

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

1130684

**VÝVOJ DIELENSKÉHO PROGRAMOVANIA NC
STROJOV**

2011

Lukaš Mišaga

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**VÝVOJ DIELENSKÉHO PROGRAMOVANIA NC
STROJOV
Bakalárska práca**

Študijný program: Manažérstvo kvality produkcie
Študijný odbor : (2386700) Kvalita produkcie
Školiace pracovisko: Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ: Drlička Róbert, Ing.

Nitra 2011

Lukaš Mišaga

Zadávací protokol

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Lukáš Mišaga vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Vývoj dielenského programovania NC strojov“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 15. marca 2010

Lukáš Mišaga

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu svojej bakalárskej práce Ing. Róbertovi Drličkovi za odborné vedenie práce, poskytovanie rád a materiálových podkladov k práci.

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá vývojom a popisom dielenských spôsobov programovania NC strojov. Cieľom bakalárskej práce je priblížiť problematiku nevyhnutnej automatizácie strojárkeho priemyslu. V jednotlivých kapitolách práca oboznamuje so základnými pojmami a postupným historickým vývojom NC a CNC strojov a s vývojom jednotlivých systémov riadenia. V práci sa konkrétnejšie venujem rozdeleniu a popisu jednotlivých spôsobov kódovania a programovania NC programov. V jednej z kapitol popisujem zápisy NC viet a príklad programového zápisu. Taktiež rozoberám jednotlivé skupiny, ktoré rozdeľujú potrebné vedomosti na zvládnutie programovania v závislosti od zložitosti daných súčiastok. Na základe získaných teoretických poznatkov som spracoval danú tému.

Kľúčové slová: NC, CNC, história, programovanie

Abstract

The thesis deals with the development and description of the methods of programming NC machines. The aim of the work is to explain the issue of indispensable automation of engineering industry. In individual chapters the work acquaint with basic concepts and consecutive historical development of NC and CNC machines and with the development of individual systems of controlling. More concrete the work deals with separation and also with description of individual ways of coding and programming NC programs. In one of the chapter I describe notation of NC proposition and example of programmatic notation. I also describe individual groups which divide required knowledge for handling the programming depending on the complexity of components.

Key words: NC, CNC, history, programming

| | |
|---|--|
| Obsah | Chyba! Záložka není definována. |
| Úvod | 9 |
| 1 Cieľ práce..... | 10 |
| 2 Metodika práce..... | 11 |
| 3 Štúdia o súčasnom stave | 12 |
| 3.1 Definícia NC systémov..... | 13 |
| 3.2 Vývoj NC techniky..... | 13 |
| 3.2.1 Historické medzníky vývoja výrobných NC strojov | 14 |
| 3.2.2 Generácie výrobných NC strojov..... | 14 |
| 3.2.3 Generácie riadiacich systémov | 15 |
| 3.2.3.1 1. Generácia..... | 16 |
| 3.2.3.2 2. Generácia..... | 16 |
| 3.2.3.3 3. Generácia..... | 16 |
| 3.2.3.4 4. Generácia..... | 17 |
| 3.2.3.4.1 Vývoj a využitie mikroprocesorov | 17 |
| 3.2.3.4.2 Výhody mikroprocesorov | 17 |
| 3.2.3.5 5. Generácia..... | 18 |
| 3.2.3.5.1 Výhody princípu otvorenej architektúry stroja..... | 19 |
| 3.3 Vývoj softvéru NC strojov | 20 |
| 3.3.1 Vývoj číslicového riadenia obrábacích strojov v 50. až 60. rokoch | 20 |
| 3.3.2 Vývoj číslicového riadenia obrábacích strojov v 70. až 80. rokoch | 21 |
| 3.3.3 Vývoj číslicového riadenia obrábacích strojov v 90. Rokoch až 2000..... | 21 |
| 3.3.4 Systém dielenského programovania JobShop..... | 23 |
| 3.3.5 Softvér ShopTurn..... | 23 |
| 3.3.6 Možnosti systému ShopTurn | 24 |
| 3.3.7 Softvér ShopMill..... | 25 |
| 3.4 Vývoj kódovania informácií NC strojov | 25 |
| 3.4.1 Binárny kotúč..... | 25 |
| 3.4.2 Binárne dekadické kódy..... | 26 |
| 3.4.3 Kód EIA RS 244 a kód ISO R 840 | 26 |
| 3.5 Rozdelenie NC systémov | 27 |
| 3.5.1 Rozdelenie NC systémov z hľadiska zložitosti drahý nástroja..... | 27 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5.2 | System nastavovania súradníc PTP | 27 |
| 3.5.3 | System nastavovania súradníc LP..... | 27 |
| 3.5.4 | System nastavovania súradníc CP | 27 |
| 3.6 | Rozdelenie NC systémov z hľadiska programovania geometrických inštrukcií. | 28 |
| 3.6.1 | Systemy s absolútnym programovaním | 28 |
| 3.6.2 | Systemy s prírastkovým (inkrementálnym) programovaním | 29 |
| 3.6.3 | Systemy s kombinovaným programovaním..... | 29 |
| 3.7 | Súradnicové systémy NC strojov | 29 |
| 3.7.1 | Pravidlá súradnicových systémov pre NC stroje | 29 |
| 3.7.2 | Stavba programu NC stroja..... | 31 |
| 3.7.3 | Určovanie polohy jednotlivých slov vo vetách..... | 31 |
| 3.7.3.1 | Rozmerové slova | 32 |
| 3.7.3.2 | Bezrozmerové slová | 32 |
| 3.7.4 | Formát bloku | 32 |
| 3.7.5 | Formát bloku s pevnou dĺžkou..... | 32 |
| 3.7.6 | Formát bloku s premenlivou dĺžkou | 33 |
| 3.8 | Zásady tvorby NC programu dielenským systémom | 33 |
| 3.8.1 | Zápis NC vety podľa ISO | 33 |
| 3.8.2 | Príklad zápisu NC programu..... | 35 |
| 3.9 | Tvorba NC programu | 36 |
| 3.9.1 | Rozdelenie programovania NC strojov na základe obtiažnosti | 37 |
| 3.9.2 | Skupina 1. | 37 |
| 3.9.3 | Skupina 2. | 38 |
| 3.9.4 | Skupina 3. | 38 |
| 3.9.5 | Skupina 4. | 39 |
| 3.9.6 | Skupina 5. | 40 |
| 3.9.7 | Skupina 6. | 40 |
| 3.9.8 | Skupina 7. | 41 |
| 3.9.9 | Skupina 8. | 42 |
| 3.9.10 | Skupina 9. | 43 |
| 4 | Diskusia | 44 |
| 5 | Záver..... | 45 |
| 6 | Zoznam použitej literatúry..... | 46 |

Úvod

Rozvoj strojárského priemyslu vyvoláva potrebu zavádzania modernej technológie do výroby za účelom optimalizácie výroby a dosiahnutia vysokej produktivity práce. K týmto technológiám neodmysliteľne patrí automatizácia výrobného, prípravného a kontrolného procesu výroby. Jedným z najrozšírenejších odvetví je dielenské programovanie strojov. V podstate hovoríme o programovaní NC a CNC strojov. Pri konvenčnom obrábaní strojom s ručnou obsluhou, obsluha preberá jednotlivé vykonávané operácie. Výroba viacerých kusov vyžaduje opakovanie jednotlivých operácií. Je potrebná neustála vizuálna kontrola a taktiež rozmerová kontrola súčiastok. Pri NC a CNC strojoch tieto operácie preberajú jednotlivé systémy a pamäte. Preto mnoho firiem zavádza automatizovanú výrobu. Kladie veľký význam dielenskému programovaniu NC a CNC strojov, čo má za následok vytváranie jednotlivých centier pre počítačmi integrovanú výrobu. Preto som sa rozhodol v práci popísať rozvoj dielenského programovania NC strojov.

1 Cieľ práce

Cieľom bakalárskej práce je opísať prehľad vývoja programovania NC strojov, ktorý je zameraný na vývoj riadiaceho hardvéru a softvéru, resp. programového vybavenia stroja. Na dosiahnutie cieľa je potrebné zhromaždiť a naštudovať potrebné množstvo odbornej literatúry a informácií zaoberajúcich sa vývojom riadiacich systémov NC strojov.

Aby bol hlavný cieľ splnený je potrebné:

- vymedzenie teoretických pojmov týkajúcich sa danej problematiky
- popis etapového vývoja programovania NC strojov
- zadefinovanie spôsobov zápisu NC programov

2 Metodika práce

Za účelom dosiahnutia cieľa budeme zohľadňovať nasledujúcu metodiku práce, zostavenú z týchto krokov:

- štúdium odbornej literatúry (knihy, články z odborných časopisov, firemné manuály a materiály a internetové zdroje),
- charakterizácia jednotlivých vývojových etáp riadiaceho hardvéru a softvéru,
- rozdelenie jednotlivých riadiacich systémov do skupín,
- popis stavby programu a popis potrebných vedomostí zostavovania programov

3 Štúdia o súčasnom stave

S rozvojom NC obrábania je podmienený vývoj a hľadanie prostriedkov čo najefektívnejšie zjednodušiť prípravu riadiacich programov. To vedie k tomu, že okrem štandardných spôsobov programovania sa vyvíjajú nové systémy dielenského programovania NC obrábacích strojov. V širšom rozsahu sa začína využívať tzv. dielenské programovanie. Programovanie nadobúda vďaka pokroku výpočtovej techniky široké uplatnenie. Programový softvér nadobúda široký záber požiadaviek zákazníka a tiež potrebuje nadobudnúť jednoduchosť programových procesov.

