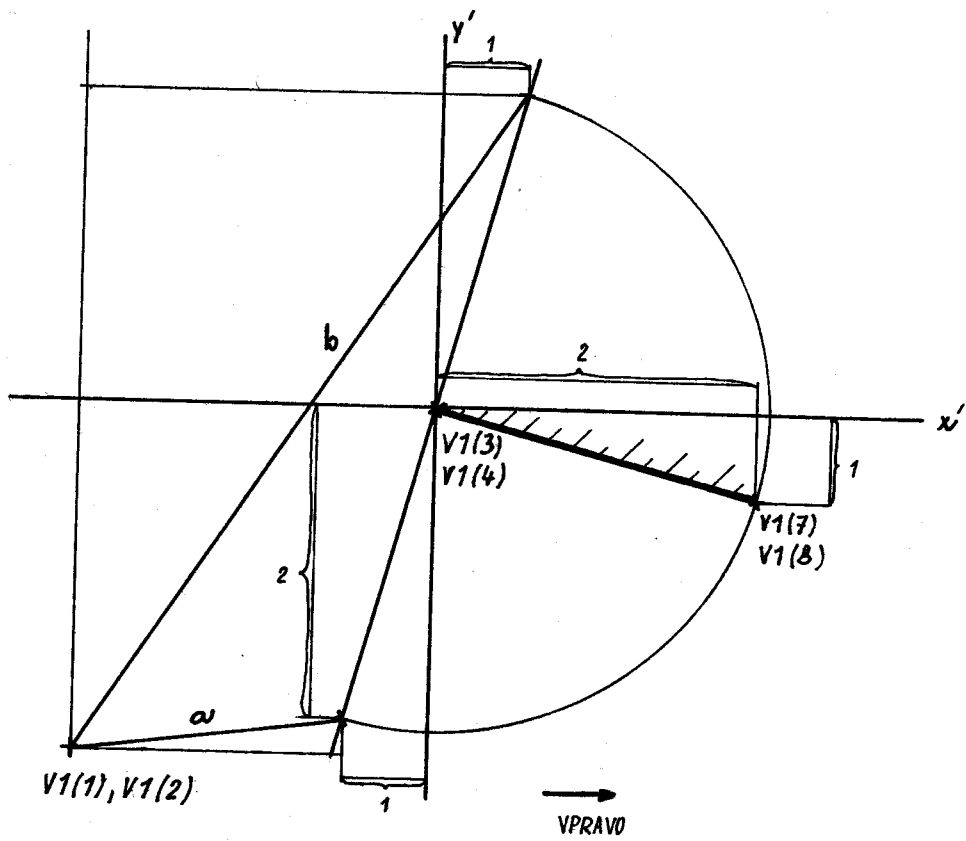
#### 4.2.3. Určení polohy nástroje od obrobku - úsečka.

Určíme, zda nástroj leží vpravo či vlevo od obrobku, přičemž směr volíme.

$$\sqrt{V1(1) - V1(4) - V1(8) + V1(5)^2} + \sqrt{V1(2) - V1(5) + V1(7) - V1(4)^2} = a^2$$

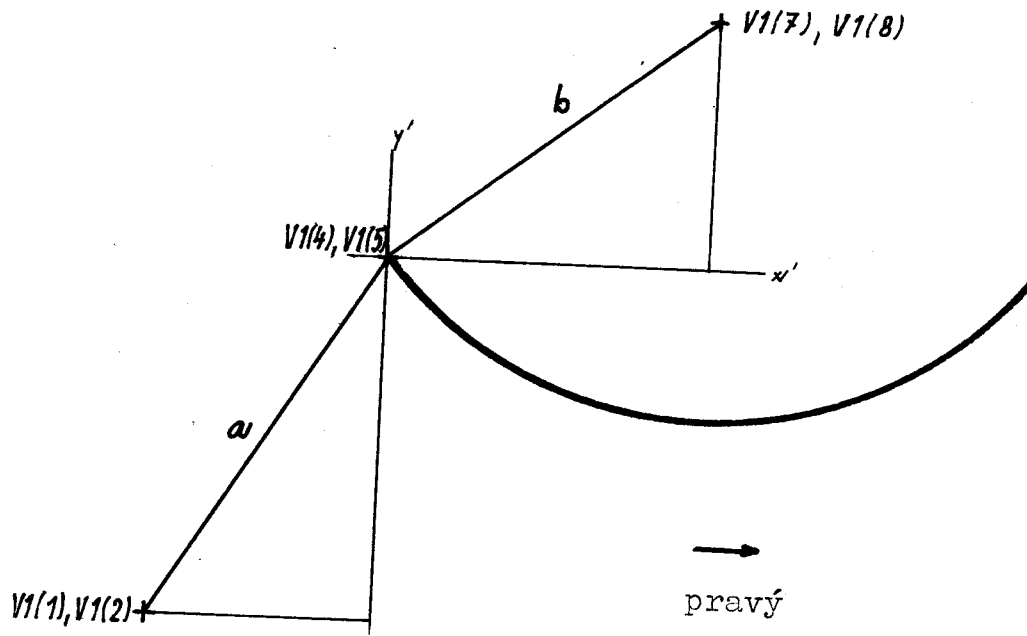
$$\sqrt{V1(1) - V1(4) + V1(8) - V1(5)^2} + \sqrt{V1(2) - V1(5) - V1(7) + V1(4)^2} = b^2$$

Jestliže  $a^2 < b^2$ , potom je nástroj vpravo od obrobku.



obr. č. 22

#### 4.2.4. Kružnice



obr. č. 23

$$a^2 = \sqrt{V1(4) - V1(1)}^2 + \sqrt{V1(5) - V1(2)}^2$$

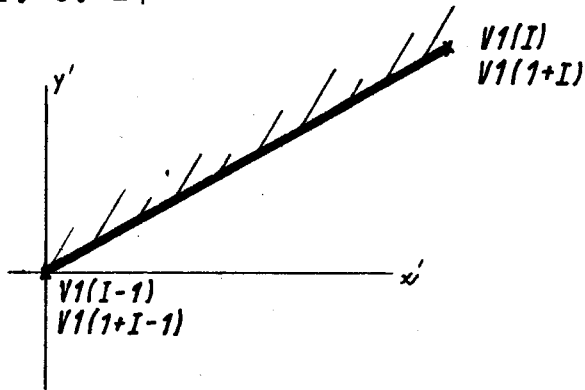
$$b^2 = \sqrt{V1(4) - V1(7)}^2 + \sqrt{V1(5) - V1(8)}^2$$

Jestliže  $a > b$ , potom je nástroj vpravo od obrobku.



#### 4.2.5. Výpočet délky úsečky.

obr. č. 24



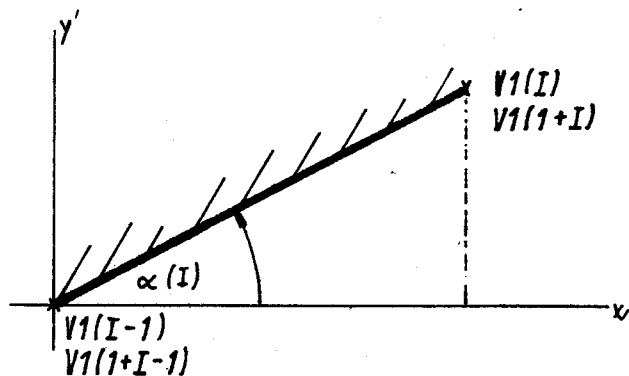
$$AB = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$AB = \sqrt{V1(I) - V1(I-1) / 2 + V1(1+I) - V1(1+I-1) / 2}$$

$$AB = \sqrt{XZAC(I) - XKON(I) / 2 + YZAC(I) - YKON(I) / 2}$$

#### 4.2.6. Výpočet sklonu úsečky.

obr. č. 25

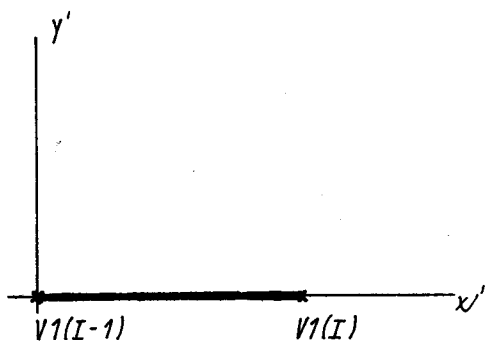


$$\alpha(I) = \arctg \frac{V1(1+I) - V1(1+I-1)}{V1(I) - V1(I-1)}$$

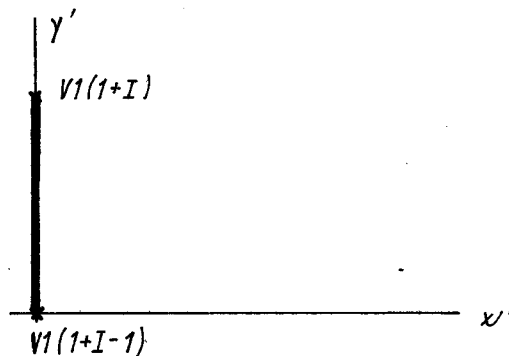
- zvláštní případy:

a/  $V1(I) = V1(I-1)$

b/  $V1(1+I) = V1(1+I-1)$



obr. č. 26



obr. č. 27

- podmínky pro výpočet:

pro interval:	$\langle -\pi ; -\frac{\pi}{2} \rangle$	....	tg kladný sin záporný
	$\langle \frac{\pi}{2} ; 0 \rangle$	....	tg záporný sin záporný
	$\langle 0 ; \frac{\pi}{2} \rangle$	....	tg kladný sin kladný
	$\langle \frac{\pi}{2} ; \pi \rangle$	....	tg záporný sin kladný

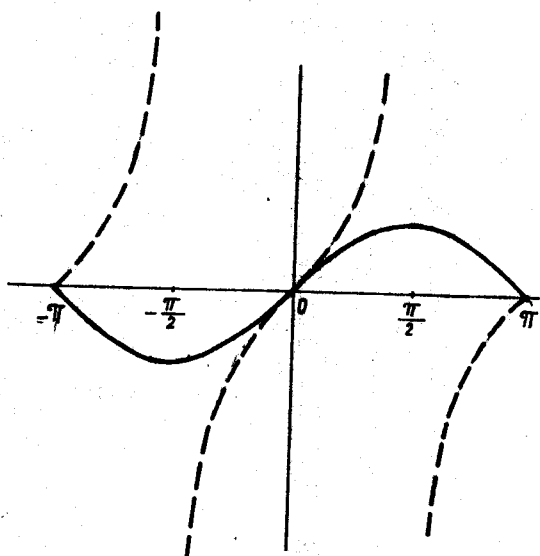
$\sin \alpha(I) < 0$  a  $\alpha(I) > 0 \rightarrow \alpha(I) = \alpha(I) + \pi$

