

Vysoká škola: **strojná a textilní** Fakultas: **strojní**  
v Liberci  
Katedra: **obrábění a montáže** Školní rok: **1982/83**

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Rudolfa Masného**

obor **23 - 07 - 8 strojírenská technologie**

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: **Grafické znázorňování nástrojů  
pomocí kreslicího zařízení**

## Zásady pro vypracování:

1. Politicko-hospodářský význam diplomové práce
2. Rozbor současného stavu využití výpočetní techniky pro kreslení strojních součástí
3. Zpracování podkladů pro kreslení vybraných konstrukčních prvků řezných nástrojů na kreslicím zařízení DIGIGRAF
4. Vypracování programu pro kreslení vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami

V. 203/83 S

Autorské právo se řídí směrnicemi  
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31  
727/62-III/2 ze dne 13. července  
1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze  
dne 31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5  
PSČ 461 17

KOM-0M

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah průvodní zprávy: **30 - 40 stran textu**

Seznam odborné literatury:

Granát, L.: Počítačová grafika

Drs, L.: Počítačová grafika, skripta ČVUT

Vaněk, P.: Návrh konstrukce vrtáků s vyměnitelnými  
břitovými destičkami ze slinutého karbi-  
du (Diplomová práce) Liberec, VŠST 1982

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Aleš Průšek**

Konzultant DP: **Ing. Robert Kvapil, CSc.**

Datum zadání diplomové práce: **15. 10. 1982**

Termín odevzdání diplomové práce: **27. 5. 1983**



*Gazda*  
**Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.**  
Vedoucí katedry

*Stríž*  
**Doc. RNDr. Bohuslav Stríž, CSc.**  
Děkan

V ..... **Liberci** ..... dne ..... **22. 9. 1982**

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCÍ  
nositelka Řádu práce  
fakulta strojní

obor: 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření: obrábění a montáž

Katedra obrábění a montáže

Grafické znázorňování nástrojů  
pomocí kreslicího zařízení

autor: Masný Rudolf  
vedoucí práce: ing. Aleš Průšek  
konzultant: ing. Robert Kvapil, Csc.

Rozsah práce a příloh:

počet stran .....	63
počet obrázků .....	12
počet tabulek .....	-
počet výkresů .....	1
počet příloh .....	9

V Liberci 27.5.1983

Prohlášení

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

*Masný Rudolf*

V Liberci 27.5.1983

<u>Obsah:</u>		str.
1.	Úvod	5
2.	Počítačová grafika	10
2.1	Kreslicí zařízení	11
2.2	Elektromechanické snímače souřadnic	18
2.3	Grafické displeje a prostředky pro interakční grafiku	22
3.	Praktická aplikace počítačové grafiky	29
3.1	Využití v leteckém průmyslu	29
3.2	Automatický návrh střižných nástrojů	31
3.3	Automatizace konstruování a navrhování technologie výroby nástrojů pro plošné tváření	33
4.	Kreslení konstrukčních prvků řezných nástrojů	35
4.1	Nástroje s VD-SK	35
4.2	Digigraf 1008 D3G	37
4.2.1	Systém Digigraf	37
4.2.2	Způsob programování	41
5.	Vrták s VD-SK	43
5.1	Konstrukční prvky vrtáku	45
5.2	Popis programu	47
5.2.1	Označení a rozmístění konstrukčních prvků na výkrese	47
5.2.2	Souřadné systémy jednotlivých konstrukčních prvků	50
5.2.3	Vlastní programování pohledů a konstrukčních prvků	54
6.	Úpravy programu	58
6.1	Rozměrové změny	58
6.2	Tvarové změny	59
7.	Hodnocení a závěr	59

## 1. Úvod

Období sedmdesátých a počátek osmdesátých let vejde do dějin naší socialistické výstavby jako období stabilního mírového rozvoje a plodné budovatelské práce. Pevným základem politiky strany se stala generální linie budování rozvinuté socialistické společnosti přijatá na XIV. sjezdu KSČ a dále rozpracovaná na XV. a XVI. sjezdu KSČ. Upevnilo se socialistické zřízení, moc pracujícího lidu, posílil se svazek dělnické třídy, družstevního rolnictva a inteligence, prohloubila se jednota našich národů a národností, všeho československého lidu.

Dosažené celkové výsledky v uplynulém období jsou dobrým základem všestranného rozvoje naší společnosti v osmdesátých letech. Hlavní směry hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1981 - 85 navazují na dosažené výsledky, berou v úvahu náročnost vnitřních a vnějších podmínek a v souladu s linií budování rozvinuté socialistické společnosti vyjadřují hlavní cíle a cesty k jejich uskutečňování v 7. pětiletce. Záměry plánu spočívají na dalším upevňování rovnovážného stavu ekonomiky, na nástupu k vyšší dynamice hospodářského rozvoje a k vyššímu růstu efektivnosti hospodářství.

K zabezpečení těchto úkolů vede zejména cesta intenzifikace reprodukčního procesu spočívající ve výraznějším uplatnění vědeckotechnického pokroku, v racionálnější a společensky potřebné struktuře výroby a v efektivnějším zapojení do mezinárodní socialistické dělby práce, především do procesu mezinárodní socialistické ekonomické integrace. Právě urychlení vědeckotechnického rozvoje je hlavní podmínkou

procesu intenzifikace ekonomiky a musí být proto organickou součástí a základem plánovací a řídicí činnosti na všech stupních. Důsledným uplatňováním výsledků vědeckotechnického pokroku lze podstatně zvýšit technickoekonomickou úroveň výroby a dosáhnout výrazného růstu celkové efektivity československého národního hospodářství. Za rozhodující pro rozvoj národního hospodářství a zvyšování jeho efektivity je v současné době považováno strojírenství. Tohoto lze dosáhnout zvyšováním podílu výroby automatizovaných a automatických strojů a výrobních systémů. Ve stále větší míře je třeba využívat elektronických prvků a výpočetní techniky v oblasti obráběcích a tvářecích strojů, ve výrobě průmyslových robotů a manipulátorů, dále využívat výpočetní systémy s potřebným periferním a programovým vybavením, zvláště pro řízení technologických procesů a zhotovování technické dokumentace.

V současné době výpočetní technika stále více proniká do oblasti konstruování a stává se účinným prostředkem při racionalizaci konstrukční práce. Počáteční využívání počítačů, které bylo zaměřeno na vědeckotechnické výpočty v izolovaných problémech konstrukce, se významně rozšířilo zavedením grafických periferních zařízení pro zpracování grafických informací a geometrické problematiky. Značný přínos nejmodernějších typů těchto zařízení spočívá i v možnosti úzké komunikace mezi jejich uživatelem a počítačem ve formě dialogu, interakční práce. Tím byly vytvořeny základy nové disciplíny - konstruování pomocí počítače - mezinárodně označené zkratkou CAD (Computer Aided Design), která se definuje jako technika konstruování, v níž člověk a výpočetní technika tvoří řešitelský tým, který využívá nejlepších vlastností obou tak, aby společně pracovali lépe než každý zvlášť.

Efektivní využití CAD vyžaduje výběr vhodných oblastí činnosti konstruktéra. Na základě analýz se ukázalo, že sem patří především činnost rutinního charakteru se značnou pracností (vědeckotechnické výpočty, kreslení výkresů atd.) a činnosti, které se pro stejný druh výrobku, ale při jeho některých změněných vstupních parametrech, opakují, tzv. variantní konstrukce. Tyto činnosti lze automatizovat jen tehdy, jestliže se dají zformalizovat, tzn. že zpracovávané objekty a operace s nimi se jednoznačně zobrazují v datových strukturách a v algoritmech.

Úlohy s řešením rutinního charakteru lze tedy zpracovávat zcela automaticky a komplexně, dřívější ruční převádění izolovaných mezivýsledků se provádí automaticky a konečný výsledek lze zobrazit automaticky na grafických výstupních zařízeních. Ve většině konstrukčních úloh se však uplatní i takové řešení, které má technicky nový charakter. Tyto duševní tvůrčí postupy nedovolují automatické zpracování, nýbrž vyžadují střídavou spolupráci konstruktéra s počítačem v dialogu.

Dialog se provádí v alfanumerické nebo grafické formě, pro níž se využívá grafických obrazovek a jiných grafických periférií. Grafický dialog je pro konstruktéra velice přitažlivý, neboť je obdobou práce s grafickou informací při klasické konstruktérské činnosti. Při této interakční práci se může vytvořit na obrazovce obraz, který počítač dále zpracovává, provádí výpočty a odpovídá na dotazy ve formě alfanumerických řetězců nebo grafické informace. Konstruktér reaguje na výstup výsledku jeho přijetím nebo opravou a opakováním tohoto interakčního postupu se přibližuje k hledanému řešení. k hlavním výhodám interakční práce patří objevení zjevných



chyb v zadání úlohy, efektivní interakční postup při řešení úlohy a rychlý grafický výstup výsledku.

Programové vybavení pro dialog zajišťuje na obrazovce různé texty, které informují o okamžitém stavu programu, vybízejí k výběru jistého prvku ze zobrazeného seznamu, k identifikaci a umístění grafických útvarů atd. Na akci uživatele program reaguje např. tvorbou různých značek, změnou druhu nebo intenzity čáry. Velmi účinný a jednoduchý je dialog pomocí seznamu s grafickými prvky, kterými lze popisovat i velmi komplexní útvary.

CAD - systém představuje součinnost tří prvků:

- komunikačního modulu,
- datové báze,
- aplikačního softwarového systému.

Komunikační modul lze rozložit na část dialogovou, datovou (pro vstup a výstup) a grafickou. Grafický modul se dělí na část aplikačního systému a na část zobrazovací a dialogovou. Aplikační softwarový systém obsahuje všechny moduly, potřebné pro řešení různorodých problémů během konstrukce. Tyto moduly náleží tzv. metodové bance. Většina konstrukčních úloh, řešených pomocí CAD, potřebuje úplný geometrický popis navrhovaného objektu. Tento popis musí být interně reprezentován (v paměti počítače) a tvoří součást datové báze. V CAD - systému to slouží pro různá zobrazení objektu (perspektiva, průměty), jejich řezů, ale také k výpočtům (hmotnost a pevnost) a pro NC-programování.

Podstatnou část tradiční konstruktérské činnosti tvoří kreslení výkresů, které se prolíná s různými fázemi konstrukce a tvoří až 50% celkového objemu konstruktérské práce. Z toho vyplývá požadavek zmenšit podíl této rutinní činnosti

konstruktéra ve prospěch jeho tvůrčí práce, a to především automatizací kreslení.

Grafickou strukturu technického výkresu lze rozdělit do dvou úrovní, z nichž první reprezentuje tvar součásti a druhá zbývající informace (kóty, drsnost, šrafování atd.). Každý systém pro automatickou kresbu strojních výkresů musí umožňovat snadné vytvoření grafické struktury druhé úrovně. Hlavním úkolem je ale vytváření grafické struktury první úrovně, tj. zobrazení obrysu a dalších význačných čar geometrického modelu technického objektu.

Aplikace CAD - systému nebo jejích částí nalézáme při konstruování nejrůznějších výrobků. Nejvíce se prosazuje v těch odvětvích, kde objem konstrukční práce na objektu je tak značný, že potřebná doba k jejímu provedení klasickými metodami je neúnosná vzhledem k době morálního stárnutí výrobku. Ukazuje se, že mnoho výrobků bez CAD nemůže uspět na světovém trhu. K prudkému rozvoji aplikace CAD vedou některé z hlavních důvodů. Především jsou kvalifikovaní pracovníci zbaveni rutinních prací a mohou se věnovat ve větším rozsahu tvůrčí činnosti. Dále pak CAD umožňuje:

- optimalizaci výroby,
- zkrácení průběžné doby výrobku,
- zkrácení inovační doby,
- rychlé zpracování variant výrobku,
- přesnou a rychlou reprodukci konstrukční činnosti,
- automatické vytvoření výkresové dokumentace,
- lepší archivaci a přístup k výsledkům,
- přísné dodržování norem.

## 2. Počítačová grafika

Chceme-li co nejlépe využít možností, které nám poskytuje výpočetní technika, musíme využít i schopností počítače vytvářet a zpracovávat grafické informace. Důležitý problém je komunikace člověka s počítačem. Člověk myslí nejen v pojmech slov, čísel, ale též v pojmech obrazů. Pro člověka jsou grafická zobrazení mnohých objektů a vztahů přehlednější a názornější než odpovídající slovní popisy a posloupnosti čísel.

Počítačová grafika je odvětví vědy a techniky zabývající se metodami a technikami převádění dat na grafická zobrazení a grafického zobrazení na data pomocí počítače. K převádění grafického zobrazení na data se používají různě sestavené datové struktury a jejich uložení v paměti počítače. K převádění dat na zobrazení patří i vyhledávání příslušných datových struktur a manipulace s daty, jako např. transformace souřadnic, sestavení průmětů hran trojrozměrných útvarů a zjištění, které z těchto hran jsou viditelné a které neviditelné při zvoleném způsobu zobrazení, výběr částí, které chceme zobrazit apod.

Většina zobrazení v dnešní počítačové grafice je složena z čar, a to hlavně z úseček. Tohoto se používá převážně pro kreslení schémat elektrických obvodů, vývojových diagramů a grafického znázornění funkčních závislostí. V poslední době se začíná uplatňovat i interakční grafika, která zdůrazňuje konverzační komunikaci mezi člověkem a počítačem a pro zvýšení názornosti např. u obrazů trojrozměrných těles se začíná využívat stínových a vícebarevných zobrazení.

## 2.1 Kreslicí zařízení

Výstupní grafická zařízení, umožňující trvalý záznam grafické informace, je možno rozdělit do čtyř základních skupin:

- kreslicí stoly s číslicovým řízením polohy,
- analogové zapisovače s číslicovým vstupem,
- grafické výstupy s řádkovým tiskem,
- mikrofilmové grafické výstupy.

Vstupní grafická zařízení můžeme rozdělit na elektromechanické snímače souřadnic bodů a křivek a na digitalizátory (tablety).