Súčasný spôsob dielenského programovania je založený na grafickom vstupe. Požadované inštrukcie sa zapisujú textom a sú obohatené grafickými prostriedkami zobrazovania dát a jednotlivých inštrukcií. Vďaka tomu môže programátor intuitívne a rýchlo navrhnúť riadiaci program.

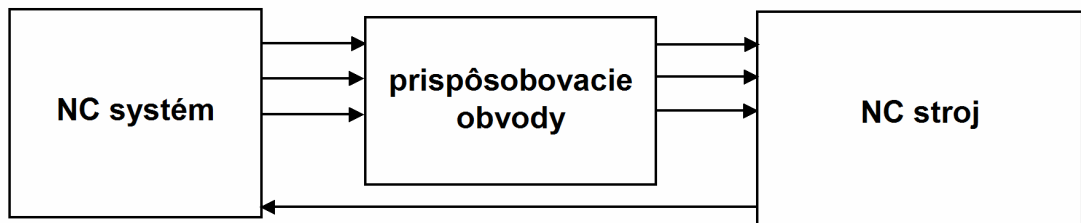
V súčasnej dobe systémy dielenského programovania dodáva väčšina výrobcov riadiacich systémov. Pomerne veľa sa využívajú systémy japonskej spoločnosti GE Fancuc, Siemens Sinumerik a Heidenhain.

3.1 Definícia NC systémov

Číslicové riadenie označované symbolom NC (Numerical Control). Je to riadenie fyzikálnych veličín činnosťou číslicového počítača. Pri výrobných strojoch ide konkrétne o riadenie procesu obrábania.

NC systém, je to riadiaci systém, ktorým sú riadené jednotlivé funkcie výrobného NC stroja pomocou automatického cyklu informácií.

Výrobný NC stroj, ktorého všetky funkcie (geometrické, technologické, pomocné) sú ovládané riadiacim NC systémom programu, ktorý je zadávaný číslicovou formou. Na obr. 1. je znázornená bloková schéma (Demeč, 2011).



Obr. 1: Bloková schéma výrobného NC stroja

3.2 Vývoj NC techniky

Pri vývoji výrobných NC strojov sa stretávame s pojmom generácia. To znamená jednotlivý vývojový stupeň, pod ktorým môžeme rozumieť jednotlivý periodický vývoj NC strojov, charakterizovaný novými konštrukčnými princípmi. Ako príklad historického generačného vývoja si môžeme uviesť Massachusettsky technologický inštitút. Ten v roku 1948 zákazkou pre US-AIRFORCE vyvinul systém riadenia obrábacieho stroja počítačom. Základom vývoja tohto systému bola potreba výroby presných súčiastok pre rozvíjajúcu sa leteckú dopravu a kozmický priemysel. Súčiastky boli síce matematicky presne charakterizované ale konštrukčne veľmi náročné. Zo zložitých strojov sa postupne vyvíjali jednoduchšie obrábacie stroje, ktoré sa svojou presnosťou a ekonomickosťou rýchlo presadili. V roku 1947 John Parsons prihlásil a realizoval svoj vynález. Tento rok môžeme považovať za vznik prvého číslicovo riadeného stroja. Na základe takéhoto generačného vývoja môžeme vyvodit' jednotlivé etapy (Peterka, 2002).

3.2.1 Historické medzníky vývoja výrobných NC strojov

- 1947 John Parsons - prihlásenie prvého obrábacieho číslicovo riadeného stroja,
- 1952 prvý NC obrábací stroj vyrobený v MIT (USA), vznikol úpravou konvenčnej konzolovej frézovačky,
- 1957 prvý NC obrábací stroj s vertikálnym vretenom (Cincinnati Hydrotel),
- 1960 predstavenie NC strojov na Hannoverском veľtrhu,
- 1965 systém automatickej výmeny nástrojov,
- 1970 systém automatickej výmeny obrobkov,
- 1972 prvé CNC riadiace systémy,
- 1979 externé programovacie systémy (PC, DNC),
- 1985 grafické zadávanie CNC programov,
- 2000 pripojenie CNC systémov na celosvetovú internetovú sieť.

(Peterka, 2002)

3.2.2 Generácie výrobných NC strojov

Môžeme ich zhrnúť do nasledovných generácií:

1. Generácia – prispôsobovanie a dopĺňovanie konvenčných strojov s ručným ovládaním o číslicové riadenie. Pri takto upravených strojoch, mechanická časť NC stroja je zhodná s mechanickou časťou konvenčných strojov s ručným ovládaním (nie je špeciálne konštruovaná). Stroje sú dopĺňané vlastnými riadiacimi systémami, ktoré často vyvíjal samotný výrobca stroja. V tejto generácii NC strojov systémy riadili len dráhu a rýchlosť pohybu. Často dochádzalo k mechanickým poruchám z dôvodu, že takto upravené stroje neboli dimenzované na zmeny podmienok práce.
2. Generácia – samostatné stroje s novou konštrukciou schopné splniť požiadavky, ako sú napríklad presnosť a tuhosť. Mechanická časť číslicovo riadených obrábacích strojov je prispôbena požiadavkám vyvolaných číslicovým riadením. Riadiace systémy nevyrábajú samotní výrobcovia stroja, ale jednotliví špecializovaní dodávatelia systémov riadenia NC strojov. Táto generácia v súčasnosti tvorí podstatnú skupinu strojov v prevádzke.

Poznámka: Stroje 1. a 2. Generácie sú konštruované ako poloautomaty. Obrobok treba vkladať a vyberať ručne, pričom majú plne automatizované riadenie pohybu a rezných podmienok obrobku. Sú nevhodné na použitie v AVS.

3. Generácia – využitie vo výrobných bunkách a pružných výrobných systémoch. Zdokonalenie jednotlivých mechanických funkcií stroja a prechod na počítačové riadenie. Vznikajú obrábacie centrá (viacúčelové NC stroje). Obsahujú funkcie výmeny nástrojov, obrobkov a dopravu medzi jednotlivými operáciami a zvyšovanie rýchlosti posuvov. Obrábanie obrobku sa uskutočňuje prevažne na jedno upnutie v krátkych časových intervaloch.
4. Generácia – stroje so špeciálnou konštrukciou pre vysokorýchlostné obrábanie. Predpoklad tejto generácie je adaptívne riadenie vlastného rezného procesu vrátane neustálej kontroly rozmerov.
(Peterka, 2002)

3.2.3 Generácie riadiacich systémov

Hlavným spojovacím článkom medzi tzv. NC programom (riadiacim číslicovým programom) pre výrobu súčasti a výrobným zariadením (NC obrábacím strojom) je riadiaca jednotka. Programátor vytvorí NC program s pomocou počítača alebo bez neho (v dnešnej dobe už táto alternatíva nie je obvyklá) a prostredníctvom nosiča informácií ho preniesie do stroja (ak nebol použitý priamo počítač stroja - ovládací panel stroja). Riadiaca jednotka následne postupne prevedie príkazy NC programu (jednotlivé vety a slová) napr. do skutočných pohybov stroja. Vývoj riadiacich jednotiek je priebežný a súvisí s celkovým vývojom číslicových obrábacích strojov a centier. V päťdesiatych rokoch minulého storočia sme sa mohli stretnúť s elektrónkovými jednotkami a postupne sme sa dostali k mikroprocesorovej technológii. V dnešnej dobe, keď sa každodenne stretávame s výpočtovou technikou na rôznej úrovni, je však obzvlášť vhodné upozorniť na niektoré z rozdielov, ktoré v sebe riadiace systémy (riadiacej jednotky) skrývajú (Polzer, 2011).

Rozdelenie vychádza z použitej súčiastkovej základne na stavbu riadiacich systémov. Tie prešli dlhým vývojom, pričom sa v súčasnosti najviac využíva väzba na osobný počítač.

Rozdeľujú sa do nasledovných generácií:

1. Generácia – princíp vákuových elektróniek a ovládanie funkciami relé.
2. Generácia – princíp kremíkových tranzistorových obvodov.
3. Generácia – princíp integrovaných obvodov.
4. Generácia – princíp ovládania mikroprocesormi.
5. Generácia – princíp otvorenej architektúry stroja s využitím osobného počítača.