$\sin \alpha(I) > 0$  a  $\alpha(I) < 0 \rightarrow \alpha(I) = \alpha(I) + \pi$

$\sin \alpha(I) < 0$  a  $\alpha(I) < 0 \rightarrow \alpha(I) = \alpha(I) + 2\pi$

obr. č. 28

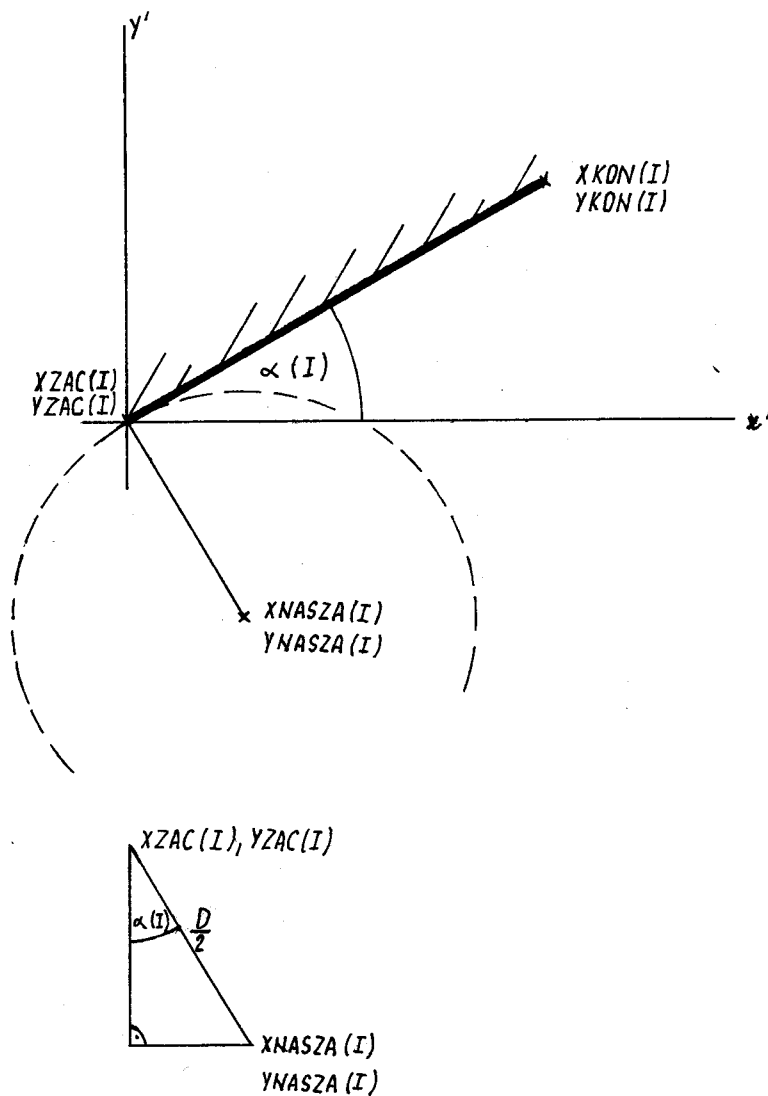
cos —  
tg ---



4.2.7. Počáteční bod dráhy nástroje - úsečka.

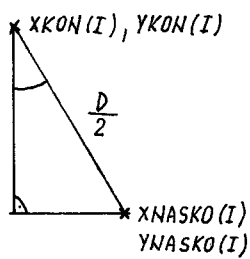
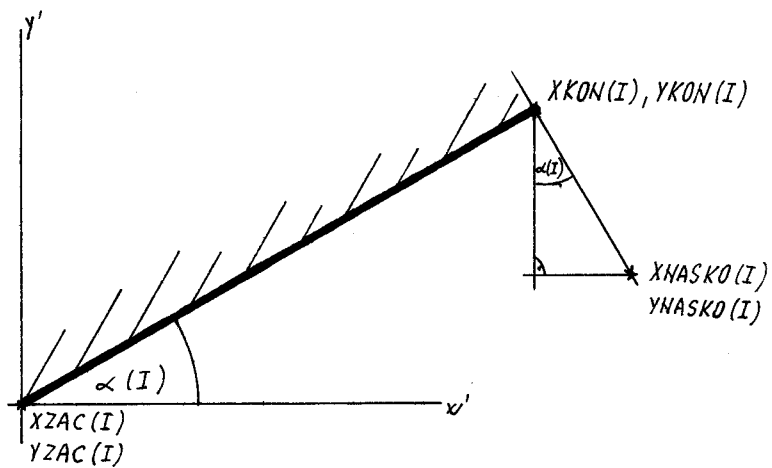
$$XNASZA(I) = XZAC(I) + \frac{D}{2} \sin \alpha(I)$$

$$YNASZA(I) = YZAC(I) - \frac{D}{2} \cos \alpha(I)$$



obr. č. 29

#### 4.2.8. Výpočet konečného bodu dráhy nástroje - úsečka.



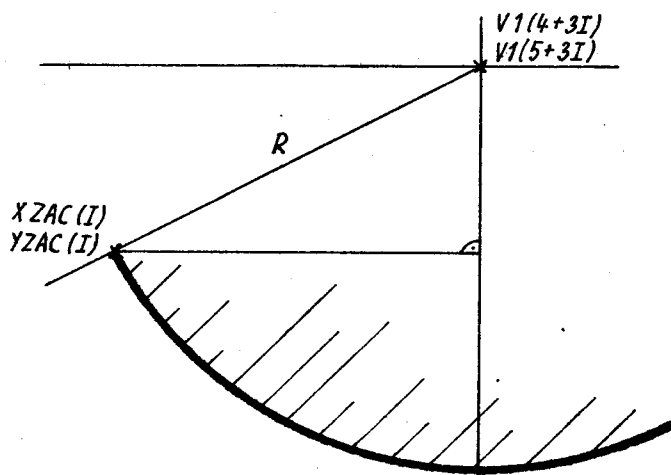
obr. č. 30

$$XNASKO(I) = XKON(I) + \frac{D}{2} \cos \alpha(I)$$

$$YNASKO(I) = YKON(I) - \frac{D}{2} \sin \alpha(I)$$

#### 4.2.9. Výpočet poloměru oblouku.

obr. č. 31

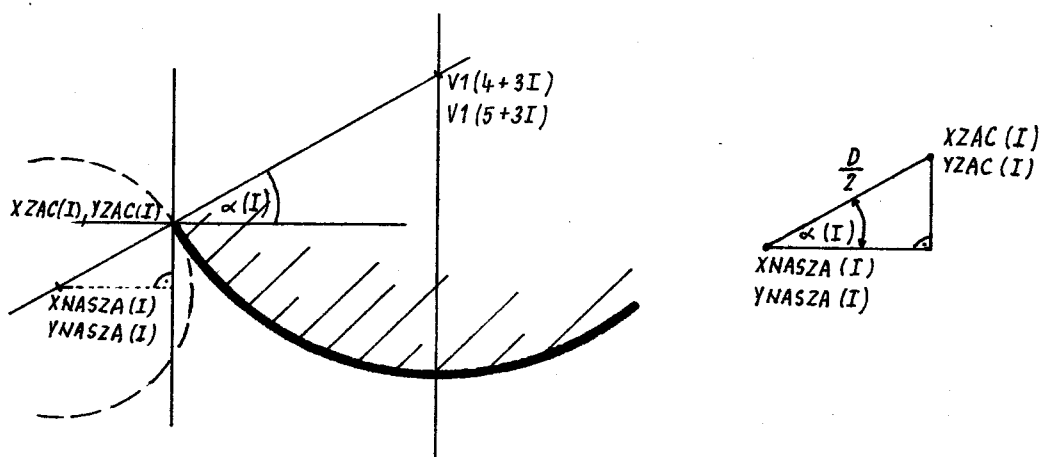


$$R(I) = \sqrt{V1(4+3I) - XZAC(I)}^2 + \sqrt{V1(5+3I) - YZAC(I)}^2$$

#### 4.2.10. Výpočet počátečního bodu dráhy nástroje - kružnice.

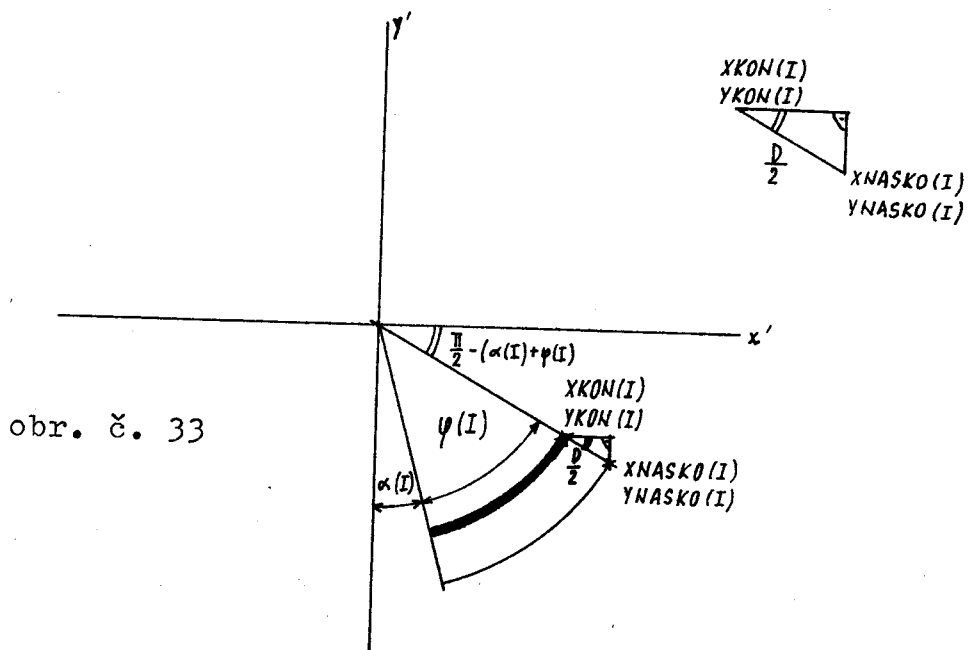
$$XNASZA(I) = XZAC(I) - \frac{D}{2} \cos \alpha(I)$$

$$YNASZA(I) = YZAC(I) - \frac{D}{2} \sin \alpha(I)$$



obr. č. 32

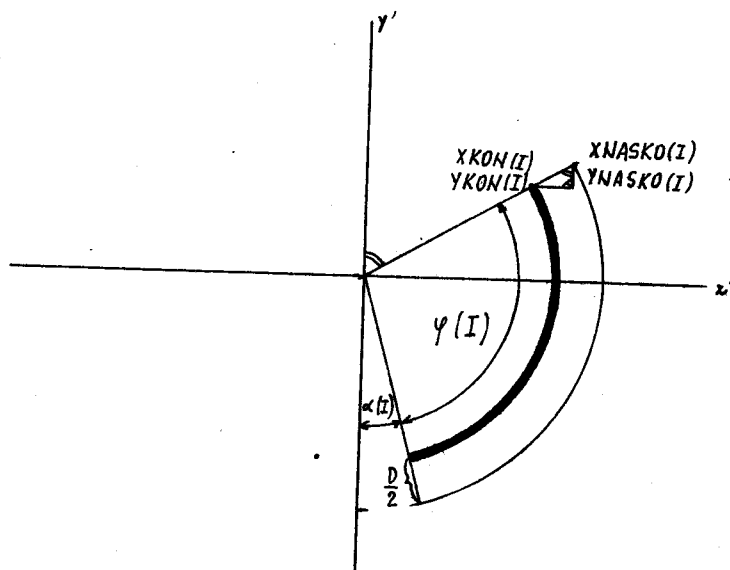
4.2.11. Výpočet konečného bodu dráhy nástroje - kružnice.



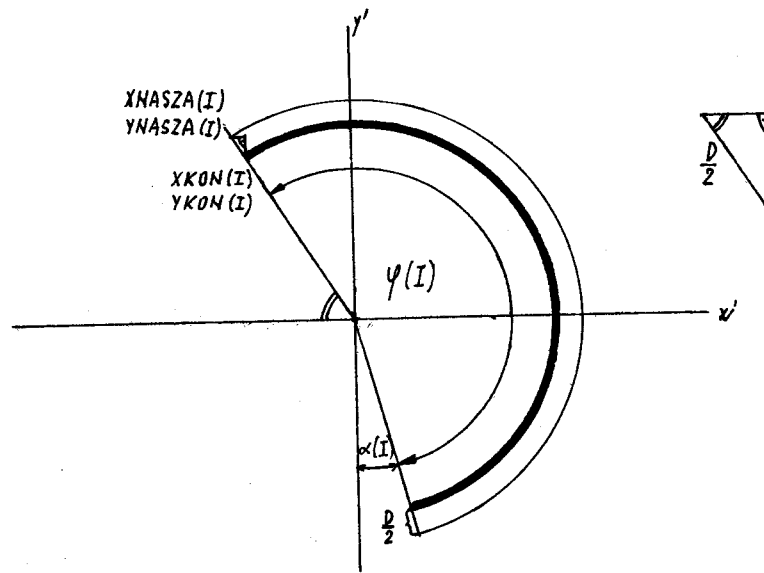
obr. č. 33

$$XNASKO(I) = XKON(I) + \frac{D}{2} \frac{XROBL(I)}{ROBL(I)}$$

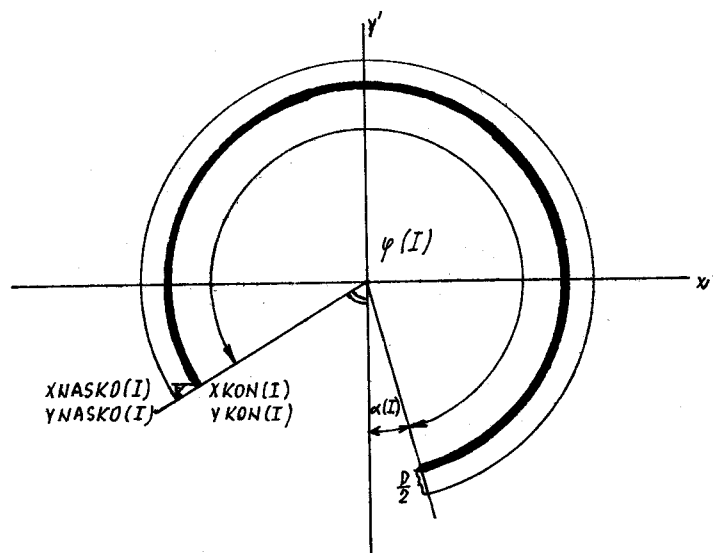
$$YNASKO(I) = YKON(I) + \frac{D}{2} \frac{YROBL(I)}{ROBL(I)}$$