### Kreslicí stoly s číslicovým řízením polohy

Kreslicí stoly s číslicovým řízením polohy umožňují pořízení trvalého grafického záznamu s vysokou přesností na velké ploše. Vysoká přesnost je na úkor rychlosti kresby a zvyšuje cenu zařízení. Přední výrobci kreslicích stolů nabízejí tři různé kategorie zařízení: stoly s vysokou přesností, stoly s vysokou rychlostí kresby a stoly levnější kategorie pro méně náročné aplikace. U přesných kreslicích stolů je poloha řízena pomocí číslicových servomechanismů, záznamové médium (papír, film) se nepohybuje a je pevně upnuto ke kreslicí ploše stolu. Upínání média bývá elektrostatické, vakuové (přisávání) nebo mechanické (přilepením). Kreslicí hlava nese několik pisátek (obvykle čtyři) s elektromagnetickými mechanismy ovládajícími jejich pohyb (zdvihání a spouštění). K přesnému kreslení se používá pisátek se speciálními inkousty (tuží) a spolehlivá funkce těchto pisátek vyžaduje obvykle nižší rychlosti kresby. K rychlému kreslení se používá pisátek s kuličkovými hroty za cenu nižší kvality a přesnosti kresby.

Kromě standardní kreslicí hlavy se může použít optická hlava, která umožňuje optický záznam na fotocitlivý materiál, a rycí hlava, která nese místo pisátek nože pro rytí čar do fólie (filmu). Tyto hlavy jsou pro některé aplikace velmi důležité a představují poměrně nákladná a složitá zařízení. Některé rycí hlavy například zajišťují automatické natáčení rycích nožů do směru pohybu hlavy, jež je nutné pro zachování konstantní tloušťky ryté čáry.

Přesné stoly jsou vybavovány vektorovou generací a generací znaků, tj. jsou schopny po zadání souřadnic koncového bodu vykreslit libovolnou úsečku v rámci kreslicí plochy, po zadání kódu vykreslují automaticky znak v zadané velikosti, případně v zadaném úhlu natočení. Některé typy stolů jsou dokonce schopny automaticky kreslit kruhové oblouky, popřípadě i další typy kuželoseček. Vzhledem k rozsahu a složitosti funkcí, jimiž jsou tyto stoly vybavovány, jsou u modernějších stolů použity mikroprocesory jako základ řídicí jednotky (řídicí elektroniky) stolu.

Řídicí jednotky obsahující mikroprocesor umožňují podstatné snížení ceny i velikosti, snižují se nároky na údržbu a servis. Umožňují zavedení nových funkcí, jako např. programovatelná měřítko v širokém rozsahu, programovatelné meze, universální styk, tj. připojení k různým počítačům nebo minipočítačům, usnadňující programování a snižující nároky na strojový čas počítače. Řídicí jednotka tohoto typu umožňuje také přímý styk s pamětí hlavního počítače, což zejména u minipočítačového systému dále snižuje nároky na strojový čas hlavního počítače.

Špičkovým zařízením v kategorii přesných stolů je přesný plochý stůl model Calcomp 7500 (California Computer Produkts,

USA), u něhož výrobce udává statickou přesnost  $\pm 0,025$  mm na ploše 1 092 x 1 499 mm. Pro dosažení vyšší přesnosti je uvnitř kreslicí plochy definována tzv. přesná oblast 508 x 508 mm, v níž je zaručována statická přesnost  $\pm 0,0127$  mm.

V kategorii rychlých stolů je mechanická konstrukce podřízena požadavku vysoké rychlosti a velkého zrychlení, přesnost bývá o řád nižší ve srovnání s přesnými stoly. Rychlý plochý stůl Calcomp 7000 dosahuje víc jak čtyřnásobné hodnoty maximální rychlosti vzhledem k přesnému stolu 7500 a s definovaným zrychlením 1 g.

Při posuzování rychlosti kresby rychlých stolů je třeba mít též na zřeteli omezení rychlosti kresby použitým pisátkem a mechanismem pro zdvih a spouštění pisátka. Pro maximální rychlosti (750 mm/s se zrychlením 4 g) se zvyšuje tlak pera na záznamovou plochu (papír) a používají se při kresbě kuličková pera nebo speciální trubičková pera tlakově plněná.

Nejstarší a dosud nejpoužívanější v kategorii levných stolů jsou válcové (bubnové) kreslicí stoly. Lehká kreslicí hlava se pohybuje po pevném mostu pouze v jedné souřadnici, v druhé souřadnici se pohybuje záznamový papír s perforovanými okraji, unášený válcem (bubnem) s vodícími kolíky. Přesnost těchto stolů je omezena přesností perforace papíru. Pohon válce a kreslicí hlavy je obvykle řešen krokovými motory, takže zařízení obsahují minimální elektroniku a rozklad křivky na přírůstku (interpolaci) provádí počítač.

V současné době se místo krokových motorů používá pro pohon obou souřadnic servopohonů. Odstraňují tak dřívější nedostatky, jako byla hlučnost, nízká kvalita kresby a ve spojení s minipočítačem i menší zatížení paměti.

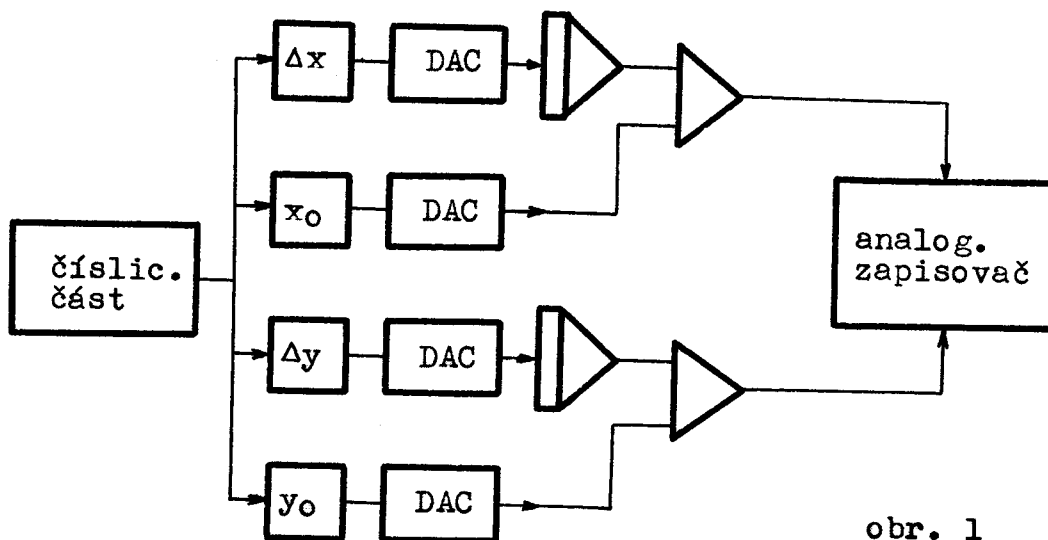
Použití mikroprocesoru umožnilo kromě jiného vybavit

zařízení důležitou funkcí - odřezávání obrazu. Vyšší rozsah zobrazení čísel souřadnic v paměti mikroprocesoru, než je rozsah grafického zobrazení při záznamu, je využit k tomu, že zařízení je schopno zpracovávat data obrazu podstatně větších rozměrů a vykreslit pouze výřez z obrazu. Mikroprocesor při této úloze provádí průnik křivky zadané vstupními daty s plochou zvoleného výřezu a vykresluje pouze část křivky ležící ve výřezu.

### Analogové zapisovače s číslicovým vstupem

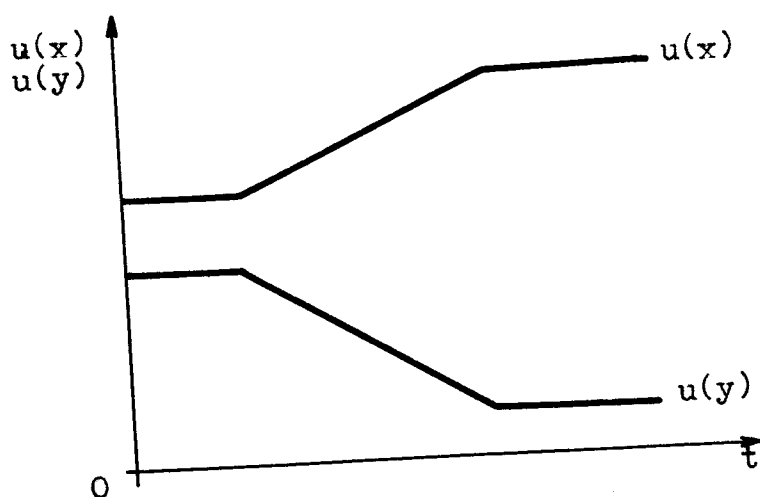
Analogové zapisovače s číslicovým vstupem vznikly úpravou vstupní části analogových zapisovačů, umožňující jejich připojení k minipočítači. Zapisovače jsou dosti rozšířeny a představují nejlevnější grafický výstup s trvalým záznamem v kategorii tzv. minipočítačové grafiky, tj. v kategorii levných zařízení připojených k minipočítači. Perspektiva zapisovačů závisí zejména na dalším vývoji parametrů a cen malých číslicových kreslicích stolů.

Takto upravuje např. analogový zapisovač BAK, který vyrábí Aritma, n.p. Praha - Vysočany. Analogová část zapisovače zůstává v zásadě zachována a prostřednictvím hybridního bloku je řízena příkazy a daty z číslicového počítače.



obr. 1

Na obr. 1 je znázorněna struktura elektronické části zapisovače s číslicovým vstupem. Hybridní část elektroniky obsahuje obvykle čtyři registry:  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ . V registrech  $x_0$  a  $y_0$  jsou uloženy souřadnice počátečního bodu úsečky, v registrech  $\Delta x$  a  $\Delta y$  přírůstky souřadnic, tj. relativní souřadnice koncového bodu úsečky vzhledem k počátečnímu bodu. Obsahy registrů jsou DAC (číslicově - analogovými) převodníky převáděny na analogovou veličinu napětí, napětí  $u(\Delta x)$  a  $u(\Delta y)$  jsou přivedena na vstup integrátorů, napětí  $u(x)$  a  $u(y)$  na jeden ze vstupů operačních zesilovačů.



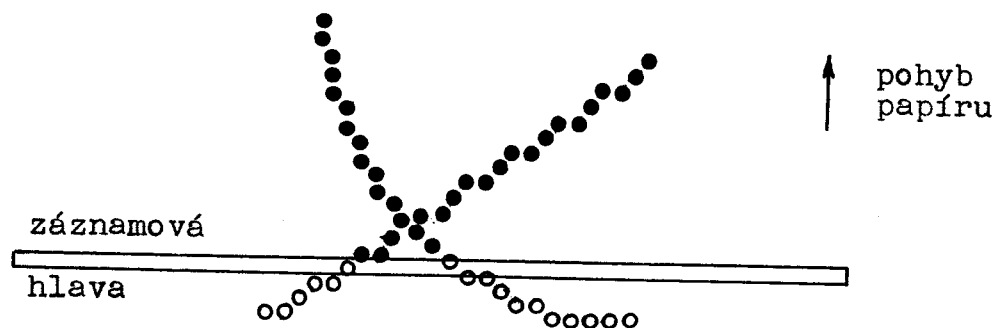
obr. 2

Na obr. 2 je nakreslen průběh napětí  $u(x)$  a  $u(y)$  při kreslení úsečky. V počátečním bodě úsečky jsou integrátory v klidu, s nulovými počátečními podmínkami, takže  $u(x)=u(x_0)$  a  $u(y)=u(y_0)$ . Spuštěním integrace na obou integrátorech začíná být úsečka vykreslována a napětí  $u(x)$  a  $u(y)$  se mění lineárně s časem. Po dosažení koncového bodu úsečky je integrace opět přerušena, registry  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  jsou z číslicové části naplněny údaji pro další úsečku a počáteční podmínky integrátorů jsou vynulovány.



## Grafické výstupy s řádkovým tiskem

Grafické výstupy s řádkovým tiskem jsou odvozeninami řádkových tiskáren založených na nemechanickém principu mozaikového řádkového tisku. Obvykle mohou pracovat jako grafické výstupy i jako řádkové alfanumerické tiskárny.



obr. 3

Na obr. 3 je znázorněn princip výstupu s řádkovým tiskem. Všechny grafické útvary na obrázku musí být před tiskem transformovány do vhodné mozaiky, která je složená ze čtvercových nebo kruhových bodů (elementů). Během tisku se papír posouvá pouze jedním směrem, obvykle přes tzv. záznamovou hlavu, generující po celé šířce papíru současně řádek po řádku mozaiku výsledného obrazu. Kvalita obrazu je značně závislá na hrubosti dělení mozaiky. Záznam jednotlivých zobrazovacích elementů je různý:

- elektrostatický řádkový tisk - elektrografický papír prochází během tisku přes záznamovou hlavu se systémem elektrod, kde se na něm vytváří elektrostatický náboj s rozložením odpovídajícím budoucímu obrazu. Při dalším pohybu prochází papír tónovací lázní s tónovací tekutinou, která přilne k nabitým oblastem elektrografického papíru.
- xerografický princip tisku - plošný náboj se vytváří na selenové válcové ploše. Průchodem tónovací lázní se na selenové ploše vytvoří zrcadlový obraz z tónovací tekutiny a válec se otiskne na záznamový papír. Pro xerografický

tisk se nemusí používat zvláštní papír a lze použít papír běžné kvality.

- termografický princip tisku - pro tento tisk se používá termografický papír, který mění zbarvení při krátkodobém ohřevu. Záznam provádí hlava, která nese soustavu napařených odporových elementů.
- tryskový elektrostatický zápis - tekutý inkoust je pod tlakem přiváděn do trysky, která tvoří jednu ze tří elektrod systému. Záznamový papír probíhá mezi dalšími dvěma elektrodami, řídicí elektrodou a kolektorem. Pokud není na řídicí elektrodu přiveden vyšší potenciál, protéká paprsek tekutého inkoustu otvorem v clonce přímo z trysky na záznamový papír směrem ke kolektoru a na papíru je zaznamenán bod. Po přivedení potenciálu na řídicí elektrodu je paprsek inkoustu odchýlen elektrostatickým polem mimo otvor clonky a stéká zpět do zásobní nádržky.

Kvalitu přímek a kružnic lze srovnat s kvalitou záznamu dosahovanou stoly, které jsou poháněny krokovými motory, kvalita znaků je vynikající, možnost různé síly čar je ale silně omezena. Zásadní nevýhodou grafického výstupu s řádkovým tiskem je nutnost transformace vektorově vyjádřených grafických údajů do mozaikového (rastrového) tvaru. Algoritmus je sice jednoduchý, ale představuje velkou neformátovanou kapacitu paměti.