(Peterka, 2002)

3.2.3.1 1. Generácia

Najjednoduchším druhom elektrónky je dióda s priamym žhavením. Možno ju popísať ako žiarovku s pridanou ďalšou elektródou a anódou. Jedným zdrojom prúdu je rozžeravené vlákno (katóda). Druhý zdroj prúdu je pripojený medzi anódou a katódou. Elektróny, ktoré sú teplom uvoľnené z katódy do okolitého priestoru budú pritiažené na anódu. Elektrónkou preteká prúd, pretože dohodnutý smer v elektrických obvodoch je od kladného k zápornému pólu, hovoríme že prúd tečie z anódy ku katóde (<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronka>).

3.2.3.2 2. Generácia

Pre logické obvody môžeme použiť tranzistor v zapojení so spoločným emitorom alebo kolektorom. Tieto logické obvody sú z hľadiska vývoja najstaršie. V súčasnosti sa už nepoužívajú. Mohli pracovať s napäťovými úrovňami jednotiek až desiatok voltov. Mali veľkú spotrebu. Návrh bol často založený na akom si kompromisnom riešení (www.alzat.szm.com).

3.2.3.3 3. Generácia

Číslicové obvody pracujú so signálmi, ktoré majú iba dva stavy, vyjadrené z pravidla rozdielnymi úrovňami napätí. Pre kladnejšiu úroveň bolo zavedené označenie H, pre druhú úroveň označenie L. Stavy signálu môžeme znázorniť ako číslo v dvojkovej sústave, tj. v sústave čísel, v ktorých sú iba čísla 0 a 1. Z toho je odvodený názov číslicové obvody. Podľa dohody sa úrovni L priraduje symbol 0 a úrovni H symbol 1. Číslicové obvody,

hlavne integrované obvody, umožňujú realizovať jednak skutočné číslicové obvody, tzn. obvody pre numerické početné operácie v dvojkovej sústave, a jednak obvody pre tzv. logické operácie, ktoré sa riadia základnými pravidlami Boolovej algebry (Hojka, 1990).

3.2.3.4 4. Generácia

Mikroprocesor je elektronický obvod vyrobený technológiou veľmi veľkej integrácie a umiestnený na jednom integrovanom obvode, tzv. čipe (angl. chip). Riadený je programom uloženým v riadiacej pamäti. Obsahuje aritmeticko logickú jednotku (ALU), univerzálne a jednúčelové registre a ďalšie obvody umožňujúce jeho pripojenie k iným obvodom (Palková, 2008).

3.2.3.4.1 Vývoj a využitie mikroprocesorov

Mikroprocesory otvorili nové možnosti v konštrukcii a stavbe číslicových obvodov a systémov. Na začiatku sa mikroprocesor využíval ako jeden z podsystémov v termináloch, kalkulatorových a komunikačných zariadeniach, ale už začiatkom roku 1974, dva roky po jeho vyrobení, nastala skutočná explózia vo využívaní mikroprocesorov. Počet vyrobených mikroprocesorov prevýšil súčet všetkých existujúcich minipočítačov, stredných a veľkých počítačov.

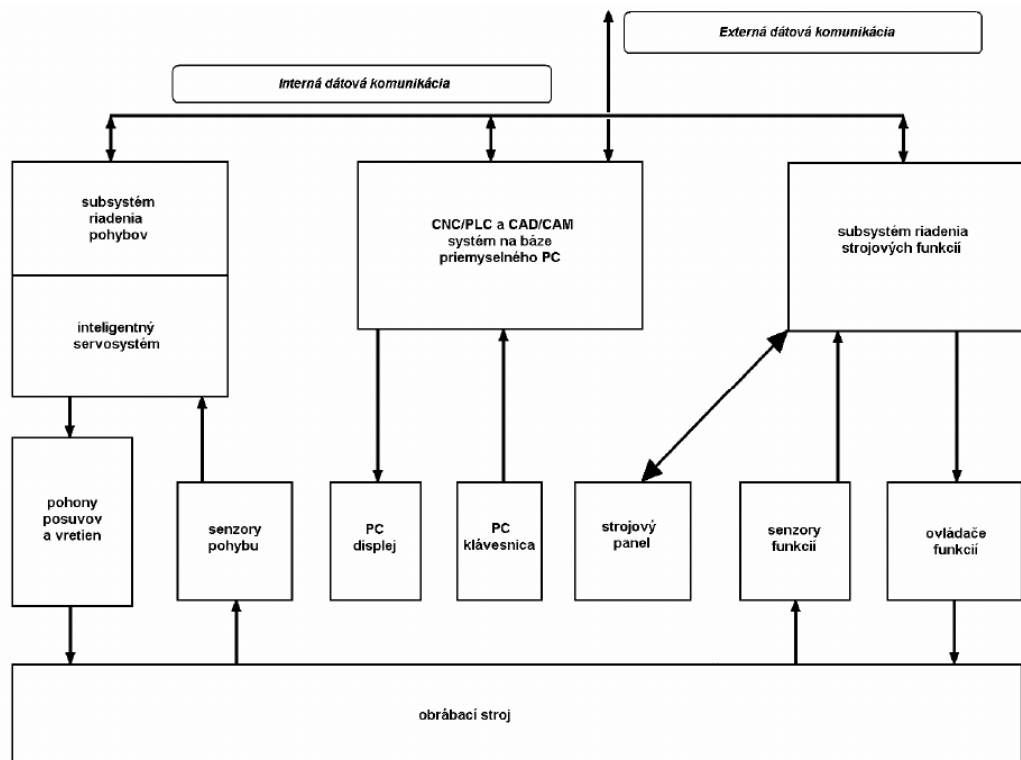
Mikroprocesor našiel široké využitie v riadiacich a informačných systémoch – je stavebným prvkom číslicových zariadení, v systémoch zberu údajov, v inteligentných termináloch, v systémoch riadenia dopravy, v telefónnych centráloch, v riadiacich jednotkách periférnych zariadení, v systémoch spracovania údajov, v skúšobných a testovacích zariadeniach, v diaľkovom riadení atď. Mikroprocesory zmenili vzhľad a funkciu klasických číslicových systémov vďaka svojej nízkej cene, veľkej flexibilitate a spoľahlivosti (Palková, 2008).

3.2.3.4.2 Výhody mikroprocesorov

Výhoda využitia mikroprocesora namiesto pevne zabudovaného logického obvodu spočívala v použití štandardných obvodov s veľmi veľkou integráciou VLSI, ktorého funkciu možno meniť programovaním. Mikroprocesor bol v skutočnosti prvý takýto univerzálny obvod, použiteľný v rôznych aplikáciách (Palková, 2008).

3.2.3.5 5. Generácia

Analýza problémov ďalšieho vývoja CNC systémov naznačuje naliehavú potrebu generačnej zmeny, ktorá prichádza vo forme nástupu CNC systémov s otvorenou architektúrou a softvérovou kompatibilitou s dialógovými univerzálnymi operačnými systémami s grafickým rozhraním. V podstate ide vlastne o maximálne priblíženie celkovej zostavy CNC systému alebo aspoň jeho výraznej časti jednocprocesorovej štruktúre univerzálneho počítača. Podrobnejšie vyjadrenie štruktúry väčšiny systémov tejto koncepcie možno charakterizovať nasledovne na obr. 2.



Obr. 2: Schéma princípu otvorenej architektúry s využitím osobného počítača

- Priemyselný PC - umožňuje off-line generovanie technologických partprogramov vyššími typmi CAD/CAM systémov v dialógovom režime pod operačným systémom Windows, on-line generovanie (v reálnom čase) súhrnných príkazov pre ovládače pohybov. Okrem toho vyhodnocuje hlásenia senzorov a ovláda dvojhodnotové logické funkcie stroja.
- Súčasťou PC je priemyselný displej využiteľný vo všetkých fázach obsluhy i zoraďovania stroja ako komunikačné rozhranie s operátorom, pre ktorého zobrazuje napríklad aj softvérové tlačidlá s premennými funkciami.

- K priemyselnému PC patrí aj priemyselná klávesnica typu PC, ktorej horný rad „F“ tlačidiel môže byť využitý aj pre ovládanie softvérových „tlačidiel“ displeja.
 - Podsystem ovládačov pohybov (motion controllers), ktoré vytvárajú „inteligentné servosystémy“ pre riadenie posuvov a rozbehov (brzdenia) vretien. Na ovládače pohybov sú priamo napojené výkonové ovládače pohonov posuvov a vretien.
 - Podsystem vyhodnocovania a riadenia dvojhodnotových logických funkcií stroja, ktorého súčasťou sú: sériovo-paralelný prevodník s obvodmi obojsmernej sériovej komunikácie medzi CNC systémom a strojom, procesor a pamäte logického riadenia, analógovo-digitálne prevodníky senzorov a digitálno-analógové prevodníky i výkonové spínače magnetov, spojok, pohonov i ostatných ovládaných výkonových prvkov na stroji a indikačných prvkov na ovládacom paneli stroja.
- (Demeč, 2011)

3.2.3.5.1 Výhody princípu otvorenej architektúry stroja

Takto koncipovaná štruktúra s otvorenou architektúrou vedie k veľkému spriehľadneniu a unifikácii hardvérovej a softvérovej zložky riadenia. Umožňuje pružné prispôsobenie požiadaviek riadenia širokej škály strojov s minimálnymi hardvérovými zmenami a v prostredí univerzálne známych operačných systémov. Uľahčuje i dodatočné zavádzanie ďalších zaujímavých funkcií stroja, ako sú napríklad snímanie a digitalizácia tvarovo zložitých povrchov, procesné meranie, aktívne riadenie rozmerov, adaptívne riadenie rezných podmienok, monitorovanie stavu nástroja i stroja, priebežná prevádzková diagnostika a generácia signálov pre zastavenie stroja atď.