obr. č. 34



obr. č. 35

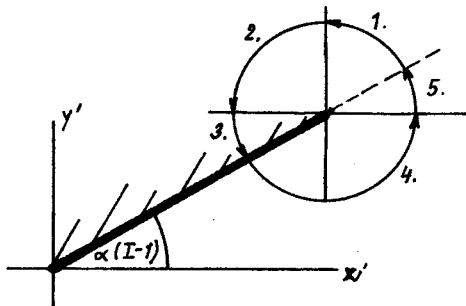


obr. č. 36



4.2.12. Výpočet bodů přejezdů nástroje.

1.  $0 \leq \alpha(I-1) \leq \frac{\pi}{2}$



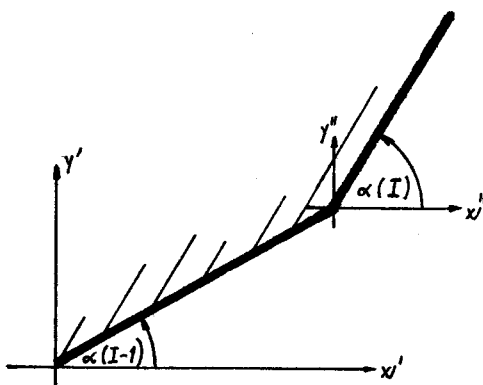
obr. č. 37

a/  $\alpha(I-1) \leq \alpha(I) \leq \frac{\pi}{2}$

1. krok:  $X_{NASZA}(I) = X_{NASKO}(I-1) + \frac{D}{2} / \sin \alpha(I) - \sin \alpha(I-1) /$

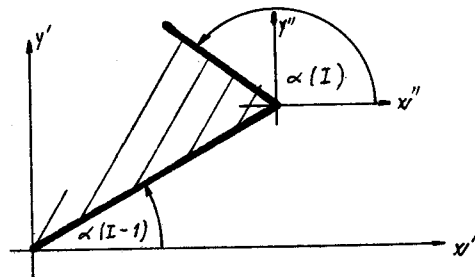
2. krok:  $Y_{NASZA}(I) = Y_{NASKO}(I-1) + \frac{D}{2} / \cos \alpha(I-1) + \sin(\alpha(I) - \frac{\pi}{2}) /$

obr. č. 38



$$b/ \frac{\pi}{2} \leq \alpha(I) \leq \pi$$

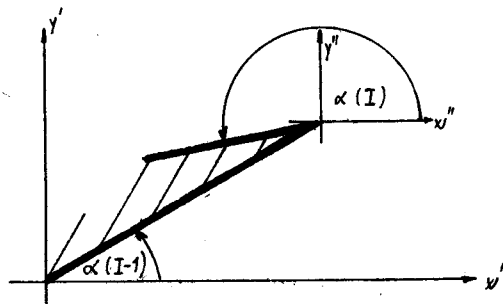
obr. č. 39



1. krok:  $XNASZA1(I) = XNASKO(I-1) + 0,6 D$
2. krok:  $YNASZA(I) = YNASKO(I-1) + \frac{D}{2} / \cos \alpha(I-1) + \sin(\alpha(I) - \frac{\pi}{2}) /$
3. krok:  $XNASZA2(I) = XNASZA1(I) - 0,6 D - \frac{D}{2} / \sin(\alpha(I) - \cos \alpha(I) - \frac{\pi}{2}) /$

$$c/ \pi \leq \alpha(I) \leq \pi + \alpha(I-1)$$

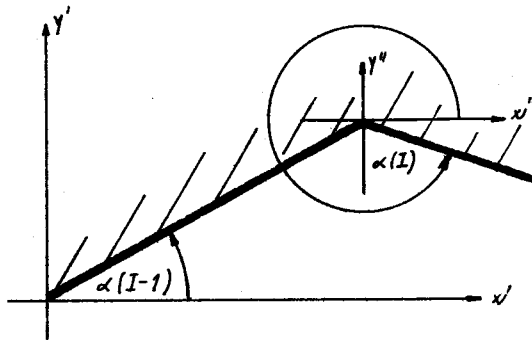
1. krok:  $XNASZA1(I) = XNASKO(I-1) + 0,6 D$
2. krok:  $YNASZA1(I) = YNASKO(I-1) + 0,6 D + \frac{D}{2} \cos \alpha(I-1)$
3. krok:  $XNASZA2(I) = XNASZA1(I) - 0,6 D - \frac{D}{2} / \sin \alpha(I-1) - \sin \alpha(I) - \pi /$
4. krok:  $YNASZA2(I) = YNASZA1(I) - / 0,6 D - \frac{D}{2} \cos(\alpha(I) - \pi /$



obr. č. 40

$$d/ \frac{3}{2} \pi + \alpha(I-1) \leq \alpha(I) \leq \alpha(I-1)$$

obr. č. 41

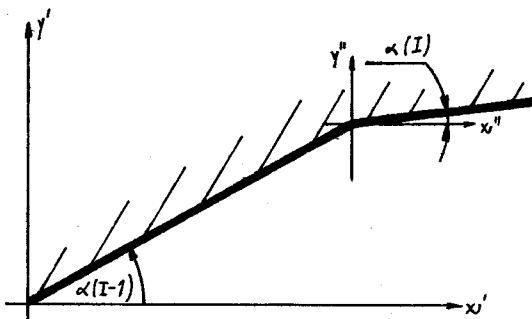


- v tomto případě by fréza obrobila profil ve tvaru oblouku

$$e/ \frac{3}{2} \pi + \alpha(I-1) \leq \alpha(I) \leq \alpha(I-1)$$

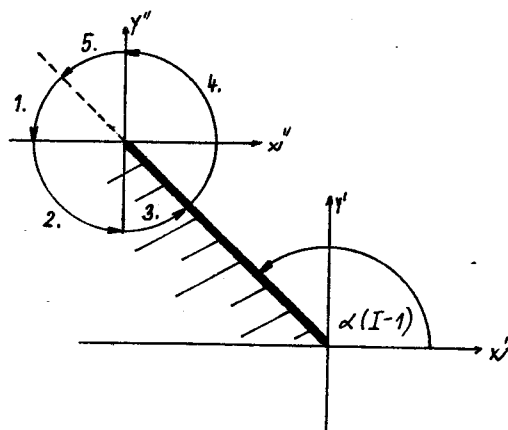
- oblast nulových přejezdů

obr. č. 42



$$2. \quad \pi \leq \alpha(I-1) \leq \frac{\pi}{2}$$

obr. č. 43



$$a/ \quad \alpha(I-1) + \frac{\pi}{2} \leq \alpha(I) \leq \pi$$

$$1. \text{ krok: } Y_{NASZA}(I) = Y_{NASKO}(I-1) + \frac{D}{2} / \sin \alpha(I) - \sin \alpha(I-1) /$$

$$2. \text{ krok: } X_{NASZA}(I) = X_{NASKO}(I-1) + \frac{D}{2} / \cos \alpha(I-1) + \sin(\alpha(I) - \frac{\pi}{2}) /$$

$$b/ \quad \pi \leq \alpha(I) \leq \frac{3}{2}\pi$$

$$1. \text{ krok: } Y_{NASZA1}(I) = Y_{NASKO}(I-1) + 0,6 D$$

$$2. \text{ krok: } X_{NASZA}(I) = X_{NASKO}(I-1) + \frac{D}{2} / \cos \alpha(I-1) + \sin(\alpha(I) - \frac{\pi}{2}) /$$

$$3. \text{ krok: } Y_{NASZA2}(I) = Y_{NASZA1}(I) - 0,6 D - \frac{D}{2} / \sin \alpha(I-1) - \cos(\alpha(I) - \frac{\pi}{2}) /$$

$$c/ \quad \frac{3}{2}\pi \leq \alpha(I) \leq \frac{3}{2}\pi + \alpha(I-1)$$

$$1. \text{ krok: } Y_{NASZA1}(I) = Y_{NASKO}(I-1) + 0,6 D$$

$$2. \text{ krok: } X_{NASZA1}(I) = X_{NASKO}(I-1) + 0,6 D + \frac{D}{2} \cos \alpha(I-1)$$

$$3. \text{ krok: } Y_{NASZA2}(I) = Y_{NASZA1}(I) - 0,6 D - \frac{D}{2} / \sin \alpha(I-1) - \sin(\alpha(I) - \pi) /$$

$$4. \text{ krok: } X_{NASZA2}(I) = X_{NASZA1}(I) - (0,6 D - \frac{D}{2} \cos(\alpha(I) - \pi) /$$

$$d/ \quad \frac{3}{2}\pi + \alpha(I-1) \leq \alpha(I) \leq \alpha(I-1)$$

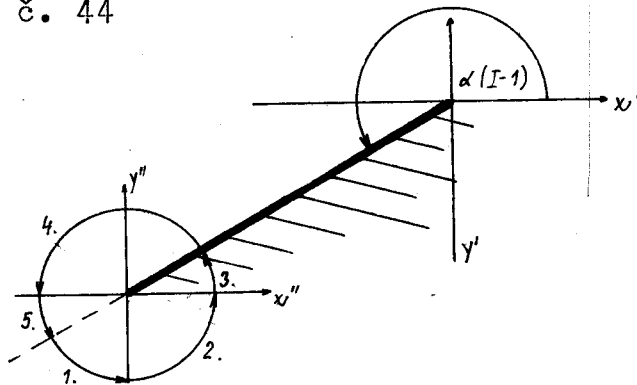
- stejné podmínky jako u 1d.

$$e/ \quad \alpha(I-1) \leq \alpha(I) \leq \frac{\pi}{2} + \alpha(I-1)$$

- stejné podmínky jako u 1e.

$$3. \frac{\pi}{2} \leq \alpha(I-1) \leq \frac{3\pi}{2}$$

obr. č. 44



$$a/ \alpha(I-1) \leq \alpha(I) \leq \frac{3\pi}{2}$$

- stejné podmínky a vztahy jako u 1a.

$$b/ \frac{3\pi}{2} \leq \alpha(I) \leq 2\pi$$

- stejné podmínky a vztahy jako u 1b.

$$c/ 0 \leq \alpha(I) \leq \alpha(I-1) - \pi$$

- podmínky a vztahy stejné jako u 1c.

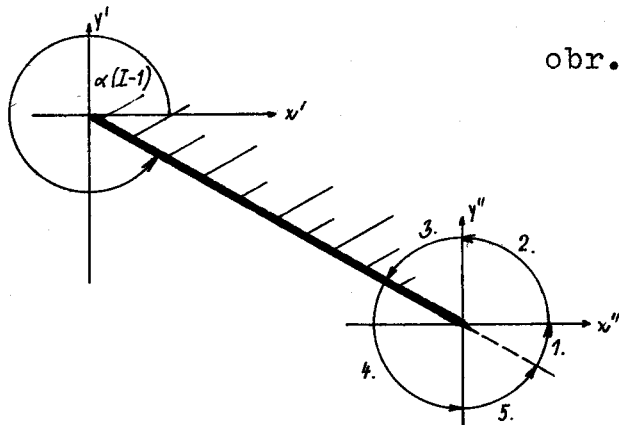
$$d/ \alpha(I-1) - \pi \leq \alpha(I) \leq \alpha(I-1) - \frac{\pi}{2}$$

- podmínky a vztahy stejné jako u 1d.

$$e/ \alpha(I-1) - \frac{\pi}{2} \leq \alpha(I) \leq \alpha(I-1)$$

- podmínky a vztahy stejné jako u 1e.

$$4. \frac{3\pi}{2} \leq \alpha(I-1) \leq 2\pi$$



obr. č. 45

a/  $\alpha(I-1) \leq \alpha(I) \leq 2\pi$

- podmínky a vztahy jsou stejné jako u 2a.

b/  $0 \leq \alpha(I) \leq \frac{\pi}{2}$

- podmínky a vztahy jsou stejné jako u př. 2b.

c/  $\frac{\pi}{2} \leq \alpha(I) \leq \alpha(I-1) - \pi$

- podmínky a vztahy stejné jako u př. 2c.

d/  $\alpha(I-1) - \pi \leq \alpha(I) \leq \alpha(I-1) - \frac{\pi}{2}$

- podmínky jsou stejné jako u př. 1d.

e/  $\alpha(I-1) - \frac{\pi}{2} \leq \alpha(I) \leq \alpha(I-1)$

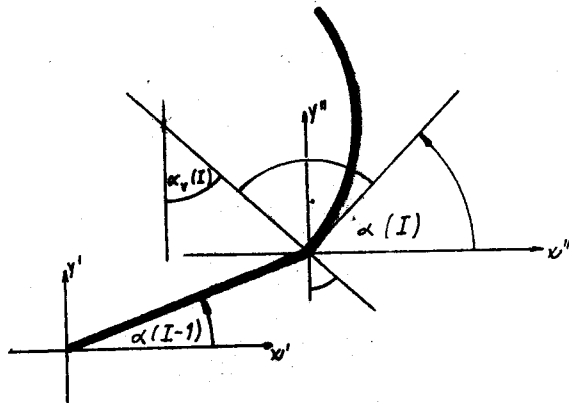
- podmínky jsou stejné jako u př. 1e.