#### Mikrofilmové grafické výstupy

Jiným druhem média používaným pro grafický výstup z počítače je mikrofilm a mikrofiš. Grafický záznam na tato média probíhá podstatně rychleji ve srovnání s kreslicími stoly a umožňuje jednoduchou archivaci většího počtu záznamů. Přes tyto výhody se nerozšířily, neboť nutnost zvětšení nebo

promítání těchto médií je pro většinu aplikací překážkou. Příkladem tohoto zařízení je typ 1675 Graphic COM System firmy Calcomp. Zařízení používá jako média film s šířkou 35 mm nebo 16 mm perforovaný i neperforovaný nebo mikrofišový formát s rozměrem 105 mm. Zaznamenávaný obraz je vektorově generován, vektory (úsečky) jsou postupně zaznamenávány ve formě posloupnosti bodů, které leží v matici 16 384 x 16 384 adresovatelných bodů. Záznam je prováděn přesnou projekční obrazovkou. Intenzita paprsku programovatelná ve třiceti úrovních umožňuje záznam čar ve dvaceti různých šířkách. Zařízení je schopno též zaznamenávat znaky, a proto může být použito zároveň jako rychlý alfanumerický výstup.

## 2.2 Elektromechanické snímače souřadnic

Pro snímání grafické informace, která je zobrazená na větší ploše a v aplikacích, které vyžadují vysokou přesnost převodu, se používá tzv. elektromechanických snímačů souřadnic. Tato zařízení mají často konstrukci podobnou konstrukci plochých kreslicích stolů. Na základní desku snímače se upíná médium pro grafický záznam. Grafická informace je snímána ve formě posloupností bodů, definujících jednotlivé křivky, úsečky a body, popřípadě jiné grafické značky. Nad snímáný bod se nastavuje tzv. snímací hlava, obvykle optická. Hlava se pohybuje ve směru jedné osy po rameni, druhá souřadnice polohy hlavy se mění pohybem celého ramena. Základním typem snímací hlavy je hlava s optickou čočkou a nitkovým křížem, který umožňuje přesné ruční nastavení středu nitkového kříže nad snímáný bod. Souřadnice polohy snímací hlavy (středu nitkového kříže) jsou převáděny do číslicového tvaru pomocí číslicových odměřovacích čidel polohy, obvykle rotačních,

mechanicky spojených s pohybující se snímací hlavou a ramenem. Přesnost nastavení polohy snímaného bodu je u většiny těchto systémů ovlivňována přesností nastavení středu nitkového kříže (obecně referenční bod snímací hlavy) na snímáný bod. Vlastní elektromechanická konstrukce umožňuje dosažení přesnosti polohy  $\pm 0,05$  mm.

Na rameni, popřípadě přímo na snímací hlavě, je umístěno několik tlačítek, respektive klávesnice, jejichž pomocí operátor jednak řídí snímání souřadnic bodů, jednak může znamenávat další alfanumerické údaje, jimiž blíže charakterizuje, identifikuje, odlišuje snímané body, křivky apod. Zařízení obsahují kromě popsané elektromechanické konstrukce elektronickou část, v níž se zpracovávají údaje o poloze snímaného bodu a údaje klávesnice. V nejjednodušším případě jsou tyto údaje pouze formovány a předávány dále, obvykle do minipočítačového systému, v němž se po dalším zpracování pořizuje záznam na vhodné médium (magnetická páska, děrná páska, pružný disk apod.). V tomto případě je elektronická část velmi jednoduchá, provádí pouze funkce nutné pro předání údajů do minipočítače a zobrazuje souřadnice snímaného bodu na indikačním panelu (displeji).

U novějších zařízení je elektronická část snímače vybavena mikroprocesorem a plní další funkce, které usnadňují operátorovi snímání grafu a snižují zatížení minipočítače při zpracování sejmutých údajů, např.:

- transformaci souřadnic bodů,
- volbu měřítka, nezávisle pro souřadnici x a y,
- volbu absolutních a relativních souřadnic,
- automatický záznam polohy hlavy ve zvolených časových intervalech,

- automatický záznam polohy hlavy při sledování křivky po dosažení některé ze stanovených hodnot jedné souřadnice,
- automatický záznam polohy hlavy po ujetí zvolené délky dráhy po sledované křivce,
- zaokrouhlení souřadnic snímaného bodu (ztotožnění snímaného bodu s nejbližším průsečíkem zvolené mřížky),
- automatickou kalibraci zařízení, popř. korekci nelinearit.

Pohyb snímací hlavy (a ramena) je u jednodušších zařízení vyvolán přímo fyzickou silou operátora. Kromě těchto jednodušších zařízení se vyrábějí též snímače, kde operátor ovládá (např. směrovou páčkou) pohyb snímací hlavy a ramena, které jsou poháněny servomotory nebo krokovými motory. Směrovou páčku lze vychýlit libovolným směrem v rovině xy, směr vychýlení určuje směr požadovaného pohybu, stupeň (velikost) vychýlení určuje rychlost pohybu.

Pro zvlášť náročné aplikace se vyrábějí snímače s automatickým nebo poloautomatickým sledováním snímaných křivek. Zařízení se vybavují většinou snímací hlavou s fotoelektrickým čidlem. Výstupní signály z čidla jsou zpracovány v elektronické části snímače na řídicí signály pro číslicové mechanismy, které ovládají pohony souřadnic. Snímače obvykle pracují poloautomaticky, tj. snímají automaticky křivku až do rozlišení (nalezení) koncového bodu nebo průsečíku s jinou křivkou. V takových bodech je snímání přerušeno a operátor rozhoduje o dalším postupu při snímání křivky.

Zařízení s poloautomatickým a automatickým sledováním se zatím používá málo, většímu rozšíření brání složitost a vysoká cena. Použitím mikroprocesorů a technologie velké integrace může obě tyto nevýhody odstranit.

Elektromechanické snímače souřadnic umožňují snímat

grafickou informaci s vysokou přesností a z větších ploch. Nevýhodou tohoto typu je poměrně vysoká cena, pomalejší a obtížnější manipulace ve srovnání s tzv. digitalizátory, u nichž operátor posouvá po snímaném obrazu volný hledáček ve tvaru čočky nebo pera, spojený se systémem pouze elektrickým kablíkem. Ve snaze odstranit alespoň druhou uvedenou nevýhodu umožňují některé elektromechanické snímače použití principu volného hledáčku, jež operátor posouvá po snímaném obrazu, který je uchycen na pracovní desce, přičemž elektromechanická část s ramenem, snímací hlavou a servopohonem je umístěna nad pracovní plochou. Ve volném hledáčku je upevněna cívka tvořící se systémem cívek umístěných na snímací hlavě induktivní snímač polohy, jenž řídí prostřednictvím servomechanismů pohyb ramena a snímací hlavy. Pokud operátor hledáčkem po pracovní ploše, pohybuje se po stejné dráze snímací hlava nad pracovní plochou a je tedy poloha snímací hlavy po ustálení vždy shodná s polohou hledáčku.

#### Digitalizátory (zařízení typu tablet)

Digitalizátory nazýváme zařízení umožňující vstup grafické informace zaznamenané na papíru nebo jiném vhodném médiu, u nichž je k měření souřadnic polohy snímaného bodu použito jiného principu než převodu mechanického pohybu hledáčku na pohyb číslicových snímačů polohy.

Digitalizátory jsou vhodné pro snímání grafických údajů z menších ploch s přesností  $\pm 0,1$  mm. Předností těchto systémů je snadná obsluha, nízká cena a jednoduché řešení bez pohyblivých mechanických dílů a tím vysoká spolehlivost. Původně byly digitalizátory vyvinuty jako grafické vstupy používané ve spojení s interakčním displejem, kde menší plo-

cha snímaného obrazu a nižší přesnost nebyly na závadu.

V současné době však již zařízení této kategorie dosahují přesnosti  $\pm 0,1$  mm při ploše snímaného obrazu až  $2 \text{ m}^2$  a ve většině aplikací začínají nahrazovat elektromechanické snímače. U digitalizátorů je poloha snímaného bodu měřena pomocí veličin elektromagnetického nebo ultrazvukového pole.

Ultrazvukový digitalizátor je tvořen snímacím perem generujícím ultrazvukové vlny a dvěma lineárními ultrazvukovými mikrofony, které jsou umístěny v osách pravoúhlé soustavy souřadnic. Ultrazvuk je generován bodovým jiskřištěm, signály z mikrofونů umožňují určit dobu šíření čela ultrazvukové vlny z jiskřiště k osám souřadnic. Vynásobením dob rychlostí šíření ultrazvuku je určena vzdálenost snímaného bodu od os souřadnic.

Druhou skupinu digitalizátorů tvoří zařízení, které využívá principu magnetostrikce, kdysi používaného u ultrazvukových magnetostrikčních linek. Princip je založen na tzv. Jouleově efektu, tj. pružné mechanické deformaci magnetického materiálu vyvolané magnetickým polem. Změna okamžité hodnoty permeability vyvolaná mechanickou deformací je nazývána Villariho efektem, někdy též inverzní magnetostrikcí. Při průchodu deformační vlny okolím permanentního magnetu vyvolá změna permeability drátu změnu indukce magnetického toku procházejícího snímací cívkou, čímž je v cívce indukovan napěťový impuls. Zpoždění indukovaného impulsu za náběžnou hranou proudového pulsu ve vysílací cívce je určeno podílem vzdálenosti snímací cívky od vysílací a rychlosti šíření deformační vlny.

### 2.3 Grafické displeje a prostředky pro interakční grafiku

Grafické displeje jsou zařízení umožňující rychlou ge-

nerací a změnu obrazu. Rychlost generace obrazu je umožněna použitím elektronického záznamu. U klasických obrazovkových displejů je obraz vykreslován paprskem elektronů na stínítku obrazovky, a to buď vektorovým, nebo bodovým způsobem.

U plazmových a laboratorně vyvíjených polovodičových displejů je obraz generován pouze bodovým způsobem.

Displeje generující obraz vektorovým způsobem používají dvou různých typů obrazovek. U displejů obsahujících obrazovku s krátkým dosvitem musí být obraz periodicky obnovován. Druhou skupinu displejů s vektorově generovaným obrazem tvoří zařízení obsahující tzv. paměťovou obrazovku, která zřetelně zobrazuje obraz po několik minut bez obnovování. Grafické displeje lze rozdělit do tří hlavních kategorií:

- displeje s vektorově generovaným periodicky obnovovaným obrazem,
- displeje s vektorově generovaným obrazem na paměťové obrazovce,
- displeje s bodově generovaným obrazem.

Každá z těchto kategorií má specifickou oblast aplikací, pro něž je těžko nahraditelná z hlediska kvality zobrazení, efektivnosti zpracování, resp. vytváření obrazu a zároveň ceny zařízení.

Displeje s vektorově generovaným periodicky obnovovaným obrazem představují kategorii grafických displejů s vysokou pořizovací cenou, avšak též s vysokou kvalitou zobrazení. Zobrazovaná data jsou uložena buď ve vnitřní paměti vlastního displeje, nebo v operační paměti počítače, resp. minipočítače, k němuž je displej připojen. Displeje této kategorie umožňují rychlou grafickou interakci, tj. rychlou změnu obrazu vyvolanou obvykle zásahem operátora např. pomocí svě-



telného pera. Displeje umožňují selektivní mazání obrazu, tj. vymazání zvolené úsečky, znaku nebo bodu, přičemž ostatní části obrazu zůstanou zachovány. Počet adresovaných bodů bývá 1 024 x 1 024 až 4 096 x 4 096 bodů. Displeje mohou zobrazovat body, znaky a vektory (úsečky) s počátečními a koncovými body libovolně umístěnými v matici adresovaných bodů. Některé displeje umožňují též zobrazování kruhových a elipsových oblouků. Body a úsečky lze programovat v absolutních nebo relativních souřadnicích. Displeje mohou zobrazovat rychle se pohybující předměty, tj. zobrazovat jejich pohyb v reálném čase. Kvalita vykreslených úseček nezávisí na jejich směrnici. Obvykle lze kreslit úsečky různé intenzity, plné, čárkované nebo čerchované čáry. Je možné programovat trvalé nebo přerušované zobrazení libovolných částí obrazu (blikání). Popsané způsoby rozlišení čar a bodů intenzitou a druhem čáry odstraňují nevýhodu pouze černobílého (jednoduchého) zobrazení u převážné většiny těchto displejů. Další nevýhodou je omezená složitost obrazu zobrazitelného na displeji při dodržení dolní meze frekvence obnovování, tj. při zaručené stálosti obrazu. Hlavní aplikační oblasti jsou simulátory, тренаžéry, řízení letecké dopravy, konstrukce pomocí počítače (CAD - systém).

Displeje s vektorově generovaným obrazem na paměťové obrazovce umožňují generovat obraz stejné kvality jako displeje s periodickým obnovováním obrazu. Jsou též schopny zobrazovat pouze černobíle, nelze však použít blikání k rozlišení čar. Velkou předností je však možnost zobrazit libovolně složité obrazy bez kolísání intenzity vlivem nízké frekvence obnovování. Displeje s paměťovou obrazovkou mají též nízkou pořizovací cenu. Jejich nevýhodou je malá život-

nost obrazovky - jen 2 000 hodin při plné intenzitě a omezené možnosti grafické interakce. Selektivní mazání u paměťové obrazovky není možné, provádí se nepřímou, tzn. že po vymazání původního obrazu na obrazovce je zaznamenán nový, upravený obraz. Selektivní mazání tedy vyžaduje zásah a strojový čas minipočítače, vlastní vymazání obrazu z paměťové obrazovky a nabrání nového obrazu trvá několik sekund, rychlost a efektivnost interakce je značně omezena. Hlavní aplikační oblastí těchto displejů je konstrukce pomocí počítače v případech, kdy se nežadá extrémně rychlá grafická interakce.