Nástup riadiacich systémov s otvorenou architektúrou, ktorých hlavným ťažiskom sú systémy na báze PC, má mnoho technických, ekonomických a organizačných aspektov podobných nástupu personálnych počítačov v 80-tych rokoch. V tej dobe existovalo na trhu veľké množstvo vzájomne nekompatibilných počítačov a operačných systémov a vo vývoji boli silne uplatňované zámerné snahy výrobcov zabrániť unifikácii a sťažiť svojim zákazníkom prechod na počítačový systém konkurenčného výrobcu. Nástup IBM kompatibilných personálnych počítačov skoncoval s týmito tendenciami a vynútil vo svetovom meradle unifikáciu hardvérovej a neskôr aj softvérovej štruktúry v takej miere, že dnes je prechod k inému dodávateľovi počítača prakticky bezproblémový. Nesúrodosť priemyselnej riadiacej techniky, ktorej hlavným ťažiskom je geometrické riadenie pohybu

a funkcií stroja sú ešte omnoho neprehľadnejšie než nesúrodosť počítačov pred nástupom PC, pretože ide o omnoho širšiu a rozmanitejšiu problematiku (Demeč, 2011).

3.3 Vývoj softvéru NC strojov

3.3.1 Vývoj číslicového riadenia obrábacích strojov v 50. až 60. rokoch

| Prvá polovica 20. storočia | | |
|---|---|--|
| Stroje | Riadiace systémy | Výrobné systémy |
| Vačkové automaty, kopírovacie sústruhy, mnohovretenové automaty | Narážkové a kopírovacie systémy | Tvrde taktovacie linky, mnohovretenové pracovné stanice |
| 50. roky 20. storočia | | |
| Prvé NC stroje | "Record play back" NC s vákuovými lampami MIT, Ferranti | Špeciálne stroje a nástroje pre zvýšenie produktivity |
| NC konzolové frézky s hydraulickými a elektrickými pohonmi | Lampové NC systémy, analogické parabolické interpolátory | Stanice automatických liniek s plynulým nastavením rýchlosti |
| Meracie stroje s číslicovou indikáciou | NC systémy riadené magnetickým zaznamenaním, pravouhlé systémy | Pružné prestaviteľné linky s alternatívnymi cestami |
| 60. roky 20. storočia | | |
| NC frézy, sústruhy a vyvrtávačky, | Prvé tranzistorové NC systémy USA, Bendix, Ferrati, Siemens, Japonsko Fanuc | Viacstaničné stroje určené pre malé súčiastky |
| Obrábacie centrá Kerney and Trecker, päťosúradnicová fréza Sundstrand | Prvé NC systémy na princípe kremíkových integrovaných obvodov USA, digitálne parabolické a splínové interpolácie Japonsko | Prvé výrobné linky s NC strojmi a stanicami |

(Brychta, 2003)

3.3.2 Vývoj číslicového riadenia obrábacích strojov v 70. až 80. rokoch

| 70. roky 20. storočia | | |
|---|--|---|
| Stroje | Riadiace systémy | Výrobné systémy |
| Sústružnícke centrá s rotujúcimi nástrojmi, Obrábanie nerotačných plôch Herbert | Prvé NC systémy s pamäťami a edíciami partogramov v USA, BENDIX a Westinghouse | Výrobné systémy s paletizáciou nerotačných obrobkov |
| Vývoj NC strojov a manipulátorov v PVS | Prvé CNC systémy na minipočítačoch v USA, Japonsku a Europe | PVS s automatickým premiestňovaním nástrojov |
| 80. roky 20. storočia | | |
| Stroje CNC/PLC systémy a zásobníky, manipulátory obrobkov a nástrojov | Prvé CNC/PLC systémy na princípe multiprocesorov a mikropočítačov | Sériová výroba a inštalácia PVS |

(Brychta, 2003)

3.3.3 Vývoj číslicového riadenia obrábacích strojov v 90. Rokoch až 2000

| 90. roky 20. storočia | | |
|--|---|--|
| Stroje | Riadiace systémy | Výrobné systémy |
| NC stroje s vysokými parametrami presnosti a produktivity, Aplikácia lineárnych motorov | NC systémy s otvorenou architektúrou, vývoj CAD/CAM systémov na báze PC | Pružné výrobné bunky, bohaté technologické vybavenie |
| Rok 2000 | | |
| Vývoj novej generácie HSC strojov a pružných buniek pre nové technológie a pre ekonomické podmienky 21. storočia s využitím nových HW a SW, vysoká kvalifikácia operátorov | | |

(Brychta, 2003)

Prvým, zrejme najstarším spôsobom NC programovania, je tvorba ISO kódu alebo tzv. G – kódu. Jedná sa o spôsob, pri ktorom je základňa tvorby programových blokov písaná v textovom editore. Táto tvorba blokov je spravidla doplnená aj grafickou nadstavbou pre podporu zápisu cyklov (Polzer, 2011). V roku 1960 dodáva spoločnosť Siemens prvé NC riadenie pričom následne na to vzniká obchodný názov Sinumerik. Príklad písania ISO kódu riadiaceho systému Sinumerik je na obr. 3.

1983 boli uvedené na trhu verzie veľmi populárneho Sinumerik rady 3, ktoré sú považované za prvé CNC systémy s monitorom (Dvořák, 2010).

V roku 1996 nastal vo vývoji systémov medzník. Siemens ako prvý vstúpil do oblasti Safety Intergrated strojov a získal na to i certifikát. V rokoch 1997 až 2000 v súlade s expanziou grafických programov a na základe požiadaviek zákazníkov začal vývoj dielenského programovania ShopTurn a ShopMill. Tieto systémy môžeme považovať za tzv. dielensky orientované programovanie. Je implementované do riadiacich systémov a produktov firmy Siemens s názvom ShopTurn, ktorý je určený pre sústruhy s možnosťou práce s protivretenom i hnanými nástrojmi, a ShopMill, ktorý je určený pre frézovacie stroje a centra. Dielensky orientované programovanie pre riadiaci systém Heidenhain sa nazýva SmarTNC a jeho verzie pre frézovacie stroje. V roku 2000 pri svojej expanzii na Ázijský trh Siemens uzavrel zmluvu s japonským výrobcom pohonov Yaskawa joint venture za účelom vývoja nových produktov v oblasti riadiacich systémov. V roku 2007 firma Siemens vyvíja produkty v oblasti CAD/CAM systémov (Dvořák, 2010).

3.3.4 Systém dielenského programovania JobShop

Softvérový produkt JobShop firmy Siemens predstavuje softvér ShopTurn pre sústruhy a softvér ShopMill, ktorý zjednodušuje obsluhu pre frézovanie, prípadne pre obrábacie centrá. Softvér JobShop poskytuje možnosť využívať vysoko sofistikované CNC systémy i pre jednoduchšie aplikácie na dvoj alebo trojosových strojoch a užívateľom najviac ponúka ľahkú obsluhu a programovanie. ShopTurn a ShopMill nie sú CAD/CAM systémy. Ide o grafickú podporu obsluhy obrábacieho stroja, kedy nie písaný NC program, ale pracovné technologické postupy jednotlivých operácií, ako vyvrtávanie, obrobenie tvaru atď. postupným vyplňovaním tabuľky je vytvorený pevný cyklus, pracovné operácie, ale nie G – kódy (Urbanová, Havrila, 2011).

3.3.5 Softvér ShopTurn

Je komfortné prostredie pre ovládanie a dielenské programovanie. Užívateľovi umožní zvýšiť efektivitu práce a skrátiť čas nevyhnutný pre prípravu zavedenia výroby. ShopTurn je vhodný najmä pre sústruhy s jedným vretenom, ale podporuje i os C a protivreteno. Programuje sa prostredníctvom grafického rozhrania metódou krok po kroku s jednoduchou možnosťou editácie. Programovať možno bez znalosti G-kódu, vkladanie

3.3.7 Softvér ShopMill

Softvérový balík ShopMill umožňuje ľahké programovanie priamo v dielni, čo zvyšuje produktivitu a skracuje prechod na frézovanie iného, hoci i veľmi zložitého obrobku. Užívateľsky príjemné rozhranie umožňuje mimo iné tiež rýchlo a veľmi presne zoradiť stroj s použitím meracích cyklov pre nástroj i obrobok. Vyhotovenie plánu práce je ľahké nielen pre skúseného pracovníka, ale i pre toho, kto nemá hlboké znalosti programovania v CNC kóde ISO/DIN. Softvér rozpozná a následne odstráni zostatkový materiál pri frézovaní kapsy bez nutnosti obrobit' kompletne celú kontúru. ShopMill taktiež umožňuje viacnásobné upnutie rovnakých alebo rozdielných obrobkov pri optimalizácii poradia nástrojov. Výkonný kontúrový počítač automaticky dopočíta až 50 nekompletne špecifikovaných častí kontúr a prechodov. Systém prehľadne zobrazuje žiadané a skutočné hodnoty, činnosti programu v priebehu obrábania, dynamickú 3D simuláciu v reálnom čase s farebným vyznačením hĺbky a ďalšie funkcie (Urbanová, Havrila, 2011).