5. Body přejezdu u kružnice:

Postup řešení je shodný jako u případu dvou přímek. V případě kružnice nahrazuje přímkou tečna v bodě XKON(I-1), YKON(I-1).

a/ Přímka - kružnice.

obr. č. 46

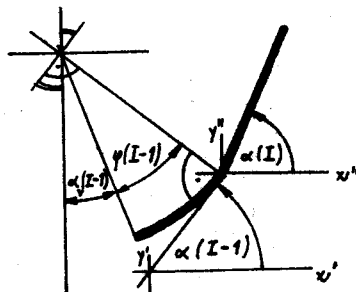


$$\alpha(I) = \alpha(I)_{\dot{v}} + \frac{\pi}{2}$$

b/ Kružnice - přímka.

$$\alpha(I-1) = \alpha_v(I-1) + \varphi(I-1) + \frac{\pi}{2}$$

obr. č. 47

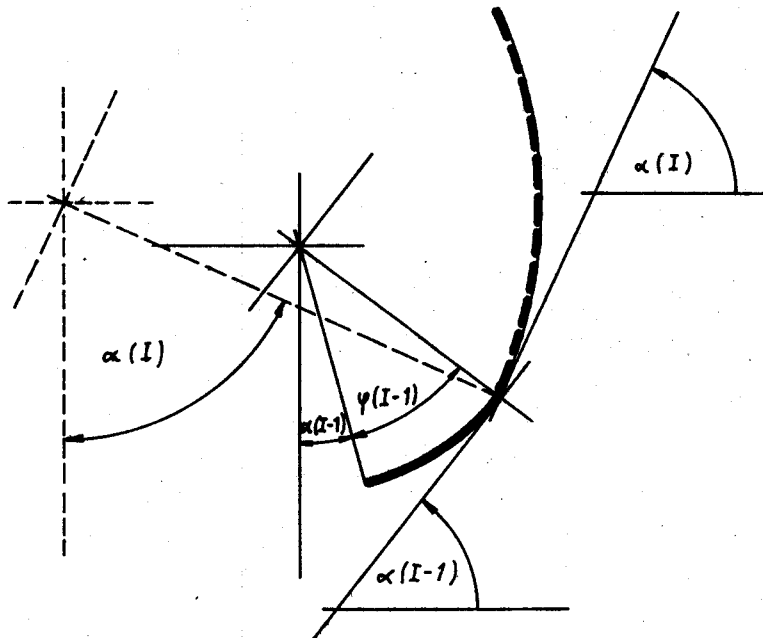


c/ Kružnice - kružnice.

$$\alpha(I-1) = \alpha(I-1)_V + \varphi(I-1) + \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha(I) = \alpha(I)_V + \frac{\pi}{2}$$

obr.č.48





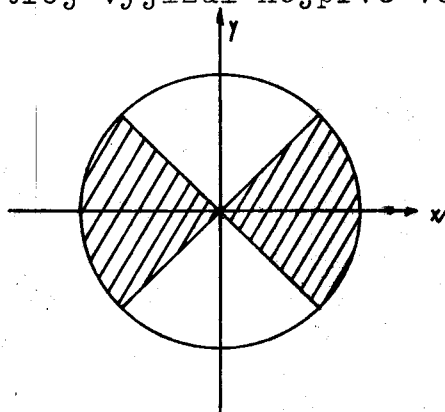
4.2.13. Výpočet  $x$ ,  $y$  pro skloněnou přímku - v závislosti na dané drsnosti povrchu obrobku.

a/ Jestliže výchozí úhel  $\alpha(I)$  leží v intervalech:

$$\frac{7\pi}{4} \leq \alpha(I) \leq \frac{\pi}{4}$$

$$\frac{3\pi}{4} \leq \alpha(I) \leq \frac{5\pi}{4}$$

-potom nástroj vyjíždí nejprve ve směru osy  $x$



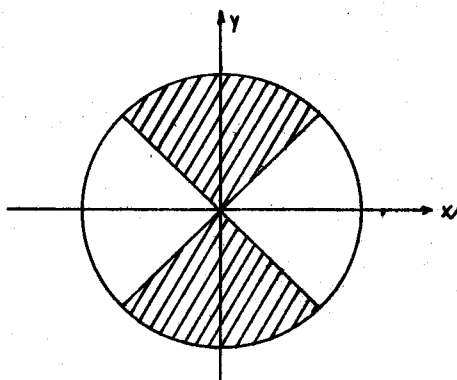
obr.č.49

b/ Jestliže výchozí úhel  $I$  leží v intervalech:

$$\frac{\pi}{4} \leq \alpha(I) \leq \frac{3\pi}{4}$$

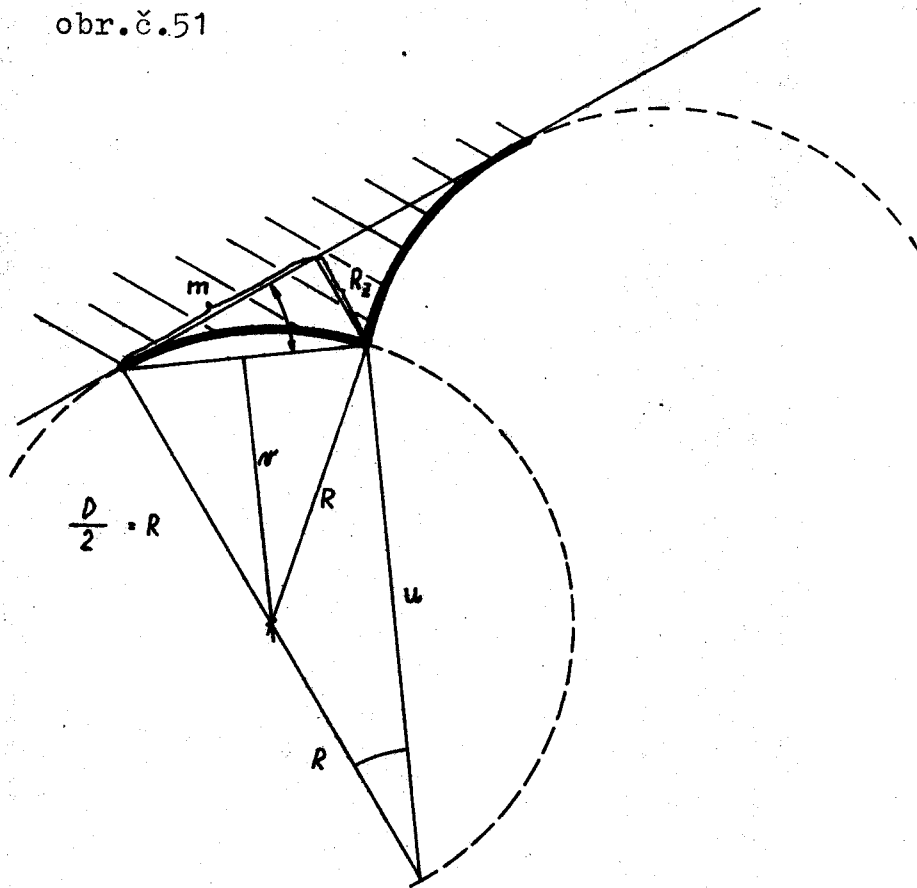
$$\frac{5\pi}{4} \leq \alpha(I) \leq \frac{7\pi}{4}$$

obr.č.50



- potom nástroj vyjíždí nejprve ve směru osy  $y$ .

obr.č.51



$$m^2 + R^2 = v^2$$

$$v^2 + u^2 = 4R^2$$

$$\frac{R_z}{m} = \frac{v}{u} \quad \rightarrow \quad u = \frac{mv}{R_z}$$

$$v^2 + \frac{m^2 v^2}{R_z^2} = 4R^2$$

$$v^2 / 1 + \frac{m^2}{R_z^2} = 4R^2$$

$$m^2 + R_z^2 = \frac{4R^2}{1 + \frac{m^2}{R_z^2}}$$

$$(m^2 + R_z^2) \left( 1 + \frac{m^2}{R_z^2} \right) = 4R^2$$

$$\frac{m^4}{R_z^2} + 2m^2 + R_z^2 = 4R^2$$

$$m^4 + 2m^2 R_z^2 + R_z^4 = 4R^2 R_z^2$$

$$(m^2 + R_z^2)^2 = 4R^2 R_z^2$$

$$m_{1,2}^2 = \pm \sqrt{4R^2 R_z^2} - R_z^2 = \pm 2\sqrt{R^2 R_z^2} - R_z^2$$

$$m = \sqrt{2RR_z - R_z^2}$$

$$m = \sqrt{DR_z - R_z^2}$$

Počet kroků při opracování:

$$PK = \frac{\text{délka úsečky}}{2\sqrt{DR_z - R_z^2}} + 1$$

Výpočet jednotlivých posuvů ve směru osy x,y:

$$\Delta x = \frac{XNASKO(I) - XNASZA(I)}{PK}$$

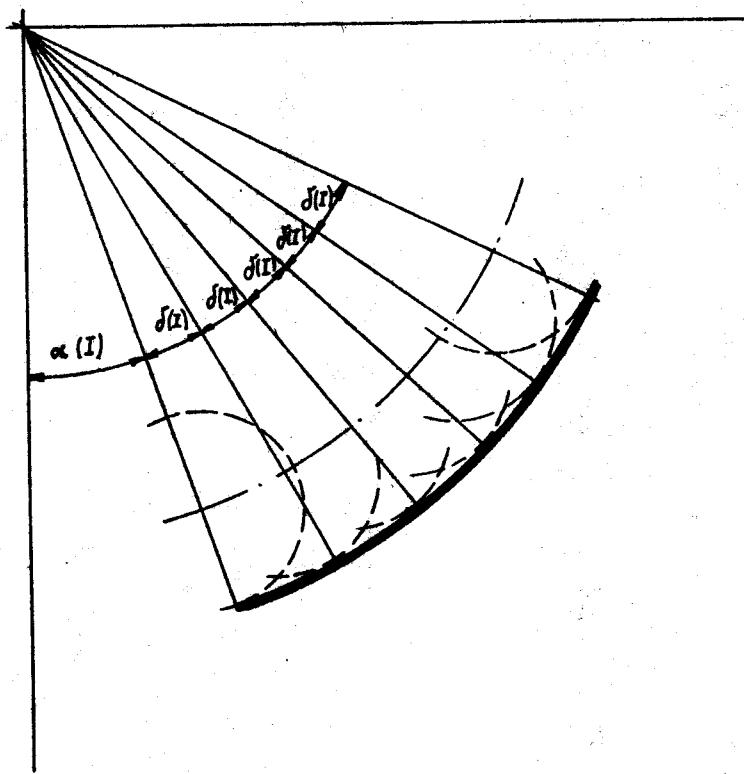
$$\Delta y = \frac{YNASKO(I) - YNASZA(I)}{PK}$$

4.2.14. Výpočet  $x, y$  pro oblouk - v závislosti na drsnosti povrchu obrobku.

U výpočtu  $x, y$  pro oblouk platí stejné podmínky, zda výchozí úhel  $\alpha(I)$  leží v daných intervalech.

a/ Opracování vnitřní kružnice.