Displeje s bodově generovaným obrazem vytvářejí obraz jako matici bodů o rozměrech 256 x 256 až 1 024 x 1 024 bodů v podstatě stejným způsobem, jako se vytváří obraz v televizním přijímači. Elektronový paprsek je vychylován s konstantní frekvencí řádek po řádku postupně do polohy všech bodů matice  $n \times n \times m$ . V paměti je pro každý bod matice  $n \times n$  zakódován v  $m$  bitech signál ovládající modulaci jasu paprsku. Obraz může být černobílý nebo barevný, obvykle s větším počtem programovatelných úrovní jasu. Frekvence obnovování je konstantní a nezávisí na složitosti obrazu. Jediným omezením složitosti je charakter bodového zobrazení a dosažitelná kvalita čar. Nevýhodou bodových displejů je nižší kvalita čar, zejména úseček, které svírají malý úhel s osou  $x$  nebo  $y$ . Přestože k podobné deformaci dochází u všech systémů s číslicovým řízením polohy kresleného bodu (čáry), projevuje se deformace nejvíce u displejů s bodovou generací, u kterých rychlost obrazovky a vychylovacího systému zatím nedovolují dosáhnout ani u špičkových zařízení větších rozměrů obrazové matice než 1 024 x 1 024 bodů (tj. u větší obrazovky rozteč bodů v matici 0,3 až 0,4 mm, pro

matici 512 x 512 bodů rozteč 0,6 až 0,8 mm). Druhou nevýhodou většiny těchto displejů jsou vysoké nároky na strojový čas při převodu obrazových dat z vektorového do bodového tvaru. Např. displej s bodovým zobrazením s jedinou úrovní intenzity zobrazení musí být vybaven pamětí 1 Mbit a obrazovkou a vychylovacím systémem se špičkovými parametry. Na druhé straně tyto displeje umožňují kvalitní zobrazení velkého objemu znaků a libovolného obrazu ve tvaru bodové matice. Hlavními oblastmi použití jsou řídicí a informační systémy pro řízení průmyslových procesů a číslicového zpracování obrazových dat ve tvaru matice bodů, např. zpracování rentgenogramů, televizních a termovizních záznamů. Začínají se však prosazovat i v aplikacích, které jsou typické pro displeje s vektorovou generací. Displeje umožňují selektivní mazání a při řízení mikroprocesorem i grafickou interakci. Zařízení jsou vyráběna v širším spektru cen a parametrů: od nákladných zařízení s maticí 1 024 x 1 024 bodů a barevným zobrazením s větším počtem úrovní intenzity základních barev až po levné grafické výstupy pro mikroprocesorové systémy, které umožňují zobrazení grafických a alfanumerických údajů na stínítku standardního televizního přijímače.

#### Plazmové displeje

Použití obrazovky v displejích přináší sebou řadu nevýhod. Vzhledem k analogovému principu zobrazení nelze u obrazovky dosáhnout vyšší přesnosti než 1 až 2%, obrazovka je rozměrná při malé ploše stínítka a velkém příkonu. Proto se v současné době vyvíjí několik konkurenčních systémů elektronické generace obrazu, snažících se tyto nevýhody odstranit.

Průmyslově jsou již vyráběny tzv. plazmové displeje

obsahující plazmový displejový panel. Panel je tvořen dvěma rovnoběžnými skleněnými deskami, mezi nimiž je neónový plyn. Na jedné desce je napařena soustava vodorovných rovnoběžných vodičů, na druhé desce soustava svislých rovnoběžných vodičů. Každá oblast panelu v okolí každého průsečíku těchto dvou navzájem kolmých soustav vodičů se chová jako doutnavka, na jejíž elektrody je připojeno napětí, při kterém může být doutnavka v jednom ze stabilních stavů - zapálena či nezapálena. Obraz je na plazmovém panelu tvořen soustavou oranžově svítících bodů. Výboj v požadovaném bodě matice nastane, jestliže je vhodnými napěťovými pulsy na přechodnou dobu zvýšen potenciálový rozdíl mezi příslušným horizontálním a vertikálním vodičem (adresový výběr je na obdobném principu jako u feritové paměti). Výboj lze selektivně ve vybraném bodě zhasit přivedením napěťových pulsů opačné polarizace na horizontální a vertikální vodič procházející tímto bodem. Obraz proto nemusí být periodicky obnovován a přitom lze části obrazu selektivně mazat.

#### Laserový displej - zapisovač

Displej představuje nákladnější zařízení se špičkovými parametry přesnosti a plochy zobrazení, avšak s omezenými možnostmi interakce. Grafická informace je zaznamenávána na oranžový fotochromický film laserovým paprskem vychylovaným číslicovými deflektory. Paprsek vyvolá v bodě dopadu přechodné zčernání filmu. Pohybem laserového paprsku a modulací jeho jasu je takto vytvořen celý obraz. Záznam je na filmu zachován v dobrém kontrastu zhruba 15 minut, pokud není obnoven, mizí po této době postupně z filmu (bledne). Obraz na filmu o rozměrech 148 x 105 mm je dále promítán s desetinásobným zvětšením ve formě tmavých čar na světlém pozadí

na matnici, z níž může být sledován v nezatemněné místnosti více lidmi současně. Přesnost vychylovacího systému umožňuje využití dlouhé doby uchování záznamu k periodickému obnovování obrazu bez viditelného rozšíření čar nebo jiného snížení kvality grafického záznamu. Přesnost a reprodukovatelnost polohy bodu se pohybuje v rámci 1/10 síly čáry. Rychlost ztráty grafického záznamu (blednutí) lze v případě potřeby v určitém rozsahu nastavit.

Kromě obrazu zaznamenaného na fotochromický film může být omezený objem grafické informace zobrazen na matici přímo laserovým paprskem. S touto částí, barevně odlišenou (modrý laserový paprsek) od obrazu zaznamenaného na filmu, lze pracovat interakčním způsobem pomocí grafického ukazovátka nebo kulového ovládače. Kromě této rychlé interakce lze s displejem pracovat interakčním způsobem podobně jako u paměťových obrazových displejů. Displej obsahuje cívku s filmem, film lze posunout o jedno pole před začátkem záznamu dalšího obrazu. Při interakční práci s displejem se po zásahu operátora zruší původní obraz posunutím filmu a upravený obraz se znovu zaznamená laserovým paprskem na nový úsek filmu. Film lze s respektováním doby uchování záznamu opakovaně používat po několik týdnů nepřetržité činnosti.

Intenzita laserového paprsku je programovatelná a navíc je hardwarem řízena během kreslení čáry, tj. lze ji plynule měnit během vykreslování čáry a tím dosáhnout tzv. modulace obrazu.

Zařízení může být použito též jako zapisovač, lze na něm pořídit trvalý záznam obrazu na levný diazo-film. S tímto filmem se může pracovat na denním světle, k zařízení je dodáváno stolní provedení vyvíječe, v němž se může diazo-

film během několika sekund vyvolat. Po vyvolání je na filmu trvale zaznamenán negativ obrazu.

### 3. Praktická aplikace počítačové grafiky

#### 3.1 Využití v leteckém průmyslu

Počítačové grafiky se může využít v různých fázích vývoje letadla: při určování základních parametrů, stanovení koncepčních rozhodnutí a při celkovém návrhu letadla tak, aby mělo co nejlepší vlastnosti a bylo co nejlevnější. Je výhodné využít jí při detailních návrzích jednotlivých částí a při vyhotovování podrobné výrobní dokumentace. Využívá se jí i při určitých výzkumných pracích a vlastně i v podobě číslicově řízeného obrábění ve výrobě.

Při určování parametrů letadla se vychází z účelu, pro jaký je letadlo vyvíjeno. Vytváří se například model jeho předpokládaných cest, letišť, na kterých má přistávat, s doplňujícími údaji, jako je předpokládaný počet přepravovaných cestujících, váha přepravovaného nákladu, změna tras v důsledku nepříznivého počasí.

Podstatnější je užití počítačové grafiky ve fázi celkového návrhu letadla. Konstruktor - návrhář navrhuje a zobrazuje na obrazovce hlavní části letadla - trup, křídla, ocasní plochy letounu a vytváří výchozí návrh tvaru celého letadla. Využívá přitom určitý systém geometrických podprogramů, které umožňují vytvořit vhodné tvary ploch příslušných částí letadla.

Například systém GMD (Graphic Master Dimension) užívaný firmou Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH má možnost volby těchto základních typů čar: přímka, kružnice, obecná kuželo-

sečka, kubika, tzv. T-kuželosečka a racionální kubika. Z úseků těchto čar se skládají křivky určující navrhované plochy. Plochy se vyjadřují parametricky nebo jako soustavy Coonsových segmentů (záplat). Uživatel může na obrazovce zobrazit vyšetřované tvary v různých projekcích, měnit měřítko obrazu, měnit tvar křivek a ploch, sestavovat plochy z jednotlivých segmentů, natáčet je a vytvářet jejich řezy. Shledá-li tvary ploch vhodné na základě jejich zobrazení na obrazovce, může zajistit vytváření jejich trojrozměrných modelů obráběním na číslicově řízených obráběcích strojích.

Data určující plochy získané při návrhu jejich tvaru se ukládají do paměti počítače a jsou vyvolávána při provádění dalších částí návrhu letadla, při vyhodnocování hmotnosti letadla, jeho těžiště, vztlaku nebo aerodynamického odporu. Na základě výsledků jednotlivých vyšetřování se provádějí případné změny návrhu tvaru letadla, návrh se doplňuje o další části, jako jsou výběr motorů, tvar dalších částí, při stálém sledování jeho parametrů, až se dosáhne celkově vyhovujícího výsledku.

Výsledný tvar letadla se nakreslí na kreslicích zařízeních spolu s podrobnějším zobrazením jeho jednotlivých částí včetně požadovaných řezů. Tyto výkresy slouží jako názorná informace pro další posuzování letadla i pro zákazníka. Veškeré údaje o celku i částech letadla, které jsou uloženy v paměti počítače, umožňují konstruktérům zobrazit na obrazovce libovolnou část letadla, provádět potřebné změny pro zlepšování původního návrhu i při vytváření dalších variant základního typu. Nakonec může počítač vytvořit dokumentaci pro výrobu jednotlivých částí letadla i sestavení celého letadla. Pokud mají být některé části letadla obráběny na čís-

licově řízených obráběcích strojích, je součástí výrobní dokumentace i děrná páska pro řízení těchto strojů.

### 3.2 Automatický návrh střížných nástrojů

Podíl plechů na konstrukci měřicích a vědeckých přístrojů se stále zvyšuje. Aby se dosáhlo tohoto cíle, je třeba rychle zavést systém pro automatizaci konstrukčního a výrobního procesu. Jeden z efektivních klíčů pro řešení takového problému je systém CAD. Přestože lze potřebné údaje odvodit z výkresů, počítač je nemůže jednoduše odvodit. V běžné technologii je inženýrský výkres tradiční prostředek pro popis předmětu konstrukce a reprezentuje formální komunikační záznam mezi konstruktérem a výrobním oddělením. Potom je důležité, aby počítač rychle pochopil inženýrský výkres a ekvivalentní informace. Mimo to systém může být používán k odhadu konstrukčních a ostatních nákladů při každé fázi procesu a může tak umožnit dosažení lepšího konstrukčního popisu s minimální přídatnou námahou.

System, který používá japonská firma Yukinobu Shibata Yoshio Kunitomo, je interaktivní grafický systém pro definování výrobků z plechu a pro generování jejich výrobních postupů. V tomto systému všechny CAD/CAM procedury jsou rozděleny do tří fází v sérii a jsou prováděny vzhledem k vzájemné součinnosti stroje a člověka (operátora).

- a/ Konstruktor určí tvar výrobku pomocí modelovací techniky a zákonů (předpisů) pro stavbu výrobku z plechu,
- b/ Je proveden podrobný návrh výrobku. Jsou zadávány rozměry, nástřížný plán a děrovací údaje. Data rozměrů vrubů a dírkování jsou zde také zadávána. Počítač komentuje tuto obrazovou reprezentaci na topologický model. Topologický model je uložen do báze informací (dat) pro genero-



vání třípohledových výkresů a rozvinutí. Podrobný inženýrský výkres může být také vyroben automaticky z těchto dat.

c/ Počáteční činnost (aktivita) v CAM dává umístění každých částí na plechu, výsledek je pak zlepšen interakcí operátora. NC-program může být vytvořen přímo z výsledků umístění a geometrického popisu. Po vydání NC-instrukce je simulací počítače prováděno ověřování děrování. Tímto postupem jsou všechna data pro konstrukci a výrobu uložena v základnu dat a jsou důsledně kontrolována.

System se skládá z inteligentní grafické svorky HITAC G - 710, která se zapojuje přes komunikační linky s velkým počítačem. Tato svorka obsahuje mikropočítač a vyhovuje specifickým grafickým programovacím disciplinám. Může např. kontrolovat vstupní i výstupní data, obrazy na displeji (pohyb, rotace apod.). Mikropočítač tak může doplnit velký počítač. Provádí jednoduché úkoly, které nevyžadují velkou přesnost nebo masivní zdroje velkého počítače a může dále odesílat do operační paměti velkého počítače problémy, se kterými nemůže sám manipulovat. Takové rozdělení úkolů mezi mikropočítačem a velkým počítačem (hlavním) je nejvýkonnější a nejekonomičtější způsob jejich použití.

Na této svorce operátor používá světelné pero a digitalizátor, různé funkce a symboly jsou napsány do seznamu na tzv. menu, který je vytištěn na formuláři připojeném k citlivému povrchu digitalizátoru pro zaznamenávání náčrtků a symbolů na bázi dat. Vstupní informace vedou nakonec k uložení v archivu, který může vyrobit výkresy a NC-příkazy přizpůsobené k použití v kterékoliv fázi výroby.

Celou dobu může konstruktér udělat mnoho iterací než

dojde k výkresu, který popisuje vlastnosti předmětu konstrukce. Obdobně konstruktér popisuje tvar struktury s geometrickým modelem sestaveným graficky na displeji systému CAD. Dnešnímu CAD je proto nutné umožnit okamžité spojení záměru konstruktéra s počítačem, umožnit zaznamenávání a vy-  
pisování dat na jednoduše pochopitelný formát. Byla udělána opatření v systému, aby se přizpůsobil těmto problémům, provedla se standardizace struktury běžně používaných plechových výrobků a jejich uložení v paměti. Kapacita se může zvýšit vybavením standardními modely, z nichž každý může být vyvolán na displeji jediným příkazem. Nicméně v některých případech je obecně cítit, že standardizace nepřinesla svobodu v konstrukci a nevyžaduje pravdivost, která zachycuje myšlenku konstrukce všech struktur plechových výrobků.

### 3.3 Automatizace konstruování a navrhování technologie výroby nástrojů pro plošné tváření

Technická příprava výroby se stává limitujícím faktorem dalšího rozvoje výrobního procesu. Náročné úkoly plánovitého rozvoje národního hospodářství není možné zvládnout bez uskutečnění kvalitativního zvratu. Tím je komplexní automatizace technické přípravy výroby na základě moderní výpočetní techniky a aplikace progresivní NC-techniky ve vlastní výrobě, která se zabezpečuje rychle zhotovenými a bezchybnými řídicími médii.