3.4 Vývoj kódovania informácií NC strojov

Vývoj NC strojov postupne používal niekoľko druhov kódov. Jeden s najnázornejších a najprehľadnejších kódov je dekadický kód. Pri tomto druhu kódu potrebujeme pre každý rad desať miest, čo znamená, že na naprogramovanie ľubovoľného štvormiestneho čísla potrebujeme 40 miest.

Ďalší často používaný typ kódu je binárny (dvojkový). Jeho výhodou je jednoduchosť (malý počet potrebných miest programovania) a jednoduchosť fyzikálnej realizácie základného stavu binárnych číslic 1 a 0. Miesta, kde sa nachádzajú číslice sa vydierujú na dierne pásky. Nevýhodou binárneho kódu je zlá prehľadnosť a zložité zadávanie desiatinných čísiel. Medzi najväčšie nevýhody binárneho kódu patrí skutočnosť, že pri prechode medzi dvoma číslami nasledujúcimi za sebou sa mení počet programových miest v nepravidelnom cykle, ktorý sťažuje kontrolu korektnosti informácií (Demeč, 2011).

3.4.1 Binárny kotúč

Ako príklad kódovania informácií môžeme uviesť binárny kotúč. Na tomto kotúči je uvedené prehľadné a neprehľadné kódovanie informácií usporiadané v medzikruží pre dvojkovú sústavu kódovania informácií. Osvetľovanie kotúča fotosnímačom nám na

príklade vyobrazuje prehľadné a neprehľadné miesta. Prechodom z polohy P1 do polohy P2 sa číslo 1100 mení na číslo 1101 (údaj sa mení na poslednom mieste). Prechodom z polohy P3 do polohy P4 sa číslo 0001 mení na číslo 0010 (údaj sa mení na poslednom a predposlednom mieste). Pri prechode z polohy P5 do P6 sa číslo 0011 mení na číslo 0100 (údaj sa mení na troch miestach). Z toho vyplýva, že ak jednotlivé polia nebudú presne ohraničené a poloha čítacej štrbiny nebude presne radiálna môže sa prechod z čísla 0011 na 0100 prečítať nesprávne ako 0000 alebo 0111. To znamená, že jednotlivé údaje budú nekorektné (chybné).

Z tohto dôvodu bol vyvinutý tzv. umelý Grayov kód. Využívanie tohto kódu zamedzuje vznik nekorektných informácií. Ako príklad sa môže uviesť odmeriavanie uhlovej dráhy, ktoré je zakódované v Grayovom kóde. Prechod z jednej dekadického číslu na bližšiu vyššiu alebo nižšiu dochádza iba v jednom binárnom rade. To znamená jednoduchšie vyhodnocovanie korektnosti čítaných informácií riadiacich systémov.

Z dekadických prepínačov sa vyvinul tzv. kód jedna z desiatich. Slúži napríklad na zadávanie číselných hodnôt nástrojových korekcií a na vstupy indikácie polohy vo forme číslícových tlejiviek (Demeč, 2011).

3.4.2 Binárne dekadické kódy

Tieto kódy sa označujú ako BCD kódy a pre NC stroje majú široké uplatnenie. Radíme ich medzi zmiešané kódy, ktoré pracujú na princípe počítania v dekadach ako dekadický kód. Vo vnútri každej dekády vyjadrujú číslo binárne. Každé číslo desiatkovej sústavy je vyjadrené ako súčet mocnín základu „2“. Medzi najčastejšie používané kódy v NC riadiacej technike patrí kód 8421 s ktorým pracujú aj integrované obvody strednej a vyššej integrácie. Vo vnútri dekády je číslo vyjadrené len binárnym spôsobom. Okrem tohto kódu ešte existujú napríklad Aikenov 2421, kód 84-2-1 a kód +3 (Demeč, 2011).

3.4.3 Kód EIA RS 244 a kód ISO R 840

V čase vývoja NC riadenia boli vyvinuté ďalšie štandardné kódy z dôvodu jednotnosti univerzálnosti a jednotnosti zapisovania NC programov. Kód EIA RS 244 (americký) využíva na zapisovanie malé písmená a kód ISO R 840 používa veľké písmená. Dané kódy sú osemstopové, lebo sú zapisované na osemstopových diernych páskach. Na štyroch stopách je vyjadrené číslo 8421 na troch stopách sa odlišujú čísla od ostatných

adries a znakov. Posledná ôsma stopa je tzv. paritná a slúži na jednoduchú kontrolu korektnosti informácií vydierovaných na dieernej páske. ISO kód má párny počet vydierovaných otvorov a EIA má nepárny počet vydierovaných otvorov. Ak dôjde k zámene systému, túto zámenu indikuje ako chybu. Kód EIA je kontrolovaný nepárnou paritou na piatej stope a kód ISO je kontrolovaný párnou paritou na ôsmej stope. V súčasnosti kód EIA je nahradzovaný kódom ISO, lebo nevyhovuje spracovaniu informácií na NC počítačoch (Demeč, 2011).

3.5 Rozdelenie NC systémov

3.5.1 Rozdelenie NC systémov z hľadiska zložitosti drahý nástroja

Rozdelenie NC systémov do skupín sa vykonáva na základe rôznych hľadísk. Ako základné hľadisko rozdelenia sa používa rozdelenie na základe zložitosti dráhy, po ktorej môže riadiaci systém viesť nástroj vzhľadom k obrobku (Demeč, 2011).

3.5.2 Systém nastavovania súradníc PTP

Je to základná funkcia nastavenia súradníc. Skratka PTP znamená riadenie z bodu do bodu (Point-to-Point). Je to nastavenie pozície obrobku vzhľadom k obrábaciemu nástroju. Objekt nastavenia prebieha do jednotlivých vopred stanovených bodov, spravidla do jednotlivých bodov postupne. Najčastejšie sa používa pri NC vrtáčkách, vyvrtávačkách, dierovacích lisoch a pri bodových zvráčkách. Príklad je uvedený na obr. 5. (Demeč, 2011).

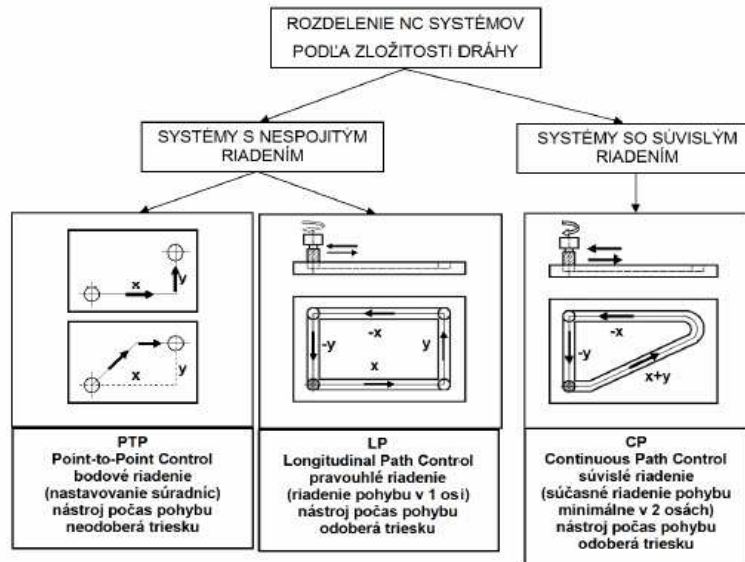
3.5.3 Systém nastavovania súradníc LP

Skratka LP znamená riadenie po pozdĺžnej trajektórii (Longitudinal Path). Zaradujeme ho medzi pravouhlé systémy nastavovania súradníc. Používa sa pri sústruhoch, frézkach a obrábacích centrách. Príklad je uvedený na obr. 5. (Demeč, 2011).

3.5.4 Systém nastavovania súradníc CP

Skratka CP znamená riadenie po súvislej trajektórii (Continuous Path). Charakteristickým znakom tohto riadenia je, že pohyb nástroja a obrobku je riadený

plynule. Tento pohyb prebieha súčasne v dvoch osiach (označenie 2D) alebo v troch osiach (označenie 3D). Týmto spôsobom nastavovania súradníc môžeme vyrábať všeobecné tvary (rádiusy), alebo môžeme obrábať zložité plochy (dutiny kovacích zápustkou). Príklad je uvedený na obr. 5. (Demeč, 2011).