obr.č.52



$$\left(R - \frac{D}{2}\right)^2 + (R - R_z)^2 - 2 \cos \frac{\delta}{2} \left(R - \frac{D}{2}\right)(R - R_z) = \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$\cos \frac{\delta}{2} = \frac{\left(R - \frac{D}{2}\right)^2 + (R - R_z)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}{2 \left(R - \frac{D}{2}\right)(R - R_z)}$$

$$\cos \frac{\delta}{2} = \frac{\left(1 - \frac{D}{2R}\right)^2 + \left(1 - \frac{R_z}{R}\right)^2 - \left(\frac{D}{2R}\right)^2}{2\left(1 - \frac{D}{2R}\right)\left(1 - \frac{R_z}{R}\right)} =$$

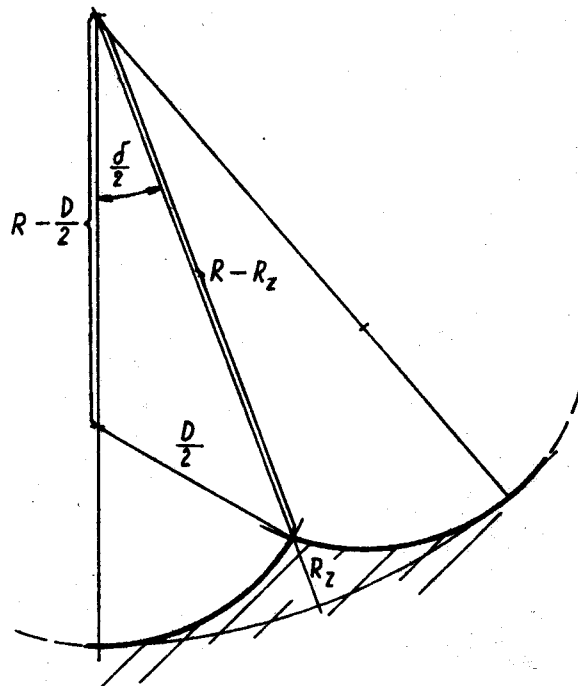
$$= \frac{1 - \frac{D}{R} + \frac{D^2}{4R^2} + 1 - 2\frac{R_z}{R} + \left(\frac{R_z}{R}\right)^2 - \frac{D^2}{4R^2}}{2\left(1 - \frac{D}{2R}\right)\left(1 - \frac{R_z}{R}\right)} =$$

$$= \frac{\left(1 - \frac{D}{R}\right) + 1 - R_z\left(\frac{2}{R} + \frac{R_z}{R^2}\right)}{2\left(1 - \frac{D}{2R}\right)\left(1 - \frac{R_z}{R}\right)} = \frac{\left(1 - \frac{D}{R}\right) + \left(1 - \frac{R_z}{R}\right)^2}{2\left(1 - \frac{D}{2R}\right)\left(1 - \frac{R_z}{R}\right)}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\delta}{2} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \frac{\delta}{2}}}{\cos \frac{\delta}{2}}$$

$$\delta = 2 \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \frac{\delta}{2}}}{\cos \frac{\delta}{2}}$$

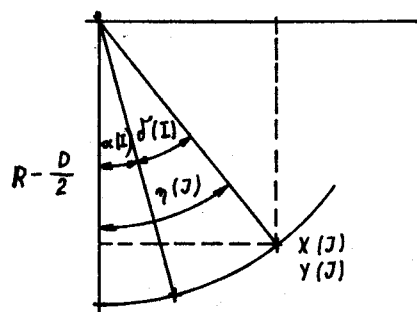
obr.č.53



$$\eta(J) = \alpha(I) + J d(I)$$

$$X(J) = V_1(4+3I) + \left(R + \frac{D}{2}\right) \sin \eta(J)$$

$$Y(J) = V_1(5+3I) + \left(R - \frac{D}{2}\right) \cos \eta(J)$$

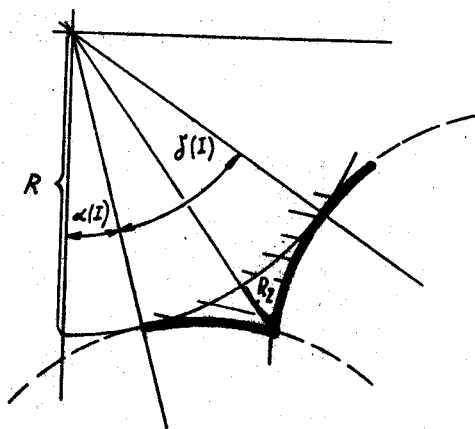


obr.č.54

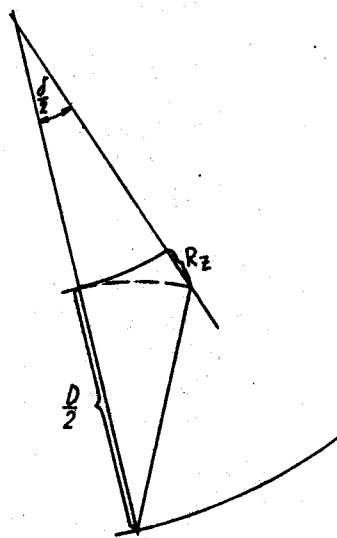
b/ Opracování vnější kružnice.

$$\left(R + \frac{D}{2}\right)^2 + (R + R_z)^2 - 2 \cos \frac{\delta}{2} \left(R + \frac{D}{2}\right)(R + R_z) = \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

obr.č.55



obr.č.56



$$\cos \frac{\delta}{2} = \frac{\left(R + \frac{D}{2}\right)^2 + (R + R_z)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}{2 \left(R + \frac{D}{2}\right)(R + R_z)}$$

$$\cos \frac{\delta}{2} = \frac{\left(1 + \frac{D}{R}\right) + \left(1 + \frac{R_z}{R}\right)^2}{2 \left(1 + \frac{R_z}{R}\right) \left(1 + \frac{D}{2R}\right)}$$

$$\delta = 2 \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \frac{\delta}{2}}}{\cos \left(\frac{\delta}{2}\right)}$$

Počet kroků při opracování kružnice:

$$PK = \frac{\varphi(I)}{\delta(I)} + 1$$

Souřadnice bodu, do kterého se posune střed nástroje:

$$X(J) = V_1(4+3I) + \left(R + \frac{D}{2}\right) \sin \gamma(J)$$

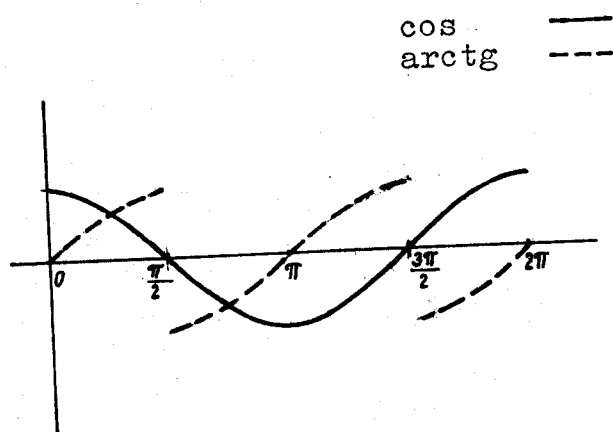
$$Y(J) = V_1(5+3I) + \left(R + \frac{D}{2}\right) \cos \gamma(J)$$

$$\gamma(J) = \alpha(I) + J \delta(I)$$



Podmínky:

obr.č.57



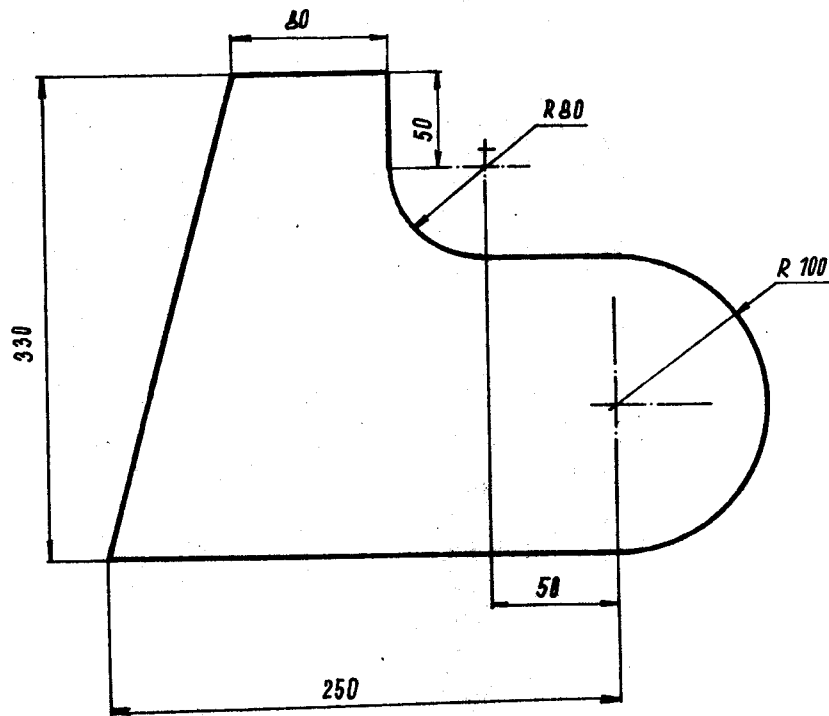
$$\begin{array}{ll} \cos \alpha(I) > 0 & \text{a} \quad \arctg \alpha(I) > 0 \quad \rightarrow \alpha(I) = \alpha(I) \\ \cos \alpha(I) < 0 & \text{a} \quad \arctg \alpha(I) < 0 \quad \rightarrow \alpha(I) = |\alpha(I)| + \frac{\pi}{2} \\ \cos \alpha(I) < 0 & \text{a} \quad \arctg \alpha(I) > 0 \quad \rightarrow \alpha(I) = \alpha(I) + \pi \\ \cos \alpha(I) > 0 & \text{a} \quad \arctg \alpha(I) < 0 \quad \rightarrow \alpha(I) = \alpha(I) + \frac{3\pi}{2} \end{array}$$

3. Program bočního frézování pro počítač.

- viz příloha 2

Kontrolní příklad:

obr.č.58



Výpočet - viz příloha č.3

#### IV. Základní rysy postprocesoru pro řídicí systém NC 470.

Postprocesor: je program, který zpracovává data vygenerovaná procesorem do formy srozumitelné konkrétnímu řídicímu systému číslicově řízeného stroje.

Vzhledem ke kapacitě uživatelské paměti minipočítačů /PDP 11, SMEP, SAPI/ se postprocesor řídicího systému NC 470 skládá z několika programových segmentů, které spolu navzájem spolupracují. Programy postprocesoru jsou uloženy na uživatelské disketě nebo disku. Geometrická a technologická data jsou na disku uložena v datovém souboru se sekvenčním přístupem.

Program má kořenový segment, který vyvolává 5 podprogramů:

##### 1. podprogram umožňuje dialog.

- Ptá se na jméno souboru vstupních dat uložených na disku /nebo jiném magnet. zařízení/. Soubor obsahuje geometrii i technologická data. Je vytvořen jako sekvenční soubor.

Podmínky jsou uloženy vstupním programem.

- Dále následuje otázka, jaké jméno má mít výstupní soubor. Výstupní soubor je program ve strojovém jazyce.

- Další otázkou je rozložení nástrojů /- z důvodu vyvážení zásobníku nástrojů - rovnoměrné rozdělení/.

- Dále se počítač ptá na korekce. Díky korekcím můžeme použít stejného programu např. pro různé délky vrtáků.

První korekce - přiblížení k materiálu.

Druhá korekce - zajetí do materiálu.

Každý nástroj může mít čtyři korekce. Počítač se táže, zda volíme dvě korekce, po záporné odpovědi, zda volíme jednu korekci. Jestliže obdrží opět zápornou odpověď, předkládá jeden nástroj po druhém.

Nakonec do výstupního souboru uloží program ve strojovém kódu. Program zobrazí na obrazovce úplnou výčetku nástrojů jak s umístěním nástrojů v zásobníku, tak i čísla korekcí. Následuje otázka, zda programátor s programem souhlasí a chce-li program vytisknout na tiskárně.

2. Podprogram pro vrtání
3. Podprogram pro čelní frézování
4. Podprogram pro obvodové /boční/ frézování
5. Převádění souboru /strojového programu/ z kódu ASCII do kódu ISO. /Kód ASCII - jedna ze standardních reprezentací znaků při záznamu dat/. Tento převod je nutný z toho důvodu, že používaný řídicí systém v n.p. LIAZ je programován v kódu ISO.