To všechno zabezpečí programový systém AKT. Je to rozsáhlý programový systém, který je založen na nejprogresivnějších světových poznacích v příslušné oblasti. Systém byl vyvinut ve VUKOV Prešov. Umožňuje automatizaci procesů konstruování a navrhování technologie výroby lisovacích nástrojů pomocí moderních počítačů třetí generace typu EC 1030 ne-

bo IBM 370/145, spolu s automatickým zhotovením úplné konstrukční dokumentace použitím kreslicího automatu Digigraf 1008 D3G.

Vstupní údaje programového systému AKT tvoří informace obsažené:

- v dílenském výkrese výlisku, na jehož výrobu se má zhotovit příslušný nástroj,
- informace charakterizující uživatele programového systému, tj. výrobce lisovacích nástrojů. Jsou to informace o strojním parku, používané hutnické polotovary a řada technicko-ekonomických údajů.

Výstupními údaji jsou:

- úplná konstrukční dokumentace, tj. výkres sestavy, rozpis-ka všech součástí, detailní výkresy funkčních a činných částí příslušného nástroje a výkres nástřihu plechu,
- úplná technická dokumentace, která je zpracovaná v podobě detailních technologických postupů výroby činných částí pro navrhovaný nástroj spolu s technologickým postupem lisování,
- soubor řídicích médií pro NC-obráběcí stroje, na kterých se doporučuje uskutečnit tzv. exponované operace v průběhu výroby nástroje.

Výhody využívání programového systému AKT jsou v porovnání s tím samým výrobcem, ale bez automatizace technické přípravy výroby pomocí AKT, zřejmé z několika ukazatelů:

- snížila se pracnost konstrukční přípravy výroby asi 20x,
- snížila se pracnost technologické přípravy výroby asi 60x,
- snížila se celková pracnost technické přípravy výroby asi 35x,
- snížily se náklady na technickou přípravu výroby i celko-

- vou výrobu 2 až 3x,  
- snížil se průběžný výrobní čas až 4x.

#### 4. Kreslení konstrukčních prvků řezných nástrojů

##### 4.1 Nástroje VD-SK

Současný světový vývoj konstrukčních a technologických uspořádání obráběcích strojů se samočinně ovládaným technologickým procesem je ovlivňován nejen uplatňováním nových způsobů obrábění, ale zvyšováním technické úrovně a výkonnosti používaných obráběcích nástrojů. Zavedení nových produktivnějších obráběcích strojů je spojeno s poněkud většími investičními náklady. Daleko příznivější je zvyšovat produktivitu práce při obrábění zavedením nových produktivnějších nástrojů. K takovým nástrojům patří především nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu (VD-SK). Nástroje tohoto typu zaručují dodržení předepsané geometrie břitů, jakosti břitových ploch a stálou optimální trvanlivost břitů po každé výměně otupeného nástroje, což jsou požadavky související zejména se zavedením číslicově řízených obráběcích strojů.

Zavedení nástrojů s VD-SK přináší zejména:

- značné úspory nástrojového materiálu,
- možnosti zvýšení řezných podmínek při zachování trvanlivosti nebo zvýšení trvanlivosti ostří při zachování řezných podmínek,
- zvýšení úběru materiálu při stejné spotřebě energie,
- zmenšení sortimentu nástrojů záměnou jakosti slinutého karbidu,
- maximální využívání obráběcích strojů s vyšším výkonem,

- optimální geometrie břitu a velké prostory pro třísku zaručují dobré odvádění třísek a tepla z řezu,
- snížení celkových nákladů na obrábění.

Nástroje s VD-SK se skládají z několika konstrukčních prvků:

- upínací část,
- těleso nástroje,
- břitové destičky s upínacími elementy,
- zařízení pro mazání a chlazení.

Upínací část nástroje je tvořena válcovou nebo kuželovou stopkou. Kužel může být strmý (použití u fréz) nebo Morse (použití u vrtáků). Pro spolehlivé přenášení kroutícího momentu se u fréz používají unašeče s vyfrézovanými otvory pro unášecí kameny a zatažení frézy do kuželové dutiny vřetena stroje. U vrtáků se většinou používají kuželové stopky Morse s unašečem.

Těleso nástroje je vyrobeno z ušlechtilé konstrukční oceli 14 220, je cementováno do hloubky 0,5 - 0,7 mm a kaleno na tvrdost  $56^{+7}$  HRC. Tato úprava má zamezit otláčování lůžek pod destičkami a vydírání drážek a zubových mezer odcházejícími třískami.

Břitové destičky mohou být upínány za otvor pomocí šroubku, upínkami, pomocí klínu nebo excentru. Způsob upnutí závisí na druhu nástroje a na jeho průměru, aby byla zachována potřebná tuhost nástroje a zároveň bylo místo pro odvod třísek z řezu. Největší potíže při výrobě nástroje s VD-SK jsou spojeny s vytvářením lůžek pro břitové destičky na tělese nástroje. Pro výrobu lůžek destiček je potřebné znát přesnou polohu břitové destičky. Při kótování rezné části je proto nutné veškeré rozměry vztahovat vzhledem k některému bodu. K těmto bodům se pak provádí výchozí nastavení nástro-

je, kterým se budou lůžka vyrábět.

Na obvodu tělesa jsou vytvořeny drážky. Tyto drážky mohou být přímé nebo ve šroubovici. Nejvýhodnější se jeví drážky v mírné šroubovici (úhel sklonu šroubovice je  $25^\circ$ ). Drážky jsou dostatečně otevřené, ovšem jen tolik, aby nedocházelo k nadměrnému zeslabení průřezu nástroje.

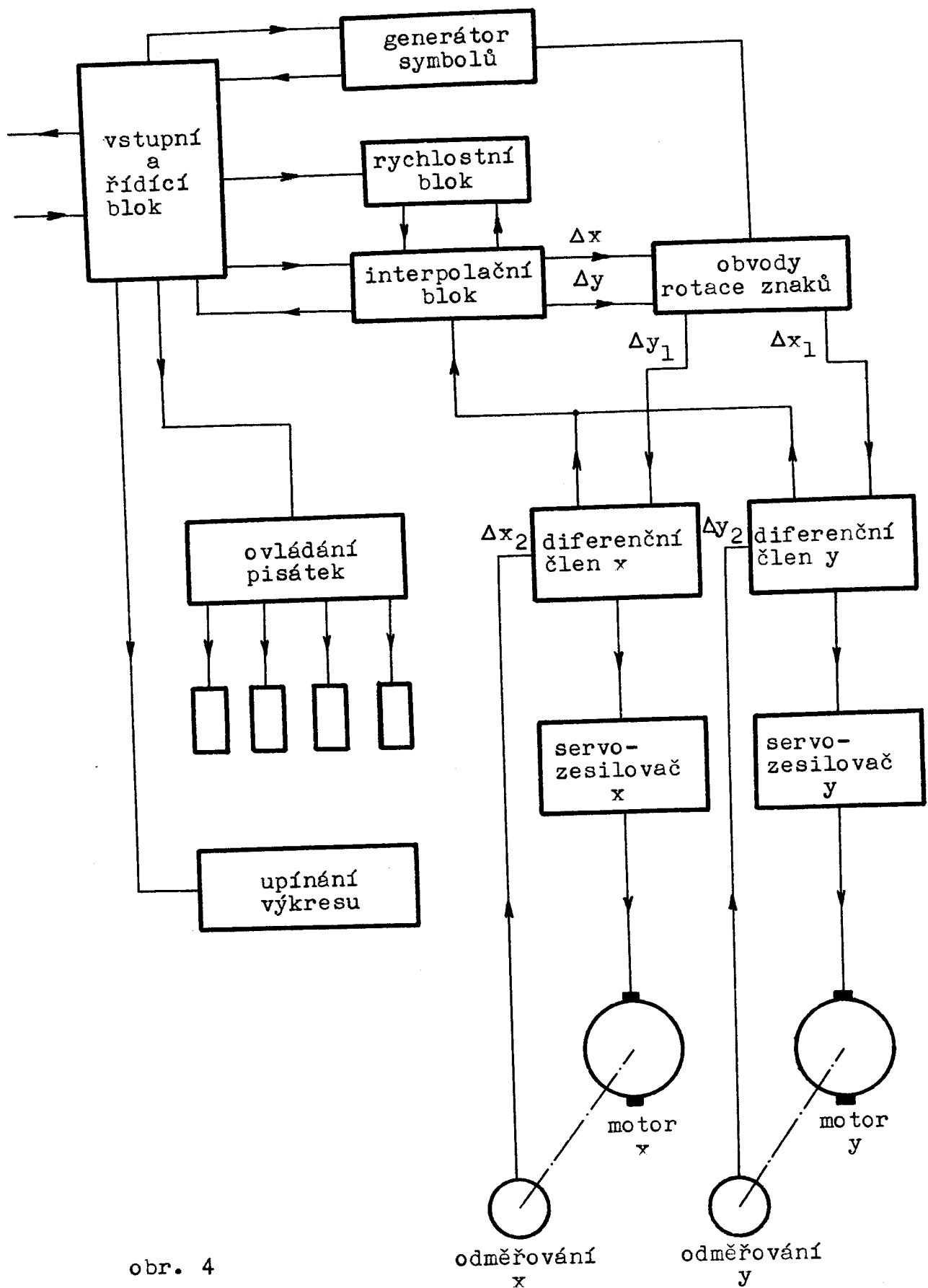
## 4.2 Digigraf 1008 D3G

### 4.2.1 Systém Digigraf

ZPA Nový Bor vyrábí přesné kreslicí stoly Digigraf 1612 a Digigraf 1008 s řídicí elektronikou Dapos D3G nesoucí v jednotném systému počítačů označení EC 7054. Řídicí jednotka umožňuje buď přímé připojení na počítač 3. generace jednotného systému JSEP, nebo tzv. off-line řízení z děrné pásky. Blokované schéma elektronické části systému EC 7054 je na obr. 4. Řídicí jednotka je vybavena těmito funkcemi:

- volba pisátek (1 ze 4),
- volba měřítko kreslení (1 : 1, 1 : 2, 2 : 1),
- volba velikosti znaku (4,8; 6; 7,2 mm),
- úhel natočení znaku ( $0 - 360^\circ$  po  $22,5^\circ$ ),
- volba rychlosti kresby (8 stupňů v geometrické řadě),
- soubory znaků: česká abeceda  
ruská abeceda
- volba typu čáry (plná, čárkovaná, čerchovaná),
- krátká nebo dlouhá úsečka,
- kružnice v kladném nebo záporném smyslu otáčení.

Řídicí jednotka systému EC 7054 neobsahuje mikroprocesor, všechny uvedené funkce jsou realizovány jednoúčelovými číslicovými bloky. Zařízení je schopno kreslit úsečky, body, kruhové oblouky a znaky, které jsou složeny z úseček a kruho-



obr. 4

vých nebo elipsových oblouků. Generátor symbolů (znaků) je realizován jako mikroprogramový blok, jenž po přijetí kódové kombinace znaku generuje postupně do interpolačního bloku příkazy a data, potřebná k vykreslení znaku. Informace o tvaru znaků a jejich kódu, je uložena v pevné transformátorové paměti. Změnou obsahu paměti lze tedy měnit soubor a kód znaků bez další změny zařízení. Natáčení vykreslovaného znaku a transformaci tvořící kružnice na elipsu provádějí obvody rotace znaku. Obě tyto funkce jsou realizovány pomocí tzv. binárních násobiček pulsů (druh jednoduchého číslicového integrátoru). Obvody natáčení v podstatě modelují rovnice pro rotaci objektu (vektoru) v kartézské soustavě souřadnic.

Řízení polohy kreslicí hlavy provádí v obou souřadnicích číslicové servomechanismy. Servomechanismus je tvořen stejnosměrným motorem, fotoelektrickým odměřováním, diferenčním členem a servozsilovačem, uzavřenými ve smyčce. Generaci vykreslované čáry, tj. přímky nebo kružnice, provádí interpolační blok. Interpolační blok generuje impulsy  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , odpovídající přírůstkům schodovité funkce, která nahrazuje ideální hladkou křivku. Algoritmus interpolace, tj. generace schodovité funkce, je založen na výpočtu funkce  $f(x,y)$  v každém dosaženém bodě. Funkce  $f(x,y)$  představuje mnohočlen 1. nebo 2. stupně s proměnnými  $x,y$ , který získáme z rovnice interpolované ideální křivky převedením této rovnice na tvar:

$$f(x,y) = 0$$

$$m \cdot y - n \cdot x = 0$$

$$(x - r)^2 + y^2 - r^2 = 0$$

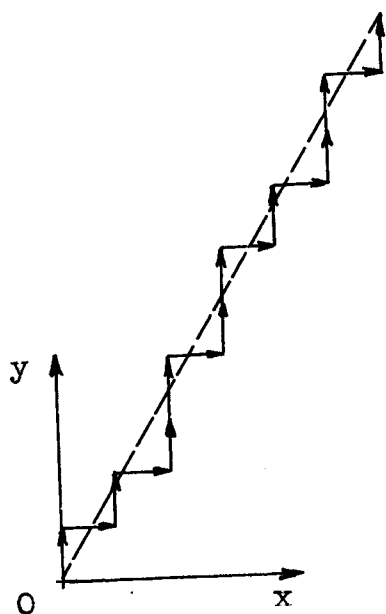
pro úsečku

pro kružnici

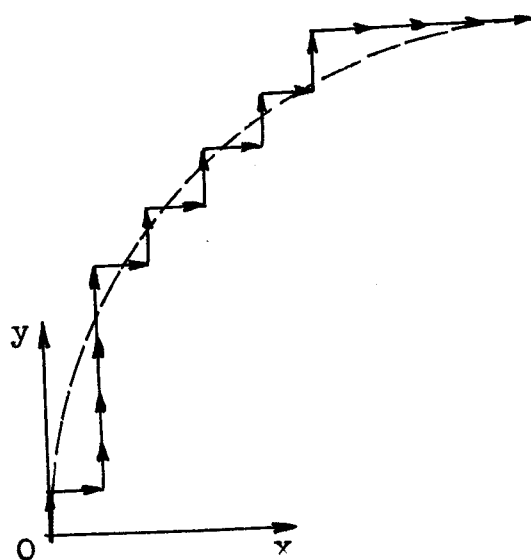
Příklady interpolací pro úsečku a kružnici jsou na obr.5,6. Činnost interpolačního bloku je synchronizována navíc s rychlostním blokem a diferenčním členem. Rychlostní blok řídí



rychlost interpolace a tím rychlost kresby. Zvolená rychlost kresby je udržována s několika procentní přesností konstantní, a to nezávisle na tvaru kreslené křivky. Vzhledem k velkým setrvačným hmotnostem pohybujících se mechanických částí při poměrně rychlé kresbě je z diferenčního členu do interpolačního bloku zavedena zpětná vazba, omezující hodnotu zrychlení nebo zpomalení na začátku nebo na konci interpolace křivky. Omezení maximální hodnoty zrychlení pomocí zpětné vazby je důležité pro dodržení stanovené přesnosti kresby i během rozběhu (doběhu) servomechanismů. Zpětná vazba při doběhu zabraňuje přejetí koncového bodu generované křivky.



obr. 5



obr. 6

Rameno kreslicího stolu Digigraf 1008 nese vlastní pohon osy x (servomotor s převodovkou, pastorkem a rotačním odměřováním) a kreslicí hlavu s pohonem osy y. Pastorek zasahuje do ozubeného hřebenu umístěného na okraji kreslicí plochy (pro osu x) nebo na rameni (pro osu y). Konstrukce mechaniky zaručuje potřebnou tuhost pro přesnou kresbu, avšak za cenu

velkých setrvačných hmotností, které omezují zrychlení a rychlost kresby.