Obr. 6: Rozdelenie NC systémov z hľadiska zložitosti dráh nástroja

3.6 Rozdelenie NC systémov z hľadiska programovania geometrických inštrukcií

Jedným z hľadísk rozdelenia NC systémov je spôsob programovania geometrických inštrukcií. Na základe toho rozdeľujeme NC systémy s absolútnym programovaním a prírastkovým programovaním.

3.6.1 Systémy s absolútnym programovaním

V absolútnom programovaní sú súradnice jednotlivých programových bodov, dráh nástrojov a obrobku vyjadrované v presne definovanom súradnicovom systéme. Každý bod programu (číselný údaj) sa vzťahuje k pevnému začiatku súradnicového systému. Výhodou absolútného programovania je, že súradnice programových bodov sú okamžite známe z programu (Holka, 2007).

3.6.2 Systémy s prírastkovým (inkrementálnym) programovaním

V systémoch s prírastkovým programovaním sú súradnice jednotlivých programových bodov, dráh nástrojov a obrobku vyjadrované hodnotami nameranými vzhľadom k predchádzajúcim bodom. Výhodou prírastkového programovania je využitie v podprogramoch pri opakovaní zložitých tvarov obrobku na rôznych miestach. Nevýhodou je že ak dôjde k chybe treba prejsť celým programom, aby sme túto chybu odstránili (Holka, 2007).

3.6.3 Systémy s kombinovaným programovaním

V tomto systéme môžeme podľa potreby programu využívať systémy s absolútnym vyjadrením súradníc alebo systémy s inkrementálnym vyjadrením súradníc (Demeč, 2011).

3.7 Súradnicové systémy NC strojov

Zadávanie trajektórií a polôh referenčných bodov pri programovaní musí byť jednoznačné a jednotné, preto je potrebné aby boli rešpektované určité pravidlá programovania NC strojov. Pri obrábacích strojoch s klasickou sériovou kinematickou štruktúrou sa používa ISO R840, táto ISO norma využíva klasický karteziánsky trojosí pravotočivý súradnicový systém so základným označením osi X, Y a Z. Okolo týchto priamočiarych pohybov sa zavádzajú ešte rotačné pohyby A okolo osi X, B okolo osi Y a C okolo osi Z. Zmysel otáčania týchto rotačných osí je vždy kladný a môžeme ho prirovnať k zmyslu otáčania pravotočivej skrutky. Napríklad pri pohľade na os X, kladný zmysel rotácie osi A je v smere hodinových ručičiek (Demeč, 2011).

3.7.1 Pravidlá súradnicových systémov pre NC stroje

- Poloha začiatku súradnicového systému je ľubovoľná ako aj poloha začiatku rotačných pohybov ($X=Y=Z=0$),
- Hodnota súradníc udáva vzdialenosť nástroja od obrobku, v kladnom zmysle narastá rozmer,
- Hlavné vodiace plochy riadeného stroja sú rovnobežné s osami súradnicového systému,
- Označovanie pohybu nástroja sa udáva veľkými písmenami latinskej abecedy,

- Ďalšie riadené osi sa označujú písmenami U, V a W, prípadne P, Q a R, pričom platí, že $U \parallel P \parallel X$, $V \parallel Q \parallel Y$, $W \parallel R \parallel Z$. Pohyby obrobkov sú označované písmenami s čiarkou X', Z', C' a pod.,
- Súradnicový systém musí byť stotožnený s pohybmi obrábacieho stroja,
- Os Z definujeme stále prvú, jej polohu definujeme ako rovnobežnú s hlavným vretenom stroja (stotožnenie s osou hlavného vretena), pričom platí, že:
 - Pri vretenách, ktoré je možné sklápať a rozsah pohybu umožňuje nastavenie iba v jednej polohe rovnobežnej s jednou z osí súradnicového systému, tuto polohu určíme za os Z,
 - Pri vretenách, ktoré môžeme polohovať do rovnobežnej polohy v dvoch alebo troch osiach súradnicového systému, os ktorá je kolmá na upínaciu plochu stroja je os Z,
 - Pri strojoch s viacerými vretenami os Z volíme v osi hlavného vretena,
 - Pri strojoch, ktoré nemajú vretená napríklad hobľovačka sa os Z volí v smere kolmom na upínaciu plochu stola stroja,
- Os X definujeme ako druhú, táto os leží v kolmej roviny na os Z a je rovnobežná na povrch upínacej plochy stola stroja. Pri sústružníckych strojoch je to vodiaca plocha suportu. Os X je hlavná os pohybu nástroja alebo obrobku,
- Zmysel pohybu v osi X sa stanovuje v závislosti od polohy osi Z a podľa toho, či rotačný pohyb vykonáva nástroj alebo obrobok,

Platí, že:

- Stroje s rotujúcim obrobkom (sústruhy) majú kladný zmysel pohybu v smere osi X vtedy, ak sa nástroje upnuté v nožových hlavách priečnych nožových saní vzdľaľujú od osi otáčania obrobku,
- Stroje s rotujúcimi nástrojmi a vodorovnými osami vretien budú mať kladný zmysel otáčania v smere osi X vtedy, ak pri pohľade od hlavného vretena bude pohyb napravo od obrobku,
- Stroje s rotujúcimi nástrojmi a zvislými osami vretena budú mať kladný zmysel pohybu v smere osi X vtedy, ak pri pohľade od hlavného vretena bude pohyb napravo od obrobku (jednostojanové stroje),

- Portálové stroje (dvojstojanové) budú mať kladný zmysel pohybu v osi X vtedy, ak bude pohyb smerovať napravo pri pohľade od hlavného vretena na ľavý stojan portálu.
(Demeč, 2011)

3.7.2 Stavba programu NC stroja

Pracovný cyklus NC strojov prebieha automaticky na základe zadaných informácií v programe. Každý NC program musí mať zadané svoje funkcie (geometrické, technologické a pomocné), ktoré zabezpečia správny chod a funkciu NC stroja. NC program teda predstavuje určitý návod (predpis) podľa ktorého sú vykonávané jednotlivé inštrukcie. Takýto NC program je dielom človeka prostredníctvom ktorého obsluha komunikuje s riadiacim systémom NC stroja a nepriamo aj so strojom. Obsluha zasahuje do pracovného cyklu len vo výnimočných prípadoch. Informácie vznikajú na základe alfanumerických znakov, ktoré nazývame slovo. Tieto slová sú formálne spájané do viet NC programu, ktoré môžeme nazvať aj bloky programu. Vstupné zariadenie postupne číta tieto bloky, ktoré sú spracované ako celok. Prečítaním takéhoto bloku NC stroj vykoná určitú činnosť (výmena nástroja, obrobenie určitej časti obrobku) (Peterka, 2002).

3.7.3 Určovanie polohy jednotlivých slov vo vetách

- Na základe poradia jednotlivých znakov vo vnútri vety (pevný sekvenčný systém)
- Na základe prvých znakov slov (tabulátorový sekvenčný systém)
- Na základe prvých znakov slov, ktoré sú priradené jednotlivým slovám a v bloku sa už nevyskytujú (adresný systém).

V súčasnosti sa využíva adresný systém, ktorý má tzv. premenlivý formát vety a v mnohých prípadoch premenlivý formát slova. V tomto adresnom systéme sa nemusia písať nepotrebné slová vo vete čím sa skracaje dĺžka programu a zvyšuje sa aj prehľadnosť. Premennivý formát znamená, že netreba písať tzv. nepotrebné (nevýznamné) nuly a znamienko plus. Za nevýznamné nuly môžeme považovať nuly na začiatku a na konci číselných údajov, ktoré nenesú žiadnu informáciu iba dopĺňajú počet znakov vo vete.

Číselný údaj ktorý neobsahuje znamienko sa automaticky vždy považuje za kladný (Peterka, 2002).

3.7.3.1 Rozmerové slova

Sú slová, ktoré pozostávajú z tzv. adresného znaku, znamienka + alebo – a určitého počtu číslíc. Prostredníctvom nich vyjadrujeme geometrické informácie ako počty inkrementov, jednotlivé súradnice a uhly pootočenia (Demeč, 2011).

3.7.3.2 Bezrozmerové slová

Sú slová, ktoré pozostávajú z tzv. adresného znaku a určitého počtu číslíc. Týmito inštrukciami vyjadrujeme technologické a pomocné funkcie stroja napríklad výmeny nástrojov, otáčky a posuvy pracovného stroja. Pre programovanie NC strojov ako adresné znaky sa využívajú písmená latinskej abecedy (Demeč, 2011).

3.7.4 Formát bloku

Zápisy jednotlivých slov je potrebné jednoznačne určiť použitím dohodnutých spôsobov zápisu. Tieto formáty sú zapísané do jednotlivých formátov bloku. V priebehu vývoja NC techniky sa definovali tieto dva druhy formátov blokov. Formát s pevnou a premenlivou dĺžkou (Demeč, 2011).