Program dále obsahuje několik chybových hlášení.

- Např. - pokud v souboru není uveden nástroj
- pokud při závitování jsou uvedeny příliš vysoké otáčky
  - pokud při čelním frézování je zadán pracovní posuv stolem i vřeteníkem současně
  - pokud ve vstupním souboru jsou zadány chybné korekce.

Program umožňuje také změnu horizontu a automatické "výplachy" při vrtání a je postprocesorem sestavován stavebnicově z jednotlivých bloků.

Celý systém je velice jednoduchý a snadno pochopitelný pro obsluhu.

## Závěr.

Oblast použití číslicově řízených obráběcích strojů je velmi široká. O výhodnosti jejich použití rozhoduje mnoho technických, ekonomických i organizačních činitelů /jako např. složitost obrobku, požadavky na jeho přesnost a opakovatelnost, obměny výrobního programu, počet strojů ve výrobním podniku a jeho organizace, stupeň využití strojů, možnosti tvorby programů apod./.

Při nasazování NC výrobní techniky do výrobního procesu strojírenských závodů a podniků je nutné všechny otázky efektivního využití techniky NC strojů řešit systémovým přístupem v souladu s rozvojovou koncepcí podniků. To znamená -  
- připravit nasazení NC obráběcích strojů včetně přípravy pracovníků, organizačně zabezpečit vysoké kapacitní využití NC strojů, zajistit účast pracujících v období přípravy i realizace nasazení strojů apod. Příznivé podmínky pro efektivní využití NC obráběcích strojů je možné vytvořit pouze kompletní přípravou, která zabezpečí vhodnou organizaci práce, účinný systém řízení výroby, plynulý přísun materiálu a přiměřenou technologickou připravenost.

Vybavení výroby obráběcími stroji s číslicovým řízením přináší tyto výhody - zvýšení produktivity práce, zkrácení ztrátových časů mezi jednotlivými operacemi, snadnou obměnu výrobního programu, umožňuje současnou obsluhu několika strojů, větší přesnost práce, při výrobě je takřka vyloučen lidský faktor, který do výroby vnáší nespolehlivost, nepřesnosti a podléhá mnoha vlivům apod.

Automatizace NC programování přispívá ke zvýšení efektivnosti a využití číslicově řízených obráběcích strojů. Její přínosy jsou - ve snížení počtu programátorů

- podstatném zkrácení doby potřebné na odladění NC programů na stroji a tím i zlepšení jejich celkového časového využití
- odstranění prostojů NC strojů z nedostatku řídicích programů
- v operativnosti při náběhu změn
- v odstranění děrování programu na černé pásce apod.

Cílem diplomové práce bylo provést analýzu a vytvořit program pro obvodové /boční/ frézování na obráběcím centru C-BKoz 1400 s pravoúhlým řídicím systémem NC 470.

V první části diplomové práce jsem se zabývala základními otázkami a pojmy číslicově řízených obráběcích strojů a jejich řídicích systémů, dále současným stavem techniky a jejími vývojovými směry. Dalšími body první části je porovnání ručního a strojního programování číslicově řízených obráběcích strojů a uvedení základních pojmů o některých programovacích jazycích pro strojní programování. Poslední kapitola první části tvoří stav techniky a její využívání v ČSSR.

Druhá část diplomové práce obsahuje vlastní analýzu a program pro boční frézování na uvedeném obráběcím centru.

V poslední části diplomové práce jsem se snažila vyjádřit základní rysy a funkce postprocesoru pro řídicí systém NC 470.

Vypracováním diplomové práce mohl být uzavřen čtvrtý podprogram postprocesoru - podprogram pro boční frézování.

Na závěr bych chtěla poděkovat prof. ing. B. Hanušovi, DrSc a ing. Janu Kulhánkovi za cenné rady a připomínky, které mi poskytovali při řešení této práce.

Seznam použité literatury:

- /1/ Bohumil Vlach: Technologie obrábění na číslicově řízených strojích  
SNTL Praha 1982
- /2/ Ladislav Šmejkal: Kurs číslicového řízení obráběcích strojů  
SNTL Praha 1980
- /3/ J. Follprecht - J. Zahradník: Řízení obráběcích strojů  
SNTL Praha 1979
- /4/ Josef Nedbal: Číslicově řízené obráběcí stroje  
SNTL Praha 1981
- /5/ Číslicové řízení obráběcích strojů - Sborník ČSVTS  
Praha 1968
- /6/ Programovo a číslicovo riadené obrábacie stroje -  
- Bratislava 1976 - Sborník SVTS
- /7/ Automatizace inženýrsko-technických prací v útvarech  
technologické přípravy výroby - Sborník ČSVTS  
- Ostrava 1983
- /8/ Použití počítačů pro programování NC strojů -  
- Praha 1984 - Sborník ČSVTS
- /9/ Numericky řízené stroje - publikace pro vnitřní  
potřebu n.p. ZPS Gottwaldov 1973
- /10/ NC stroje z n.p. TOS Varnsdorf - sborník přednášek  
- Varnsdorf 1974

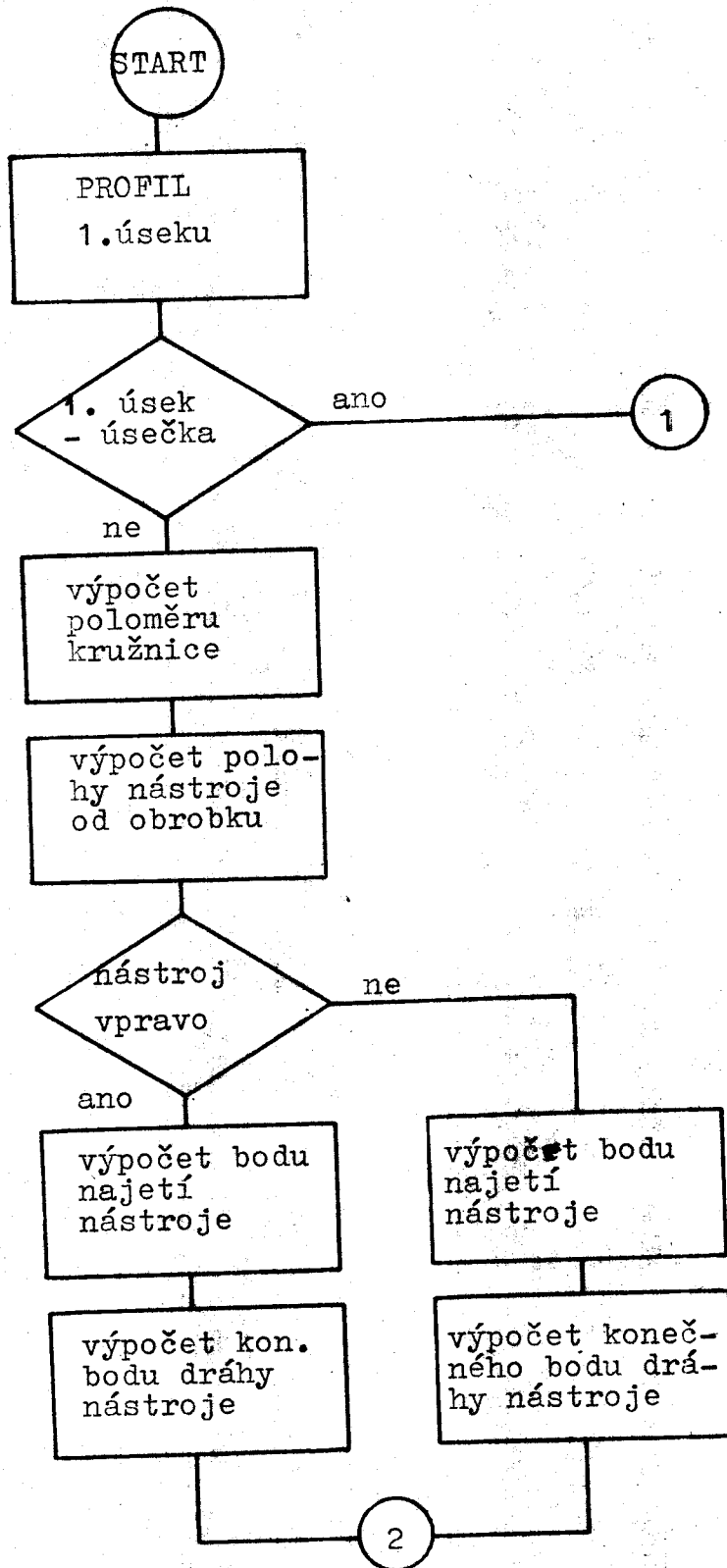


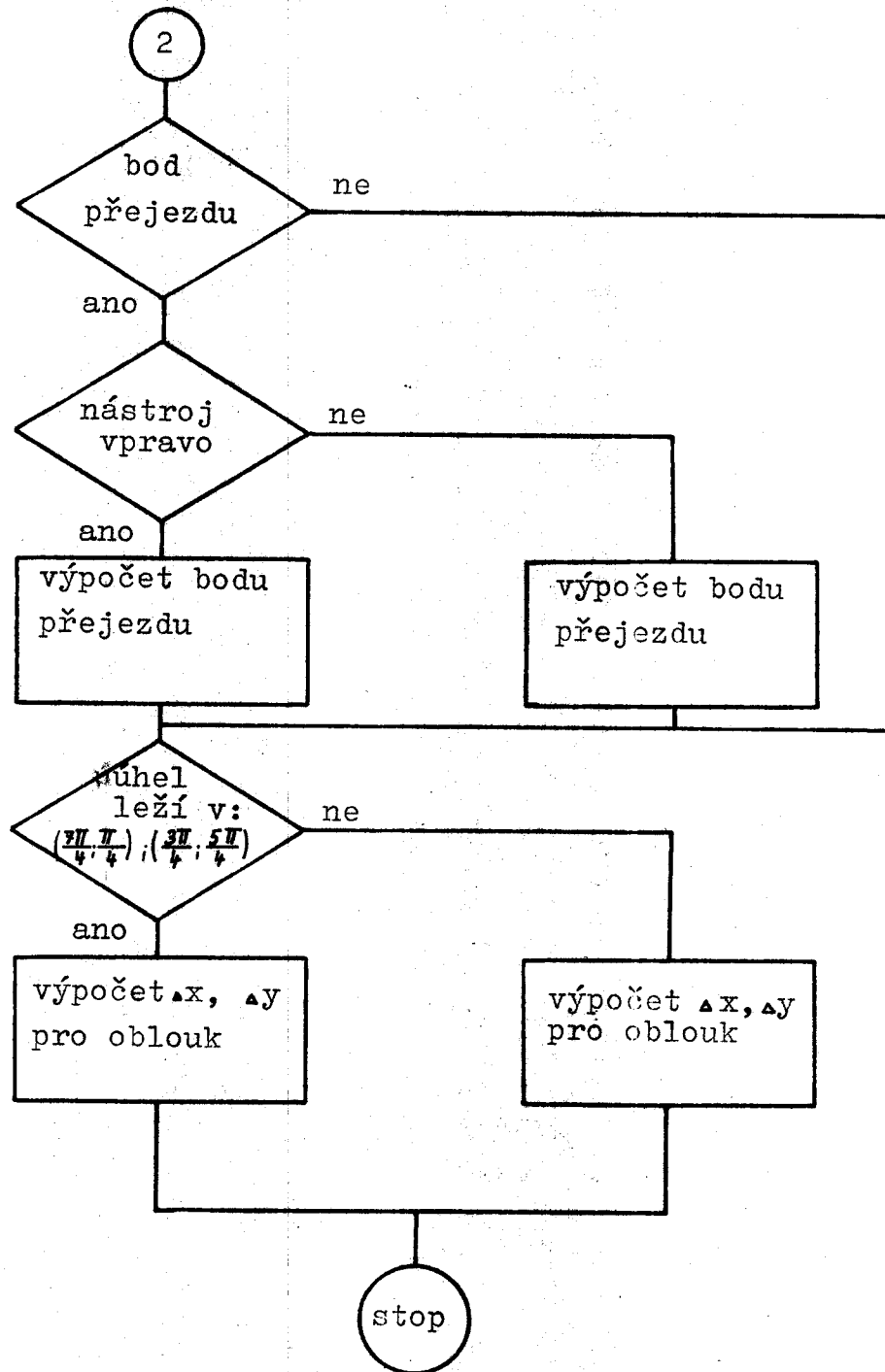
- /11/ P 6060 - Application Software Library/BASIC,  
Numerical Control Series, GTL/3,  
User Manual
- /12/ Jiří Vogel - Programování v jazyku FORTRAN  
SNTL Praha 1981
- /13/ Strojírenská výroba 28/1980 - časopis pracovníků  
ve strojírenství
- /14/ Strojírenská výroba 30/1982
- /15/ Strojírenská výroba 32/1984