Kreslicí stůl Digigraf 1008 má tyto parametry:  
velikost kreslicí plochy: 1 000 x 841 mm,  
základní krok rozlišení: 0,05 mm,  
maximální rychlost kreslení: 100 mm/s,  
počet pisátek: 2 nebo 4.

#### 4.2.2 Způsob programování

Programování na kreslicí stůl Digigraf se může provádět dvěma způsoby:

- přírůstkové programování,
- programování v SUBROUTINECH.

Přírůstkové programování je velmi zdlouhavé a pro uživatele je výhodnější druhý způsob programování.

#### Koncepce systému OKP-OS:

Podprogramy pro grafický výstup jsou sestaveny tak, aby uživatel mohl psát své programy co nejjednodušeji. Systém podprogramů je koncipován tak, aby bylo umožněno použití grafických funkcí v jazycích FORTRAN, PL 1 a ASSEMBLER, při dodržení základních systémových koncepcí pro volání podprogramů. Systém OKP-OS používá pro zadávání grafických a indikačních hodnot, které jsou jednoho typu, a to typu INTEGER. Číselné údaje, které mají charakter souřadnic nebo délkových rozměrů, se zadávají v setinách mm při měřítku 1 : 1. Všechny hodnoty úhlových rozměrů se zadávají v tisícinách stupňů jako orientovaný úhel. Směr kresby kružnice a kruhových oblouků, je-li definován znaménkem, je pro kladný směr proti smyslu a pro záporný směr ve smyslu chodu hodinových ručiček. Textové hodnoty jsou představovány znakovými řetězci ukončenými středníkem. Velikost znaku nebo textu je udávána v desetínách

mm. Souřadné hodnoty, které jsou definované pro zobrazení, mohou být předávány jako:

- jednoduché proměnné (pro x a y-ovou souřadnici odděleně),
- N-prvkové jednorozměrné pole (liché prvky určují x-ové souřadnice a sudé prvky y-ové souřadnice daných bodů).

Kreslicí pole má tvar obdélníka. Jeho maximální rozměry jsou dány kreslicí plochou grafického zařízení. Uživatel si může definovat souřadnice kreslicího pole ve vlastních (uživatelských) souřadnicích, zadáním bodu minima a maxima.

Překročení kreslicí plochy je kontrolováno řídicí elektronikou a způsobí přerušování kresby s následující ztrátou informace. Překročení kreslicího pole je kontrolováno i programem. Jsou vykresleny pouze motivy, které jsou součástí kreslicího pole. Body mimo kreslicí pole slouží pouze k výpočtům. Znaky označující body jsou kresleny v případě, že označované body leží v kreslicím poli nebo na jeho hranici. Překročení kreslicího pole není signalizováno.

Podprogramy systému OKP-OS jsou volány stejně jako jiné podprogramy v jazyce FORTRAN IV příkazem volání podprogramu. Je nutné dodržet pořadí, počet a typ parametru tak, jak jsou uvedeny v popisu jednotlivých kreslicích podprogramů. Jako skutečné parametry mohou být použity:

- konstanty,
- jednoduché nebo indexované proměnné,
- jména polí,
- textové konstanty.

Příklad:           CALL S(A1, A2, ..... AN)  
                  S ..... jméno kreslicího podprogramu  
                  AY .... skutečné parametry

Jednotlivé podprogramy můžeme rozdělit do dvou skupin:

- podprogramy základního systému,
- podprogramy funkčního systému.

Podprogramy základního systému jsou propojeny systémovými vazbami a představují tak kompaktnější prostředky grafického výstupu. Podprogramy umožňují kresbu všech základních motivů (lomených čar, kružnic, kruhových segmentů, obecně interpolovaných křivek, textu, popisu čísel a značení bodů) při zachování popisu vlastního souřadného systému. Při zpracování je hlídáno, zda nedošlo k překročení hranice kreslicího pole. Podprogramy funkčního systému řeší nejčastěji pomocné operace, např. kresbu souřadných os, jejich popis a rozdělení na osách, šrafování, sítě atd.

## 5. Vrták s VD-SK

Vrtáky s VD-SK skýtají široké možnosti použití při obrábění. Jejich hlavní použití je pro vrtání do plného i předvrtaného materiálu. Lze je použít i tam, kde selhávají vrtáky šroubovitě, tj. při vrtání do šikmých stěn a při vrtání trubek mimo jejich osu. Vrták může při práci vykonávat rotační pohyb a obrobek stojí nebo vrták se neotáčí a rotuje obrobek. Tyto nástroje se mohou s výhodou použít v sériové výrobě pro vrtání otvorů do hloubky až 2D, ve zvláštních případech až 3,5D. U těchto vrtáků je velmi dobré středění a odpadá předvrtávání. Je možné použít mnohem vyšších rezných rychlostí při mnohem menších posuvových silách. Vrták není tolik osově zatěžován, protože ve styku s obrobkem je pouze vyměnitelná břitová destička (VBD). Hospodárným způsobem lze dosáhnout stupně přesnosti IT 11. Z důvodů použití VBD se zvyšuje hospodárnost (pokles nákladů na nářadí je až o 27%).

Nástroj si zachovává konstantní délku a průměr, z toho vyplývá velmi výhodné použití hlavně u číslicově řízených obráběcích strojů a automatizovaných systémů, protože se nástroj nemusí přeastřovat a po výměně BD má stále stejný rozměr. Nastavení břitové destičky na nástroji a použitím utvářečů nebo lamačů třísek se bude tříska krátce lámat. To je jedna z dalších výhod pro práci na NC-strojích a také pro tzv. třískové hospodářství.

#### Podmínky použití

Jednou z velmi důležitých podmínek pro práci tohoto nástroje je, že při vrtání do hloubky větší než 1 vrtaný průměr je nutný vnitřní přívod (tj. tělesem vrtáku) tlakové chladicí kapaliny. Z hlediska použití VBD je nutné zamezit vzniku vibrací zvýšenou tuhostí obráběcího stroje.

Nejracionálnější postup zhotovení tolerovaného otvoru v kusové a malosériové výrobě je tento:

- vrtákem s VD-SK s průměrem o 2 mm menší než žádaný průměr otvoru,
- vyvrtávací tyčí,
- dokončovací operace.

Velmi výhodné je použití kazet s VBD a to jak z hlediska nepoškození (vymačkání) drahého tělesa nástroje, ale také možností nastavení vrtaného průměru v určitém rozsahu. Vrtáky s VD-SK se mohou použít na vrtacích a frézovacích strojích, na jednoúčelových strojích a automatických linkách, na soustružnických strojích a obráběcích centrech. Z hlediska opotřebení VBD je nejlepší použít povlakované VBD, neboť mají až 2x menší opotřebení než nepovlakované VBD.

## 5.1 Konstrukční prvky vrtáku

Vrták s VD-SK je konstruován pro tyto hlavní požadavky:

- maximální hloubka vrtání je 2D,
- použití pro hrubovací operace.

Nástroj je celistvý, je vyroben z jednoho kusu materiálu obráběním. Z důvodů matematického řešení výpočtu nástroje je vrták rozdělen na jednotlivé konstrukční prvky (obr. 7).

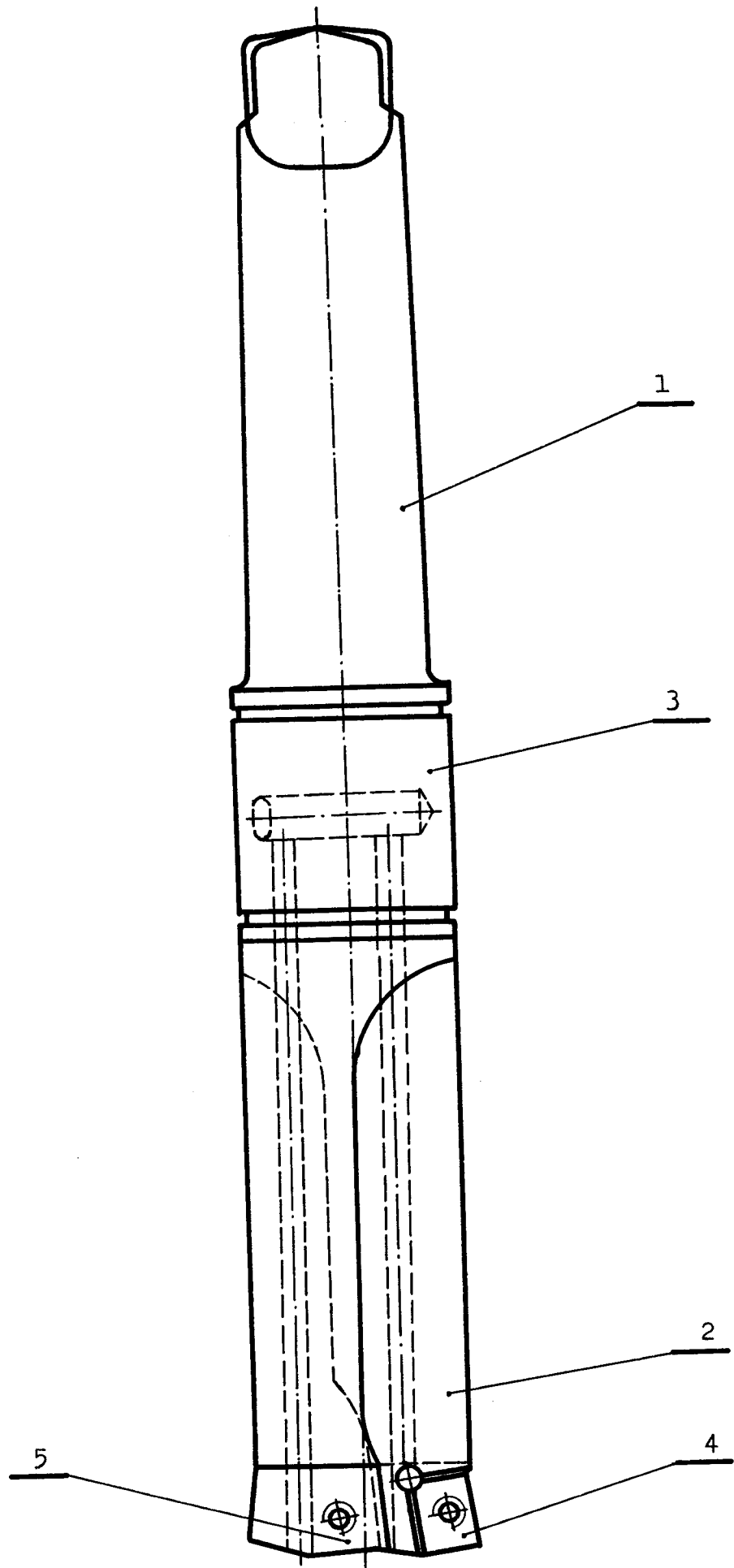
Jsou to:

- upínací část tělesa nástroje (poz. 1),
- těleso řezné části nástroje (poz. 2),
- část tělesa nástroje pro přívod chladicí kapaliny (poz. 3),
- lůžko pro uložení vnější VBD (poz. 4),
- lůžko pro uložení vnitřní VBD (poz. 5).

Těleso vrtáku je vyrobeno z jednoho kusu materiálu obráběním. Skládá se z řezné části, na které jsou vyrobena lůžka pro uložení VBD nebo kazet s VBD, které se používají při vrtání větších průměrů. Od řezné části po upínací část je těleso opatřeno drážkami pro odvod třísek z místa řezu. Drážka může být přímá nebo v mírné šroubovici.

Na řezné části nástroje jsou uloženy VBD. U vrtáků menších průměrů se používá 1 BD uložená v lůžku, které je vyfrézováno v tělese nástroje. Vrtáky větších průměrů jsou osazeny 2,3 i 4 BD, to závisí na velikosti průměru nástroje. BD jsou uloženy také do vyfrézovaných lůžek. Může se použít též kazetové provedení. To umožňuje nastavení řezné geometrie formou výměnných kazet. Lze měnit i vrtaný průměr v určitém rozsahu nastavením vnější kazety s VBD na určitý průměr vrtaného otvoru.

Upínací část nástroje se rozlišuje podle toho, zda má vrták při práci rotovat nebo stát a rotovat obrobek. Pro rotující



obr. 7

provedení je použit Morse kužel nebo Iso kužel. Pro stojící provedení je použit buď přímo válcový dřík, nebo válcový dřík s dvěma rovnoběžnými ploškami. Může se použít i speciální válcová redukce s dvěma rovnoběžnými ploškami určená k nasazení na Morse kužel.

Chladicí systém je nutný ani ne z důvodů chlazení VBD, ale z důvodů vytlačování třísek z místa řezu a z drážek v tělese vrtáku. Řezná kapalina je přiváděna do nástroje osovým otvorem nebo otvorem kolmým na osu vrtáku před upínací část přes speciální kroužek. Tento kroužek je z plastické hmoty a utěsněn O-kroužky a upevněn dvěma pojistnými kroužky.