3.7.5 Formát bloku s pevnou dĺžkou

Tento formát obsahuje iba číselné znaky (významy slov). Princíp tohto formátu je, že poradie a počet slov a znakov je v bloku stále rovnaký. Ak sa v slove príslušná hodnota nevyskytuje zapisuje a programuje sa automaticky nula. Tieto bloky sa využívali pri systémoch s blokovou čítačkou diernej pásky, s ktorými sa v praxi stretávame už len vo výnimočných prípadoch.

Príklad zápisu NC programu s pevnou dĺžkou:

```
N 005 G 01 X 55.000 Z-25.700 F 080  
N 010 G 01 X 62.00 Z-25.700 F 080
```

(Demeč, 2011)

3.7.6 Formát bloku s premenlivou dĺžkou

Slová sa vždy skladajú z dvoch častí a to z adresy určujúcej druh slova a číselnej časti vyjadrujúcej významovú časť slova. Pri tomto formáte je možné vynechávať slová, ktoré sa v príslušnom bloku nevyskytujú alebo nemenia. To má za následok zjednodušenie programovania a skrátenia programu z hľadiska objemovosti informácií na nosiči. Poradie a dĺžka sa musí stále dodržať.

Príklad zápisu NC programu s premenlivou dĺžkou:

```
N 5   G 1   X 55 Z-25.7 F 80
N 10                X 62
```

(Demeč, 2011)

3.8 Zásady tvorby NC programu dielenským systémom

Vstupnou informáciou NC programu je technický výkres súčiastky. Ten obsahuje informácie o tvaroch súčiastky, materiál súčiastky a predpisuje polotovar. Polotovar nám určuje voľbu rezných podmienok. Jeden z dôležitých údajov je počet zhotovených súčiastok. Hlavnou snahou tvorby NC programu je optimalizácia výrobného systému, pričom je potrebné zvážiť mieru optimalizácie. Výroba jednej súčiastky alebo malý počet kusov môže snahu o dokonalosť programu predĺžiť na úkor času prípravy na výrobu (Ižol, 2008).

3.8.1 Zápis NC vety podľa ISO

Adresná veta NC programu s premenlivou dĺžkou v tvare ISO/DIS 6983 označovaná ako G-kód (pohybová funkcia) má všeobecnú štruktúru. Rozlišujeme funkcie záväzné (platia stále) a funkcie neobsadené (voľné), ktoré využívajú výrobcovia riadiacich systémov uvedené v tabuľke 1. Preto sa bežne stáva, že rovnaká funkcia má u odlišných strojoch iný význam (Peterka, 2002).

| Adresný znak | Význam |
|--|---|
| A, B, C | Uhlový rozmer (pootočenie) okolo osi X, resp. Y, resp. Z |
| D | · uhlový rozmer okolo špeciálnej osi · tretia posuvová funkcia · druhá funkcia nástroja |
| E | · uhlový rozmer okolo špeciálnej osi · druhá posuvová funkcia |
| F (Feed - posuv) | Prvá posuvová funkcia |
| G (Go - postupovať) | Prípravná funkcia |
| H | Neurčené; zvykne sa používať na špecifikáciu korekčných prepínačov pre korekcie nástrojov |
| I, J, K | Interpoláčne parametre alebo stúpanie závitov rovnobežne s osou X, resp. Y, resp. Z |
| L | Neurčené |
| M (Make - urobiť) | Pomocná funkcia |
| N (Number - číslo) | Číslo bloku |
| O | Nepoužívať (môže dôjsť k zámene s nulou) |
| P, Q | Terciárny pohyb (prestavenie) rovnobežne s osou X, resp. Y |
| R | · Terciárny pohyb rovnobežne s osou Z · rýchloposuv v smere osi Z · parameter korekcie nástroja |
| S (Speed – rýchlosť, rýchlosť otáčania) | Funkcia hlavného pohybu – otáčky vretena |
| T (Tool - nástroj) | Prvá funkcia nástroja |
| U, V, W | Sekundárny pohyb rovnobežne s osou X, resp. Y, resp. Z |
| X, Y, Z | Primárny pohyb (prestavenie) |

Tab. 1: Význam adresných znakov pri programovaní NC strojov

U adresných znakov ktoré majú viac významov je treba definovať možnosť ich použitia od prvej po poslednú. Treba vždy dodržať jednoznačnosť adresovania a pravidlá zostavovania blokov, ktoré platia pre príslušný stroj alebo riadiaci systém. Príklad takýchto riadiacich znakov je uvedený v tabuľke 2.

| Znak | Význam |
|------|--------------------------------|
| + | Symbol kladného zmyslu pohybu |
| - | Symbol záporného zmyslu pohybu |
| % | Začiatok programu |
| LF | Koniec bloku - Line feed |
| HT | Tabulácia |
| M02 | Koniec programu |
| M30 | Koniec informácie |
| (| Začiatok poznámky |
|) | Koniec poznámky |
| / | Vypustenie bloku |
| : | Označenie hlavného bloku |

Tab. 2: Riadiace symboly NC programu

(Peterka, 2002)

3.8.2 Príklad zápisu NC programu

N20 G1 G17 X200 Y100 F500 S1600 T1 M3

- N20 – označenie čísla vety (poradie vety 20), je výhodné číslovať bloky po piatich (5, 10, 15, 20,...) alebo po desiatich (10, 20, 30, 40,...), aby bolo možné dodatočné vkladanie viet, bez nutnosti prečíslovania programu. Označenie slúži aj na jednoduchú orientáciu v programe.
- G1 – lineárna interpolácia, je to riadenie, ktoré zabezpečuje rovnaký vzťah medzi rýchlosťami v súradnicových osiach a proporcionálny vzťah medzi vzdialenosťami, o ktoré sa musí akčný člen obrábacieho stroja premiestniť v dvoch, alebo viacerých súradnicových osiach súčasne.
- G17 – určenie roviny XY, používa sa pre kruhovú interpoláciu, frézy a pod. pre zadanie roviny vykonania funkcie.
- X200 – nastavenie súradnice X koncového bodu (200 mm).
- Y100 – nastavenie súradnice Y koncového bodu (100 mm).
- F500 – nastavenie rýchlosti posuvu ($500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$).
- S1600 – nastavenie otáčok vretena (1600 min^{-1}).
- T1 – použitie technologických parametrov pre nástroj číslo 1.

- M3 – otáčanie vretena v smere hodinových ručičiek, pre chod vretena v zmysle otáčania, pri ktorom sa skrutka s pravotočivým závitom upnutá vo vretene otáča do obrobku.

(Peterka, 2002)

3.9 Tvorba NC programu

Spôsob tvorby NC programu rozdeľujeme zásadne na dve veľké skupiny, a to na:

Ručné programovanie – často hovoríme o ručnom, alebo manuálnom programovaní. Pri tomto spôsobe tvorby NC programu je nutné, aby tvorca programu ovládal programovací jazyk daného obrábacieho stroja (syntax, význam jednotlivých slov a znakov, formát zápisu).

Možnosti ručného programovania:

- Zápis programu priamo do riadiaceho systému NC obrábacieho stroja.
- Tvorba NC programu mimo riadiaceho systému v bežnom textovom editore.
- Tvorba NC programu mimo riadiaceho systému na PC v špeciálnom software, ktorý okrem písania a editácie umožňuje simuláciu a kontrolu programu. Používajú sa vlastné softwari vytvorené užívateľom, alebo komerčné najčastejšie od dodávateľa NC riadiaceho systému. Takto vytvorený NC program treba preniesť do riadiaceho systému NC obrábacieho stroja.

Automatizované programovanie – v praxi nazývané strojové resp. strojné programovanie. Technológ ktorý vypracúva NC program nemusí ovládať programovací jazyk daného obrábacieho stroja (syntax, význam jednotlivých slov a znakov, formát zápisu). Vypracuje zápis riešeného problému v symbolickom jazyku. Transformácia takto pripravených podkladov, tzv. zdrojového programu do interpretovateľnej podoby NC programu pre konkrétny číslicovo riadený stroj je tiež robená pomocou samočinného počítača.

Možnosti automatizovaného programovania:

- použitie grafických programov
- použitie CAD/CAM software
- použitie režimu Teach In

(Peterka, 2002)

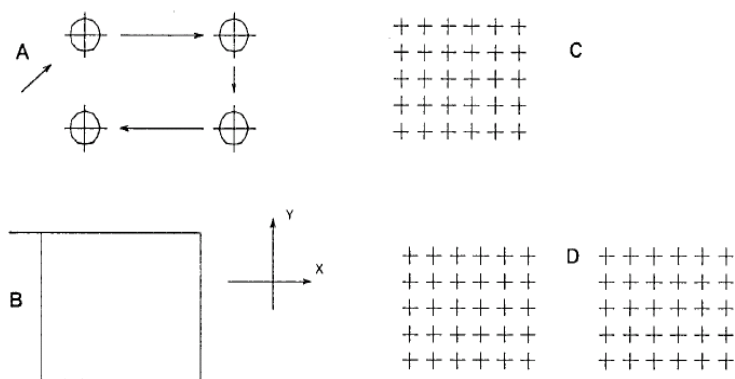
3.9.1 Rozdelenie programovania NC strojov na základe obtiažnosti

Tvorenie NC programov pre jednotlivé opracovania súčiastok vyžaduje použitie rôznych možností riadiacich systémov. Využívanie funkcií týchto systémov vyžaduje rôznu úroveň vzdelania a skúseností. Spektrum je veľmi široké od naprogramovania jednoduchých činností, ako napríklad vrtanie otvorov v pravidelnom pravouhlom usporiadaní až po opracovanie zložitých priestorových plôch. Na základe toho rozdeľujeme programovanie NC strojov do deviatich skupín (Peterka, 2002).