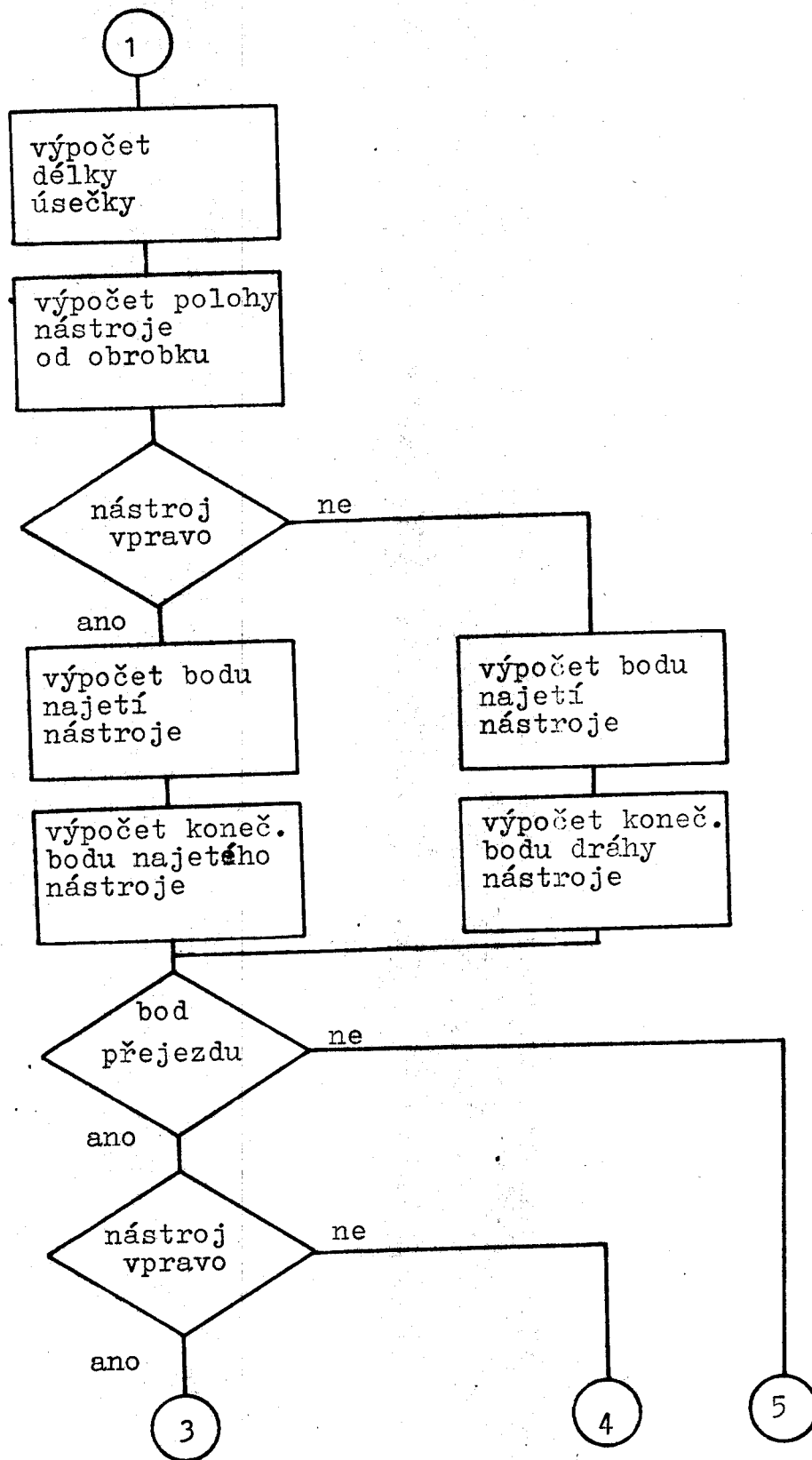
Seznam příloh:

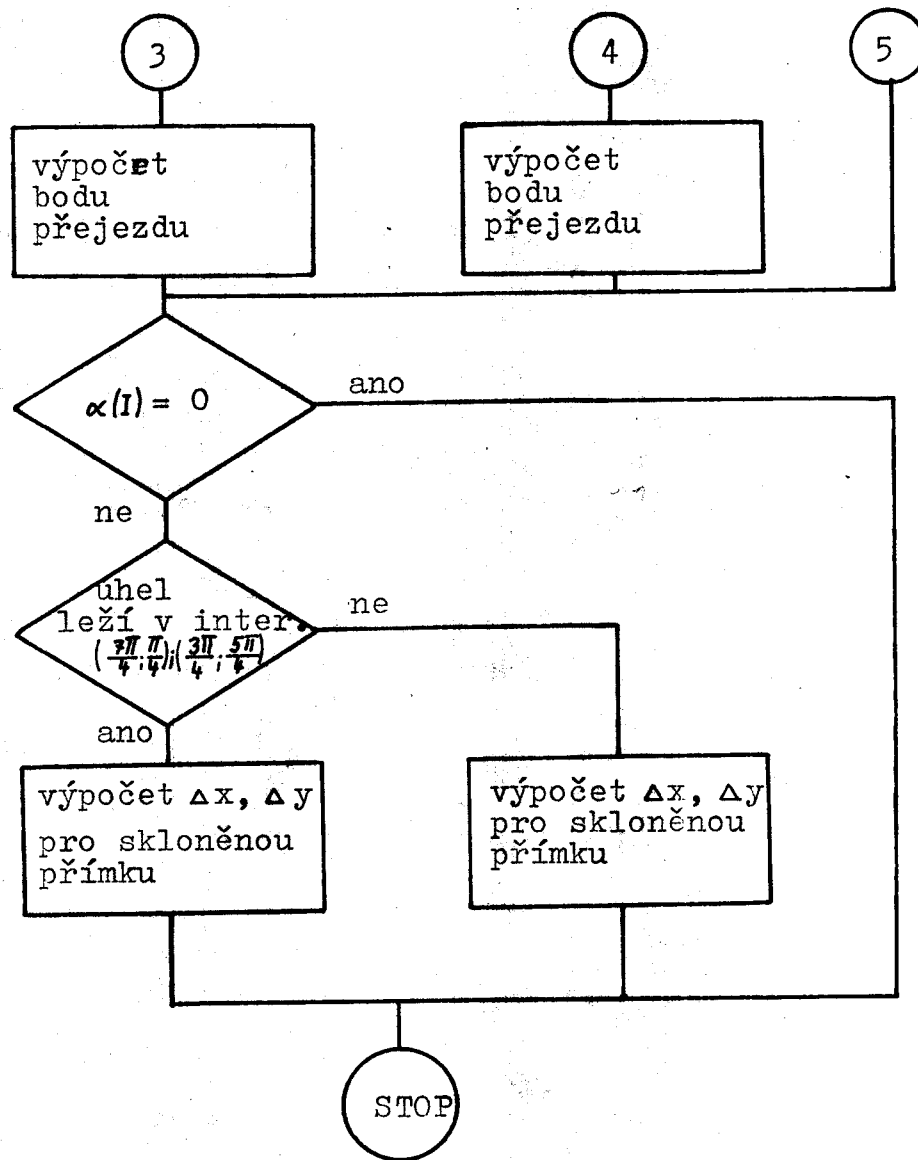
- Příloha č. 1            Blokové schema programu.
- Příloha č. 2            Program pro boční frézování.
- Příloha č. 3            Výpočet kontrolního příkladu.

Příloha č.1.









```

        INTEGER IV(6)
        DIMENSION V1(200), XZAC(30), YZAC(30), XKON(30), YKON(30),
X DELKA(30), CDelta(30), DELTA(30),
X ALFA(30), XNASZA(30), YNASZA(30), XNASKO(30),
X YNASKO(30), ROBL(30),
X FI(30), DY(30), R(30), DX(30), ETA(30),
X X(130), Y(130)
        INTEGER POCKR(30)
        LOGICAL*1 PRAVY, LEVY
        DATA PILOM, FI/0.017453293, 3.1415926/
1000  TYPE 1000
        FORMAT(' *POCET KROKU ? ')
        READ (5,*) IV(6)
2000  FORMAT(I8)
        TYPE 1001
1001  FORMAT(' *DRSNOST (MIKROMETRU) ? ')
        READ (5,*) DRS
        DRS=DRS*.004
2001  FORMAT(F16.5)
        TYPE 1002
1002  FORMAT(' MATICE ? ')
        DO 500 I=1, IV(6)*3+5
        TYPE 1003, I
1003  FORMAT(' *V( ', I2, ' ) ? ')
        READ (5,*) V1(I)
500   CONTINUE
        TYPE 1004
1004  FORMAT(' *PRUMER ? ')
        READ (5,*) D
        WRITE(6,3000) IV(6)
3000  FORMAT(' POCET KROKU : ', I3)
        WRITE(6,3001) DRS
3001  FORMAT(' DRSNOST : ', F10.5)
        WRITE(6,3002) D
3002  FORMAT(' PRUMER : ', F10.3)
        WRITE(6,3003) (V1(I), I=1, 5)
3003  FORMAT(' MATICE: ', 5F8.2)
        DO 3004 I1=1, IV(6)
3004  WRITE(6,3005) (V1(I), I=3*I1+3, 3*I1+5)
3005  FORMAT(3F10.2)
        IF (V1(6).NE.0) GOTO 1
        IF (((V1(1)-V1(4)-V1(8)+V1(5))*2+(V1(2)-V1(5)+V1(7)-V1(4))*2
X .GT. ((V1(1)-V1(4)+V1(8)-V1(5))*2+(V1(2)-V1(5)-V1(7)+V1(4))
X **2)) GOTO 2
        PRAVY=.TRUE.
        GOTO 3
1     IF (((V1(4)-V1(1))*2+(V1(5)-
X V1(2))*2).LT. ((V1(4)-V1(7))*2+(V1(5)-V1(8))*2)) GOTO 2
        PRAVY=.TRUE.
        GOTO 3
2     PRAVY=.FALSE.
3     IF (SQRT((V1(4)-V1(1))*2+(V1(5)-V1(2))*2).LT.D/2) STOP
4     DO 20 I=1, IV(6)
        XI=V1(4+3*I)
        YI=V1(5+3*I)
        IF (V1(3+3*I).NE.0) GOTO 10
        IF (I.EQ.1) GOTO 6
        XZAC(I)=XKON(I-1)
        YZAC(I)=YKON(I-1)
        GOTO 8
6     XZAC(I)=V1(4)
        YZAC(I)=V1(5)
8     XKON(I)=XI
        YKON(I)=YI
        DELKA(I)=SQRT((XZAC(I)-XKON(I))*2+(YZAC(I)-YKON(I))*2)