## 5.2 Popis programu

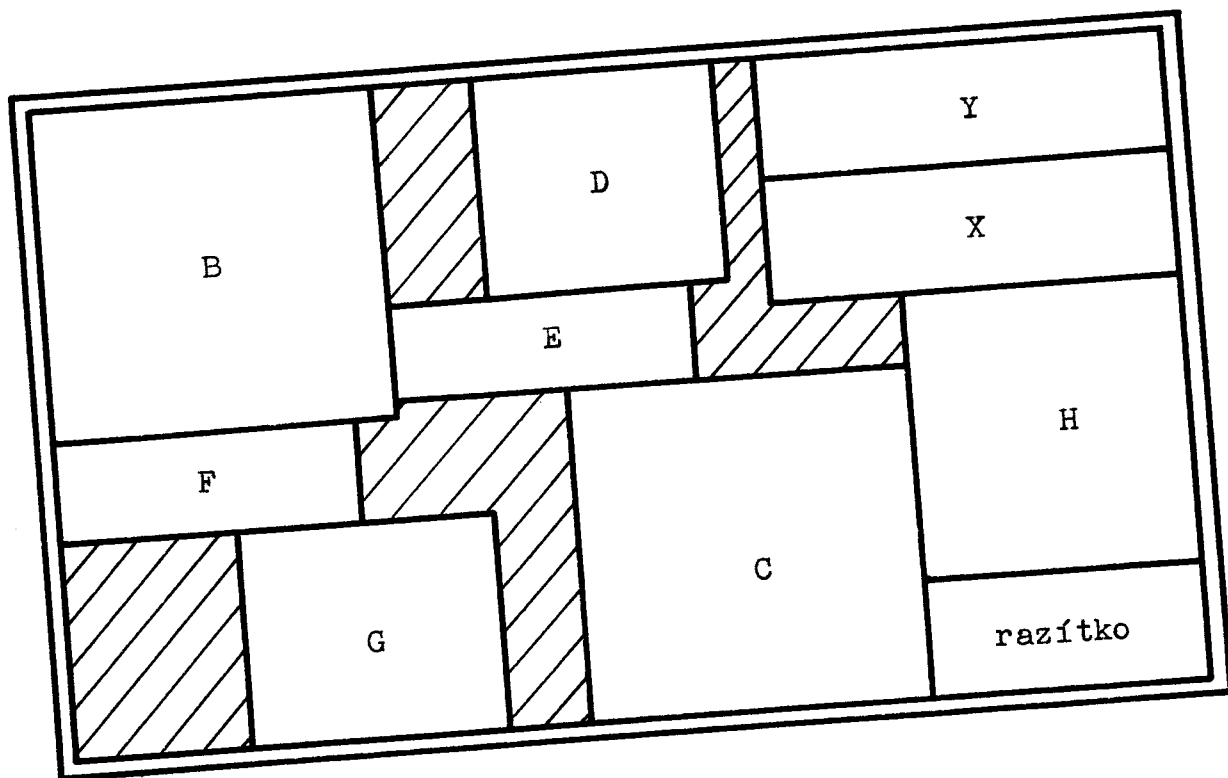
### 5.2.1 Označení a rozmístění konstrukčních prvků na výkrese

Při sestavování programu pro kresbu vrtáku s VD-SK jsem vycházel z neokótovaného výkresu vrtáku. Celý výkres se skládá z několika řezů a pohledů, které jsou nutné pro úplnou výkresovou dokumentaci pro výrobní oddělení. Podle toho jsem provedl i rozdělení celého programu pro kresbu na dílčí programy jednotlivých řezů a pohledů. Toto rozdělení bylo zároveň výhodné jak z hlediska délky samotného programu a tím i děrné pásky pro Digigraf, tak i z hlediska přehlednosti pro odlaďování programu. Na obr. 8 je znázorněno rozdělení výkresu na dílčí celky.

<u>dílčí celek</u>	<u>plocha celku x . y /mm/</u>
B . . . . pohled "F" - pohled na hrot vrtáku ze strany vnějšího lůžka pro BD	300 x A1
C . . . . pohled "E" - pohled na hrot vrtáku ze strany vnitřního lůžka pro BD	300 x A1



D . . . . .	řez B-B - příčný řez vrtákem v místě otvoru pro přívod chladicí kapaliny	120 x 100
E . . . . .	řez H-H - řez vnitřním lůžkem pro BD	150 x 130
F . . . . .	řez J-J - řez vnějším lůžkem pro BD	150 x 130
G . . . . .	pohled "C" - pohled na hrot vrtáku zepředu	A2 x A2 360 x 120
X . . . . .	půdorys vrtáku	360 x 120
Y . . . . .	nárys vrtáku	220 x 284
H . . . . .	poznámky	



obr. 8

Rozměry A1 a A2 jsou variabilní rozměry dílčích bloků B, C a G.

$$A1 = TY1D2 \times 5 + 80$$

$$A2 = TY1D2 \times 2 + 80$$

Program a rozdělení dílčích celků je vypracován pro průměr vrtáku 42 mm. Při průměru menším zůstává rozdělení jednotlivých celků stejné, u větších průměrů ale dochází ke zvětšování bloků B, C a G podle variabilních rozměrů. Musí tedy dojít ke změně v uspořádání jednotlivých bloků na výkrese a formát výkresu se bude měnit na prodloužený formát.

Pro rozlišení kresby jednotlivých konstrukčních prvků v programu jsem zavedl následující označení:

J - KLM - N

J . . . . označení celku na výkrese (viz. obr. 8)

K . . . . obecné značení celku

K = 1 . . . . nárys

K = 2 . . . . půdorys

K = 3 . . . . pohled

K = 4 . . . . řez

L . . . . určení měřítko (číslo udává zvětšení)

M - N . . určení jednotlivých konstrukčních prvků

01 - FIY1 . . . . stopka vrtáku

02 - HYL . . . . hydraulika

03 - TY1 . . . . těleso vrtáku

04 - SY2 . . . . vnitřní lůžko

05 - SY1 . . . . vnější lůžko

06 - HB . . . . vrtání pro chlazení

Příklad označování v programu:

C - 3504 - SY2

- pohled na hrot vrtáku ze strany vnitřního lůžka v měřítku

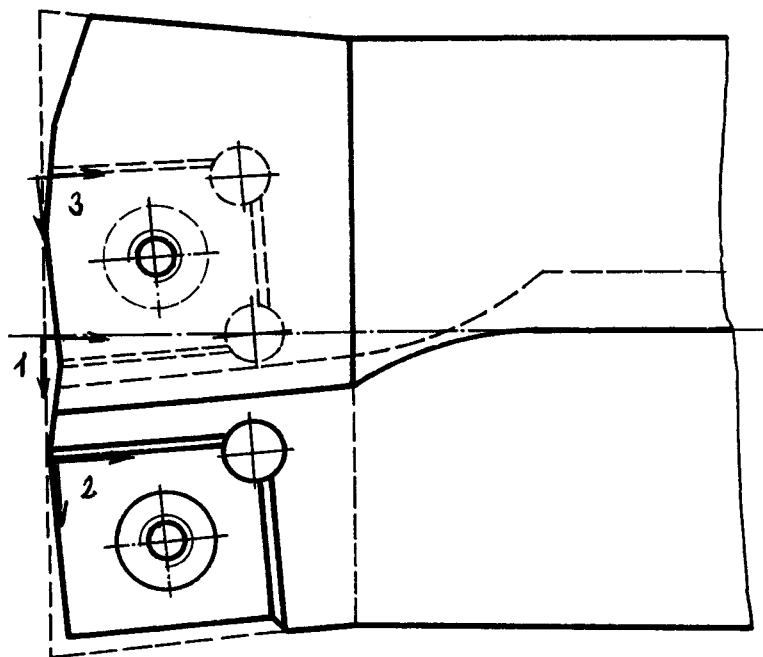
5 : 1, konstrukční prvek - vnitřní lůžko.

### 5.2.2 Souřadné systémy jednotlivých konstrukčních prvků

Každý dílčí blok se skládá z několika konstrukčních prvků. Pro každý konstrukční prvek platí určité zásady při kótování. Při výpočtu jednotlivých určujících bodů na obrysu jsem tedy vycházel z konstrukčních základů jednotlivých prvků a bral jsem také při výpočtu ohled z hlediska nejvýhodnější kresby. Do zvolených bodů na konstrukční základně jsem umístil dílčí souřadné systémy konstrukčních prvků. Návaznost mezi konstrukčními prvky při kresbě je programově zajištěna. Blok B - 35 (pohled na hrot vrtáku ze strany vnějšího lůžka) se skládá z těchto konstrukčních prvků:

- B - 3503 - TY1 . . . . tělesa vrtáku
- B - 3504 - SY2 . . . . vnitřního lůžka
- B - 3505 - SY1 . . . . vnějšího lůžka

Umístění jednotlivých souřadných systémů je na obr. 9.



obr. 9

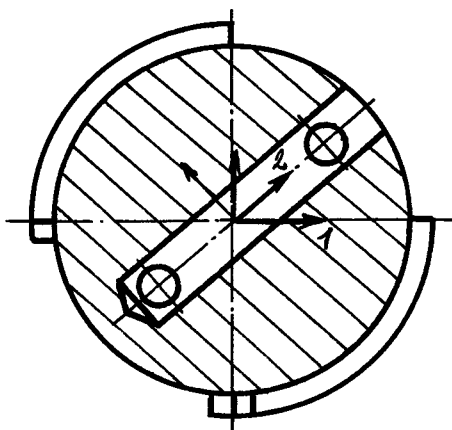
Souřadný systém  $x_1, y_1$  jsem umístil do osy vrtáku z hlediska výhodného výpočtu souřadnic, protože se jedná o rotační součást. Souřadný systém  $x_2, y_2$ , tj. systém u vnějšího lůžka pro BD, je umístěn na konstrukční základnu lůžka. Podobně je tomu i u vnitřního lůžka. Umístění těchto systémů je vázáno polohou BD na vrtáku. U vnějšího lůžka je to vázáno na průměr vrtáku, u vnitřního lůžka je to zase přesazení BD přes osu vrtáku. Jednotlivá posunutí a otočení souřadných systémů jsou při kresbě programově zajištěna.

Blok C - 35 (pohled na hrot vrtáku ze strany vnitřního lůžka) se skládá ze stejných konstrukčních prvků:

- C - 3503 - TY1 . . . . tělesa vrtáku
- C - 3504 - SY2 . . . . vnitřního lůžka
- C - 3505 - SY1 . . . . vnějšího lůžka

Souřadné systémy pro jednotlivé konstrukční prvky jsou umístěny stejně jako u bloku B - 35.

Blok D - 41 (příčný řez vrtákem v místě otvoru pro přívod chladicí kapaliny) se skládá z tolerované válcové části pro upnutí hydraulického kroužku a vrtání pro přívod chladicí kapaliny do vrtáku. Umístění souřadných systémů je na obr. 10.



obr. 10

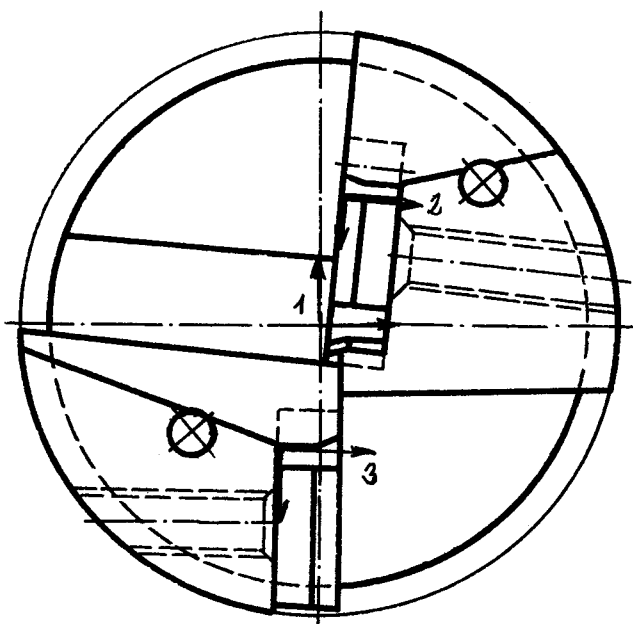
Souřadný systém  $x_1, y_1$  jsem umístil do osy vrtáku, protože se jedná o rotační tvar. Pro okótování jsem tento souřadný sys-

tém otočil o úhel ( $HAL - 90^\circ$ ), abych měl umístění kót v pravouhlém souřadném systému.

Blok G - 32 (pohled na hrot vrtáku zepředu) se skládá z těchto konstrukčních prvků:

- G - 3203 - TY1 . . . . tělesa vrtáku
- G - 3204 - SY2 . . . . vnitřního lůžka
- G - 3205 - SY1 . . . . vnějšího lůžka

Umístění jednotlivých souřadných systémů pro výpočet je na obr. 11.



obr. 11

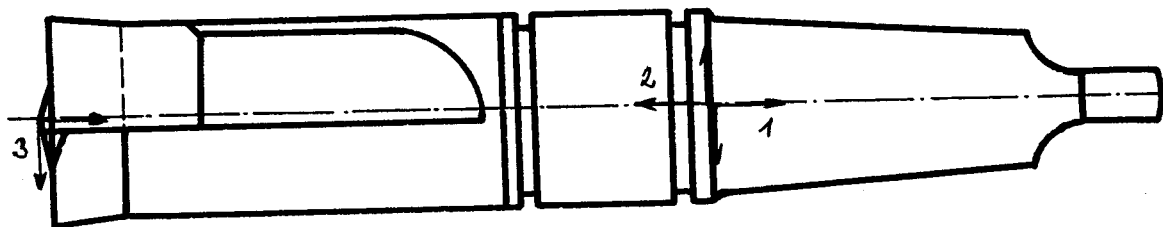
Souřadný systém  $x_1, y_1$  je umístěn do osy vrtáku. Je tam umístěn proto, že těleso vrtáku je rotačního tvaru. Souřadné systémy pro vnitřní a vnější lůžko jsou umístěny jako u bloku B - 35.