```

```

ALFA(I)=ATAN2((YKON(I)-YZAC(I)),(XKON(I)-XZAC(I)))
IF (PRAVY) D=-D
YNASZA(I)=YZAC(I)+(D*COS(ALFA(I)))/2
XNASZA(I)=XZAC(I)-(D*SIN(ALFA(I)))/2
YNASKO(I)=YKON(I)+(D*COS(ALFA(I)))/2
XNASKO(I)=XKON(I)-(D*SIN(ALFA(I)))/2
D=ABS(D)
GOTO 20
10 IF (I.GT.1) GOTO 17
XZAC(I)=V1(4)
YZAC(I)=V1(5)
GOTO 19
17 XZAC(I)=XKON(I-1)
YZAC(I)=YKON(I-1)
19 ROBL(I)=SQRT((XI-XZAC(I))**2+(YI-YZAC(I))**2)
TYPE 5019,ROBL(I)
5019 FORMAT(' ROBL ',F10.2)
16 ALFA(I)=ATAN2(YI-YZAC(I),XI-XZAC(I))
18 FI(I)=V1(3+3*I)*PILOM
XKON(I)=XI+ROBL(I)*COS(ALFA(I)+FI(I))
YKON(I)=YI-ROBL(I)*SIN(ALFA(I)+FI(I))
IF (I.GT.1) GOTO 9
XNASKO(0)=V1(4)
YNASKO(0)=V1(5)
9 IF (ROBL(I).LT.SQRT((XI-XNASKO(I-1))**2+
X (YI-YNASKO(I-1))**2)) D=-D
XNASZA(I)=XZAC(I)+.5*D*COS(ALFA(I))
YNASZA(I)=YZAC(I)+.5*D*SIN(ALFA(I))
XNASKO(I)=XKON(I)+.5*D*COS(ALFA(I)+FI(I))
YNASKO(I)=YKON(I)+.5*D*SIN(ALFA(I)+FI(I))
D=ABS(D)
20 CONTINUE
WRITE(6,1100)
1100 FORMAT(' XKON YKON DELKA XNASZA YNASZA XNASKO
X YNASKO ROBL ALFA ')
WRITE(6,1101) PRAVY
1101 FORMAT(2X,L3)
DO 501 I=1,IV(6)
501 WRITE(6,1102) XKON(I),YKON(I),DELKA(I),XNASZA(I),YNASZA(I),
X XNASKO(I),YNASKO(I),ROBL(I),ALFA(I)/PILOM
CALL CLOSE(6)
1102 FORMAT(10F8.2)
DO 100 I=1,IV(6)
IF (I.EQ.1) GOTO 69
IF (V1(3+3*I).NE.0.) GOTO 30
IF (XKON(I).EQ.XZAC(I)) GOTO 90
IF (YKON(I).EQ.YZAC(I)) GOTO 91
30 IF (XNASKO(I-1)-XNASZA(I).LT.DRS.AND.YNASKO(I-1)-YNASZA(I)
X .LT.DRS) GOTO 69
IF (PRAVY) GOTO 50
IF (V1(3+3*I).EQ.0.AND.V1(3*I).EQ.0) GOTO 31
GOTO 34
31 IF (ALFA(I-1).GT..5*PI) GOTO 21
IF ((ALFA(I).GT.ALFA(I-1)).AND.(ALFA(I).LT.(PI+ALFA(I-1))))
X STOP
IF (ALFA(I).GT.(PI+ALFA(I-1))) GOTO 23
D6=.6*D
22 CALL YSOUR1(YNASZA(I))
CALL XSOUR1(XNASZA(I))
GOTO 70
23 CALL YSOUR1(YKON(I-1)+D6)
CALL XSOUR1(XKON(I-1)+D6)
GOTO 22
21 IF (ALFA(I-1).GT.PI) GOTO 24
IF ((ALFA(I).GT.ALFA(I-1)).AND.(ALFA(I).LT.(PI+ALFA(I-1))))

```



```

X STOP
IF((ALFA(I).LT..5*PI).OR.(ALFA(I).GT.(ALFA(I-1)+PI)))
X GOTO 25
26 CALL XSOUR1(XNASZA(I))
CALL YSOUR1(YNASZA(I))
GOTO 70
25 CALL XSOUR1(XKON(I-1)-D6)
CALL YSOUR1(YKON(I-1)+D6)
GOTO 26
24 IF(ALFA(I-1).GT.(1.5*PI))GOTO 27
IF((ALFA(I).GT.ALFA(I-1)).OR.(ALFA(I).GT.(ALFA(I-1)
X -PI)))STOP
IF(ALFA(I).GT.PI)GOTO 22
28 CALL YSOUR1(XKON(I-1)-D6)
CALL XSOUR1(XKON(I-1)-D6)
GOTO 22
27 IF((ALFA(I).GT.ALFA(I-1).OR.(ALFA(I).LT.ALFA(I-1)
X -PI)))STOP
IF(ALFA(I).GT.1.5*PI)GOTO 26
29 CALL XSOUR1(XKON(I-1)+D6)
CALL YSOUR1(YKON(I-1)-D6)
GOTO 26
34 IF(V1(3+3*I).NE.0.AND.V1(3*I).NE.0)GOTO 40
IF(V1(3*I).NE.0)GOTO 35
ALFA(I)=ALFA(I)-.5*PI
IF(ALFA(I).LT.0)ALFA(I)=ALFA(I)+2*PI
GOTO 31
35 ALFA(I-1)=ALFA(I-1)+FI(I-1)-.5*PI
IF(ALFA(I-1).LT.0)ALFA(I-1)=ALFA(I-1)+2*PI
GOTO 31
40 ALFA(I)=ALFA(I)-.5*PI
ALFA(I-1)=ALFA(I-1)+FI(I-1)-.5*PI
GOTO 31
50 IF(V1(3+3*I).EQ.0.AND.V1(3*I).EQ.0)GOTO 51
GOTO 60
51 IF(ALFA(I-1).GT..5*PI)GOTO 52
IF(ALFA(I).LT.ALFA(I-1).OR.ALFA(I).GT.PI+ALFA(I-1))STOP
IF(ALFA(I).LT..5*PI)GOTO 26
53 CALL XSOUR1(XKON(I-1)+D6)
CALL YS(YKON(I-1)+D6)
GOTO 26
52 IF(ALFA(I-1).GT.PI)GOTO 54
IF(ALFA(I).LT.ALFA(I-1).OR.ALFA(I).GT.PI-ALFA(I-1))STOP
IF(ALFA(I).LT.PI)GOTO 22
55 CALL YSOUR1(YKON(I-1)+D6)
CALL XSOUR1(XKON(I-1)-D6)
GOTO 22
54 IF(ALFA(I).GT.1.5*PI)GOTO 56
IF(ALFA(I).LT.ALFA(I-1).AND.ALFA(I).GT.ALFA(I-1)-PI)STOP
IF(ALFA(I).LT.1.5*PI)GOTO 26
CALL XSOUR1(XKON(I-1)-D6)
CALL YSOUR1(YKON(I-1)-D6)
GOTO 26
56 IF(ALFA(I).LT.ALFA(I-1).AND.ALFA(I).GT.ALFA(I-1)-PI)STOP
IF(ALFA(I).GT.ALFA(I-1))GOTO 22
CALL YSOUR1(YKON(I-1)-D6)
CALL XSOUR1(XKON(I-1)+D6)
GOTO 22
60 IF(V1(3+3*I).NE.0.AND.V1(3*I).NE.0)GOTO 65
IF(V1(3*I).NE.0)GOTO 61
ALFA(I)=ALFA(I)-.5*PI
IF(ALFA(I).LT.0)ALFA(I)=ALFA(I)+2*PI
GOTO 51
61 ALFA(I-1)=ALFA(I-1)+FI(I-1)-.5*PI
IF(ALFA(I-1).LT.0)ALFA(I-1)=ALFA(I-1)+2*PI

```

```

GOTO 51
65 ALFA(I)=ALFA(I)-.5*PI
   IF (ALFA(I).LT.0)ALFA(I)=ALFA(I)+2*PI
   ALFA(I-1)=ALFA(I-1)+FI(I-1)-.5*PI
   IF (ALFA(I-1).LT.0)ALFA(I-1)=ALFA(I-1)+2*PI
   GOTO 51
69 IF (V1(6).NE.0)GOTO 80
   GOTO 71
70 IF (V1(3+3*I).NE.0)GOTO 80
71 POCKR(I)=INT (DELKA(I)/2*SQRT (D*DRS-DRS*DRS)+1.)
   DX(I)=(XNASKO(I)-XNASZA(I))/POCKR(I)
   DY(I)=(YNASKO(I)-YNASZA(I))/POCKR(I)
   IF ((ALFA(I).GT.PI/4.).AND.(ALFA(I).LT.3*PI
X /4.).OR.(ALFA(I).GT.5*PI/4.).AND.(ALFA(I).LT.7*PI/4.))
X GOTO 75
   GOTO 77
76 DO 72 J=1,POCKR(I)
   CALL YSOUR1 (YNASZA(I)+J*DY(I))
72 CALL XSOUR1 (XNASZA(I)+J*DX(I))
   GOTO 88
73 DO 74 J=1,POCKR(I)
   CALL XSOUR1 (XNASZA(I)+J*DX(I))
74 CALL YSOUR1 (YNASZA(I)+J*DY(I))
   GOTO 80
75 IF (PRAVY)GOTO 73
   GOTO 76
77 IF (PRAVY)GOTO 76
   GOTO 73
80 IF (ROBL(I).LT.SQRT ((V1(4+3*I)-XNASZA(I))**2+(V1(5+3*I)-YNASZA
X (I))**2))GOTO 81
   ROBL(I)=ROBL(I)-DRS/4.
   CDELTA(I)=(ROBL(I)*(ROBL(I)+D)+(ROBL(I)+DRS)**2)/
X ((2.*ROBL(I)+D)*(ROBL(I)+DRS))
   R(I)=ROBL(I)-.5*D
   GOTO 82
   ROBL(I)=ROBL(I)+DRS/4.
81 CDELTA(I)=(ROBL(I)*(ROBL(I)-D)+(ROBL(I)-DRS)**2)/
X ((2.*ROBL(I)-D)*(ROBL(I)-DRS))
   R(I)=ROBL(I)+.5*D
82 DELTA(I)=2*ATAN2 (SQRT (1-CDELTA(I)**2),CDELTA(I))
   POCKR(I)=INT ((FI(I)/DELTA(I))+1.)
83 DO 88 J=1,POCKR(I)
   ETA(J)=ALFA(I)+J*DELTA(I)
   X(J)=V1(4+3*I)+R(I)*SIN(ETA(J))
   Y(J)=V1(5+3*I)+R(I)*COS(ETA(J))
   IF ((ABS(X(J)-X(J-1)).GT.001).AND.
X (ABS(Y(J)-Y(J-1)).GT..001))GOTO 85
   IF ((ABS(X(J)-X(J-1)).GT.001).OR.
X (ABS(Y(J)-Y(J-1)).GT..001))GOTO 98
   TYPE 1005
1005 FORMAT (' DRSNOST PRILIS MALA, NOVA MODNOTA: ')
   READ(5,*)DRS
   DRS=DRS*.004
   GOTO 80
98 DO 97 K=J+1,100
   ETA(K)=ALFA(I)+K*DELTA(I)
   IF (K*DELTA(I).GT.FI(I))GOTO 88
   X(K)=V1(4+3*I)+R(I)*COS(ETA(K))
   Y(K)=V1(5+3*I)+R(I)*SIN(ETA(K))
   IF (ABS(X(K)-X(K-1)).GT..001.AND.ABS(Y(K)-Y(K-1)).GT.
X .001)GOTO 85
97 CONTINUE
85 IF ((ETA(J).LT.PI/4.).OR.(ETA(J).GT.3*PI/4.).AND.
X (ETA(J).LT.5*PI/4.).OR.(ETA(J).GT.7*PI/4.))GOTO 87
86 CALL XSOUR1 (X(J))

```

CALL YSOUR1(Y(J))  
GOTO 88  
87 CALL YSOUR1(Y(J))  
CALL XSOUR1(X(J))  
88 CONTINUE  
GOTO 100  
90 CALL XSOUR1(XNASZA(I))  
CALL YSOUR1(YNASZA(I))  
CALL YSOUR1(YNASKO(I))  
GOTO 100  
91 CALL XSOUR1(XNASZA(I))  
CALL YSOUR1(YNASZA(I))  
CALL XSOUR1(XNASKO(I))  
100 CONTINUE  
STOP  
END  
SUBROUTINE XSOUR1(X)  
TYPE 1000,X  
1000 FORMAT(' X',F10.3)  
RETURN  
END  
SUBROUTINE YSOUR1(Y)  
TYPE 1000,Y  
1000 FORMAT(' Y',F20.3)  
RETURN  
END

Příloha č.3.

POCET KROKU : 7

DRSNOST : 4.00000

PRUMER : 50.000

MATICE: -20.00 -40.00 20.00 0.00 0.00

0.00	300.00	0.00
180.00	300.00	100.00
0.00	200.00	200.00
90.00	200.00	280.00
0.00	120.00	330.00
0.00	40.00	330.00
0.00	0.00	0.00

XKO	YKO	DELKA	XNASZA	YNASZA	XNASKO	YNASKO	ROBL	ALFA
T								
300.00	0.00	300.00	0.00	-25.00	300.00	-25.00	0.00	0.00
300.00	200.00	0.00	300.00	-25.00	300.00	225.00	100.00	90.00
200.00	200.00	100.00	300.00	225.00	200.00	225.00	0.00	180.00
120.00	280.00	0.00	200.00	225.00	145.00	280.00	80.00	90.00
120.00	330.00	50.00	145.00	280.00	145.00	330.00	0.00	90.00
40.00	330.00	80.00	120.00	355.00	40.00	355.00	0.00	180.00
0.00	0.00	332.42	15.18	333.01	-24.82	3.01	0.00	-96.91