Blok X - 21 (půdorys vrtáku) se skládá z těchto konstrukčních prvků:

- X - 2101 - FIY1 . . . . stopky vrtáku
- X - 2102 - HY1 . . . . hydrauliky

- X - 2103 - TY1 . . . . tělesa vrtáku
- X - 2104 - SY2 . . . . vnitřního lůžka
- X - 2105 - SY1 . . . . vnějšího lůžka
- X - 2106 - HB . . . . vrtání pro chlazení

Umístění jednotlivých souřadných systémů je na obr. 12.



obr. 12

Souřadný systém  $x_1, y_1$  je pro výpočet a kresbu stopky. Protože se jedná o rotační tvar, je počátek umístěn na osu vrtáku. I pro kresbu hydrauliky je zachován stejný počátek, jenom souřadný systém  $x_2, y_2$  je proti původnímu otočen o  $180^\circ$ . Souřadný systém  $x_3, y_3$  je umístěn do špičky vrtáku. V tomto souřadném systému je kresleno těleso vrtáku, vnitřní i vnější lůžko pro BD a vrtání pro přívod chladicí kapaliny. Pro všechny tyto konstrukční prvky jsem volil jeden souřadný systém, protože se zde jedná o názorný obrázek pro umístění jednotlivých konstrukčních prvků na vrtáku. Detailní zobrazení jednotlivých konstrukčních prvků je totiž provedeno zvlášť.

Blok Y - 11 (nárys vrtáku) se skládá ze stejných konstrukčních prvků. Umístění a otočení souřadných systémů je shodné s blokem X - 21 (půdorysem).

### 5.2.3 Vlastní programování pohledů a konstrukčních prvků

Vlastní program pro kresbu vrtáku je tedy rozdělen na několik dílčích programů, a to z hlediska jeho délky a tím i délky děrné pásky, ale i z hlediska přehlednosti při odladování jednotlivých programů. Každý program se skládá z několika částí:

- úvodní (deklarování jednotlivých proměnných),
- výpočet souřadnic určujících bodů,
- přiřazení do polí,
- vyvolávání kreslicích podprogramů,
- závěrečná (zadání číselných hodnot pro proměnné).

Při výpočtu jednotlivých souřadnic určujících bodů jsem vycházel z předem určených souřadných systémů pro každý konstrukční prvek zvlášť, tj. počítá se zde s určitým posunem a natočením souřadných systémů. Tyto vypočtené hodnoty jsem nejdříve převedl na setiny a ještě znásobil měřítkem. Potom jsem převedl tyto hodnoty z REAL na INTEGER. Podobným způsobem jsem připravil hodnoty posunutí souřadných systémů a poloměrů. Všechny hodnoty jsem uložil do N-prvkového jednorozměrného pole.

Při vyvolávání kreslicích podprogramů jsem jako skutečných parametrů použil jednotlivé indexované proměnné z připravených polí souřadnic A a B, posunutí D a poloměrů P, dále jsem použil jako skutečné parametry u některých podprogramů N-prvkové jednorozměrné pole. Tyto pole jsem si dodatečně určil a deklaroval před vyvolávacími kreslicími podprogramy.

Takto vypracovaný program jsem naděroval na děrné štítky a odladil na počítači. Z počítače jsem dostal děrnou pásku jako řídicí medium pro Digigraf. Také na Digigrafu bylo nutné jednotlivé programy odladit a případné chyby opravit.

### Program VRTB

Tento program kreslí blok B - 35, tj. pohled na hrot vrtáku ze strany vnějšího lůžka. Souřadné systémy pro výpočet jsou rozmístěny podle obr. 9. Souřadnice určujících bodů jsou počítány postupně pro každý konstrukční prvek zvlášť. Na celém obrázku je zapotřebí určit celkem 154 souřadnic, 5 poloměrů a 4 posunutí. Na kreslicím stole Digigraf je použita hlava se dvěma pisátky. Při kresbě obrysu a kótování je výměna pisátek programově zajištěna.

Nejdříve se kreslí těleso vrtáku pisátkem číslo 1. Po výměně pisátka se provádí okótování tělesa. Nyní dochází k posunutí souřadného systému pro kresbu vnějšího lůžka. Opět kreslí pisátko číslo 1 a kreslí se obrys lůžka. Po výměně prvního pisátka se provádí kompletní okótování vnějšího lůžka. Po okótování opět dochází k posunutí souřadného systému a ke kresbě vnitřního lůžka čárkovanou čarou.

### Program VRTC

Tento program kreslí blok C - 35, tj. pohled na hrot vrtáku ze strany vnitřního lůžka. Souřadné systémy pro výpočet a kresbu jsou rozmístěny stejným způsobem jako u bloku B - 35. V celém programu bylo nutno spočítat 152 souřadnic, 5 poloměrů a 6 posunutí.

Nejdříve se opět kreslí obrys tělesa pisátkem číslo 1. Potom dochází k výměně pisátka a pisátkem číslo 2 se provádí okótování tělesa, čerchovanou čarou se kreslí osy a čárkovanou čarou neviditelné hrany. Dochází k posunutí souřadného systému a ke kresbě vnějšího lůžka čárkovanou čarou. Po další změně souřadného systému a výměně pisátka dochází ke kresbě vnitřního lůžka. Nejdříve se kreslí obrys lůžka pisátkem číslo 1 a potom pisátkem číslo 2 kompletní okótování lůžka.



### Program VRID

Tento program kreslí blok D - 41, tj. příčný řez vrtákem v místě otvoru pro přívod chladicí kapaliny. Souřadné systémy jsou umístěny do osy vrtáku. Pro kresbu tohoto řezu je spočítáno 57 bodů na obrysu a 4 poloměry. Dále jsem spočítal omezující obrazec pro šrafování řezné plochy. Pro dostatečné omezení jsem volil 39-úhelník. Na kružnici je provedeno dělení po  $10^{\circ}$ , ostatní je po rovných čarách otvoru.

Nejprve se kreslí pisátkem číslo 1 obrys, potom po výměně pisátka souřadné osy. Po otočení souřadného systému o úhel (HAL -  $90^{\circ}$ ) se provádí okótování řezu a potom vyšrafování řezné plochy.

### Program VRTE

Tento program kreslí blok E - 4504 - SY2, tj. vnitřní lůžko pro BD. Na celém řezu bylo zapotřebí spočítat 84 souřadnic určujících bodů. Dále bylo třeba určit mnohoúhelníky pro šrafování roviny řezu. Tuto plochu bylo nutno rozdělit na 2 části, protože rovina řezu je přerušena otvorem pro šroub k upevnění BD.

Nejdříve se kreslí tvar lůžka pro BD, potom po výměně pisátka se kreslí osy a kóty. Nakonec se šrafuje řezná plocha, nejdříve levá část a potom pravá.

### Program VRTF

Tento program kreslí blok F - 4505 - SY1, tj. vnější lůžko pro BD. V celém programu je spočítáno 81 souřadnic určujících bodů. Podobně jako v programu VRTE jsem určil omezující mnohoúhelníky pro šrafování řezné plochy. Postup kresby je stejný jako u programu VRTE.

### Program VRTG

Tento program kreslí blok G - 32, tj. pohled na hrot

vrtáku zepředu. V tomto pohledu je nakresleno rozmístění lůžek pro BD na vrtáku. Bylo zapotřebí spočítat na obrysu celkem 112 souřadnic určujících bodů. Rozmístění souřadných systémů pro jejich výpočet je na obr. 11.

Nejprve se kreslí těleso vrtáku. Po výměně pisátka se kreslí souřadné osy a okótování tělesa. Po změně souřadného systému a výměně pisátka číslo 2 se kreslí vnitřní lůžko pro BD. Po výměně pisátka a vyvolání podprogramu pro kresbu čárkované čáry se provádí kresba otvoru se závitem pro upínací šroub. Po další změně druhu pisátka se kreslí osy otvorů. Po dokončení kresby vnitřního lůžka dochází ke změně polohy souřadného systému a kreslí se vnější lůžko stejným způsobem jako vnitřní.

#### Program VRTX

Tento program kreslí blok X - 21, tj. půdorys vrtáku. Pro kresbu všech konstrukčních prvků bylo třeba spočítat 136 souřadnic určujících bodů, 4 poloměry a 2 posunutí. Poloha souřadných systémů je na obr. 12.

Nejprve se kreslí stopka vrtáku. Pro její kresbu je použito podprogramu pro zrcadlové otočení kresby kolem osy y. Po změně pisátka se provádí okótování stopky. Po okótování se vymění pisátko a otočí celý souřadný systém o  $180^{\circ}$  a kreslí se část vrtáku pro upnutí hydraulického kroužku pro přívod chladící kapaliny. Po změně pisátka se provádí okótování. S další výměnou pisátka a posunem souřadného systému do špičky vrtáku se provádí kresba tělesa řezné části vrtáku. Potom se kreslí drážka pro odvod třísek. Se změnou pisátka se provede dokončení okótování a nakreslení osy vrtáku.

#### Program VRTY

Tento program kreslí blok Y - 11, tj. nárys vrtáku. Po-

loha souřadných systémů je stejná jako v programu VRTX. Celkem bylo třeba vypočítat 129 souřadnic určujících bodů, 10 poloměrů a 2 posunutí.

Stopka a hydraulika se kreslí stejným postupem jako v programu VRTX. Po změně polohy souřadného systému do špičky vrtáku se nejprve kreslí těleso vrtáku, potom drážky pro odvod třísek, vnější lůžko, vnitřní lůžko a po změně pisátka díra pro přívod chladicí kapaliny. Konstrukční prvky vnější a vnitřní lůžko a díra pro přívod chladicí kapaliny jsou kresleny dohromady s tělesem vrtáku, protože se zde jedná o názorný obrázek o uspořádání těchto prvků na vrtáku. Detailní rozkreslení jednotlivých prvků je provedeno zvlášť.

#### Program DRSN

Tento program provádí kompletní popis výkresu. Nejdříve se provádí kresba rámečku výkresu. Potom se kreslí značky drsnosti s konkrétními hodnotami drsnosti povrchu, které má být dosaženo na jednotlivých konstrukčních prvcích. Nakonec se provádí vyplnění rohového razítka a napsání poznámek do bloku H (dle obr. 8) na výkrese.

### 6. Úpravy programů

#### 6.1 Rozměrové změny

Úpravy v programu mohou být rozměrové nebo tvarové. Rozměrové změny jsou programově zajištěny v programu. Program je vypracován jako obecný výpočet a jednotlivé rozměrové změny jsou v něm zajištěny. Změní se jen vstupní data programu v závislosti na matematickém výpočtu nástroje pomocí počítače /1/. Např. při změně velikosti břitové destičky zůstává okótování lůžka stejné a dojde jen ke změně polohy souřadného systému. Toto posunutí je v programu programově

zajištěno.

## 6.2 Tvarové změny

Tvarové změny s sebou přinášejí přepracování části programu. Jednotlivé konstrukční prvky jsou v programu označeny kódovou kombinací a ještě slovním popisem. Dojde-li ke změně tvaru, musí se příslušná část programu s vyvolanými podprogramy pro kresbu vyjmout ven. Ze skutečných parametrů vyvolaného podprogramu se určí souřadnice a pole a tím dostaneme příslušné hodnoty, které musíme opravit. Na změněném tvaru opět spočítáme souřadnice určujících bodů, přiřadíme je do polí a napíšeme kreslicí program. Takto zhotovené tři části vložíme zpět do příslušných míst v programu. Program necháme spočítat z děrných štítků na počítači. Jako výstup dostaneme děrnou pásku, kterou potom ověříme na kreslicím stole Digi-  
graf. Takovéto změny mohou být např. záměna kuželové stopky za válcovou, drážky pro odvod třísek mohou být v mírné šroubovici nebo se může použít trojúhelníkových BD místo čtvercových (tím se změní tvar lůžka, ale výpočet se bude provádět ze stejných souřadných systémů jako u čtvercové BD) atd.

Z uvedeného je tedy patrné, že rozměrové změny jsou zajištěny programově změnou vstupních dat. Tvarové změny souvisejí s náročnějším zásahem do programu a přepracováním jeho určité části.

## 7. Hodnocení a závěr

Úkolem mé diplomové práce bylo grafické znázorňování nástrojů pomocí počítače. Jako jeden z dílčích úkolů bylo vypracování programu pro kresbu vrtáku se dvěma vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Tento program na-

vazuje na diplomovou práci "Návrh konstrukce vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami z SK", ve které je vypracován program pro výpočet vrtáku. Z těchto hodnot jsem vycházel při sestavování kreslicího programu. Celý program je vypracován pro rozsah průměru vrtáku 30 - 60 mm, vrták je se dvěma vyměnitelnými BD a drážky pro odvod třísek jsou přímé.

Přínosem mé diplomové práce je automatické sestavování úplné výkresové dokumentace. V další době bych doporučoval vypracovat další variantní části programu, aby bylo možno zhotovovat výkresovou dokumentaci pro širší rozsah tvarů jednotlivých konstrukčních prvků vrtáku. Jedná se zde o použití trojúhelníkových BD, drážky pro odvod třísek v mírné šroubovici atd.

Závěrem bych chtěl poděkovat s. ing. Průškovi a s. ing. Kvapilovi, Csc. za odborné vedení a cenné připomínky při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat s. ing. Stránskému za připomínky při zpracování programu pro kreslení na kreslicím stole Digigraf.

Použitá literatura:

- /1/ VANĚK, P.: Návrh konstrukce vrtáku s VD-SK. (Diplomová práce.) Liberec 1982 - VŠST, fakulta strojní.
- /2/ GRANÁT, L.: Počítačová grafika. 1. vydání. SNTL Praha 1980.
- /3/ DRS, L.: Počítačová grafika. 1. vydání. ČVUT Praha 1981.
- /4/ OLEHLA, M.: Základy numerických metod a programování. 3. vydání. VŠST Liberec 1979.
- /5/ VUKOV Prešov: Programový systém AKT. Prešov 1980.
- /6/ SHIBATA, Y.: Precision Engineering. 15. ročník, č. 4/1981, s. 7.

Seznam použitých zkratk:

- BD - břitová destička  
SK - slinutý karbid  
VD-SK - vyměnitelná břitová destička ze slinutého karbidu  
JSEP - jednotný systém elektronických počítačů  
CAD - konstruování pomocí počítače  
CAM - modelování pomocí počítače

Seznam příloh:

- příloha č. 1 - program VRTB
- příloha č. 2 - program VRTC
- příloha č. 3 - program VRTD
- příloha č. 4 - program VRTE
- příloha č. 5 - program VRTF
- příloha č. 6 - program VRTG
- příloha č. 7 - program VRTX
- příloha č. 8 - program VRTY
- příloha č. 9 - program DRSN