3.9.2 Skupina 1.

Súčiastky prvej skupiny môžeme opracovávať jednoduchými príkazmi pre polohovanie v rovine. Často ide o rovinu XY (prípadne XZ alebo YZ). Najčastejšie operácie prvej skupiny sú vrtanie, rezanie závitov a vyvrtávanie. Do prvej skupiny patrí aj sústruženie rotačných súčiastok. Tieto súčiastky musia pozostávať z valcových a čelných plôch a nesmú obsahovať kužeľové plochy a radiusy. Ďalej do skupiny zaraďujeme vystrihovanie sérií otvorov do plechov, ktoré sú definované v pravouhlých súradniciach XY a frézovanie v pravouhlých súradniciach.

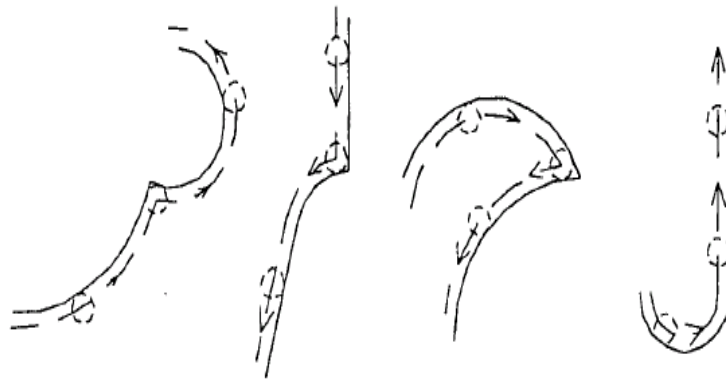
Medzi nevyhnutné znalosti patrí schopnosť čítania dielenských výkresov a ich interpretácie, ovládanie dielenskej matematiky, t.j. geometrické funkcie, formáty informácií a schopnosť zostaviť postup opracovania súčiastok, obr. 6. (Peterka, 2002).



Obr. 7: A – opakujúce sa jednotlivé operácie v režime polohovania; B – frézovanie po priamke v rovine v režime pravouhlého riadenia; C – jednotlivé operácie zoskupené do pravouhlých vzorov, v režime polohovania; D – posunutie vzorov pozdĺž jednej z osí

3.9.3 Skupina 2.

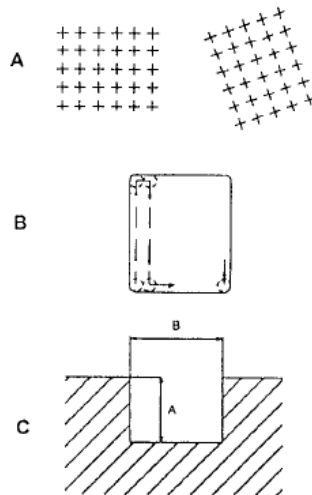
Do tejto skupiny patria súčiastky, ktoré sa zdajú tvarovo zložité ale podrobným rozborom sa dajú rozdeliť na viacero jednoduchých tvarov rôznej konfigurácie. Tieto tvary sa zvyčajne opracúvajú lineárnou a kruhovou interpoláciou. Pri kruhovej interpolácii je predpoklad, že kružnica je zadaná stredom, polomerom a koncovým bodom. Pri tejto skupine súčiastok sa vynára otázka použitia pomoci počítača. Oproti prvej skupine musí programátor dôkladnejšie ovládať analytickú geometriu a riešenie rovníc o jednej alebo dvoch neznámych (Peterka, 2002).



Obr. 8: Opracovanie obrysov, ktoré sú určené tangentou

3.9.4 Skupina 3.

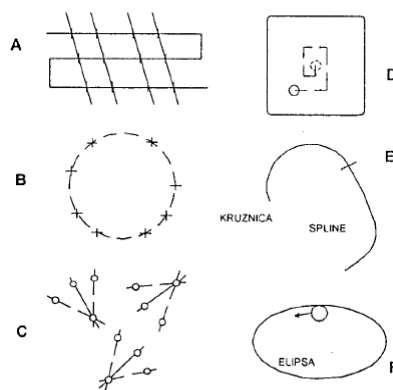
Patria sem súčiastky druhej skupiny, ktoré majú zložitejšiu geometrickú konfiguráciu. Na súčiastkach sa často opakujú rôzne tvary a zoskupenia otvorov. Tieto tvarové podmienky môže skúsený programátor využiť pre zreteľné zjednodušenie programovania tým, že vyhľadá zodpovedajúce parametre posunutia alebo rotácie týchto celkov. Pri tejto skupine sa využíva podpora počítača. Od programátora sa vyžaduje znalosť používania počítača (Peterka, 2002).



Obr. 9: A – posunutie a rotácia vzoru v režime polohovania; B – vytváranie dutín na jednej rovine v režime pravouhlého riadenia; C – skupina súčiastok, na ktorých je rovnaká konfigurácia tvaru, ale rozmery sa môžu líšiť

3.9.5 Skupina 4.

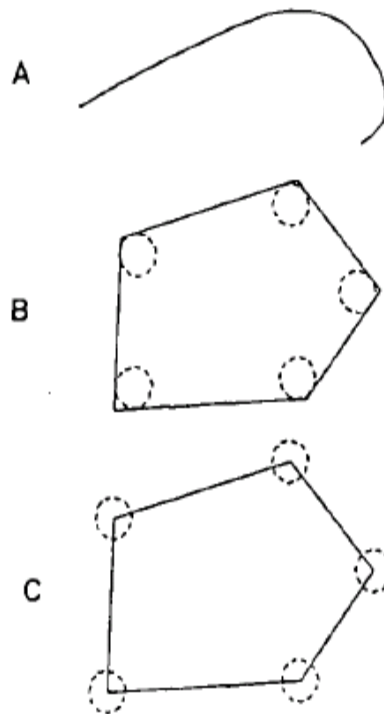
Súčiastky tejto skupiny zahŕňajú schopnosti opísania a zostavenia príkazov pre priamky a krivky v ľubovoľnej rovine, pričom geometrické elementy nie sú rovnobežné so žiadnou pohybovou osou. Pri takýchto vymedzeniach môžu vzniknúť problémy napojenia eliptickej krivky na ľubovoľne orientovanú priamku, manipulácie s rovnobežkami a inými geometrickými útvarmi, ktoré sú v rovinách ľubovoľne orientované. Programátor musí ovládať vedomosti predošlých troch skupín a navyše priestorovú geometriu. Využitie počítača sa berie ako samozrejmosť (Peterka, 2002).



Obr. 10: A - opakované operácie v asymetrických vzoroch v režime polohovania; B – otvory nerovnomerné rozložené na kružnici; C – posunutia a rotácie pred tým definovaných vzorov; D – automatické vytváranie vybraní; E – spline krivka tangenciálne napojená na kružnicu; F – matematicky definovaná krivka

3.9.6 Skupina 5.

Medzi vybavenie niektorých NC strojov patrí rotačná os. Najčastejšie je to otočný stôl, s kolmou osou otáčania alebo s rovnobežnou osou vretena. Pri rotačných osiach riadených v súvislom režime sa opracúvajú najčastejšie súčiastky kótované v polárnych súradniciach. Príklad takejto súčiastky je vačka. Na zostavenie programu sú potrebné znalosti predošlých skupín obohatené o znalosti algebry. Jednotlivé výpočty je možné robiť ručne, ale najvýhodnejšie je použitie výpočtovej techniky. Použitie počítača prináša numerickú presnosť a zrýchlenie celého procesu programovania. Súčiastky vyžadujú 2,5D zvislé riadenie a 3D polohovanie (Peterka, 2002).

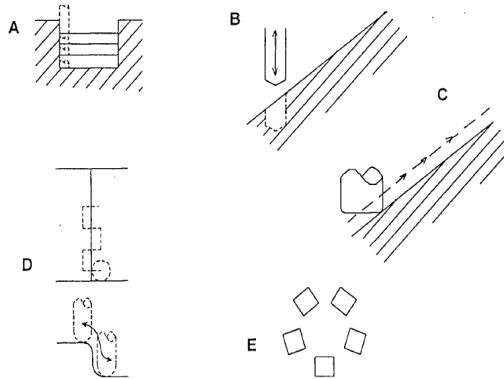


Obr. 11: A – krivka definovaná súborom súradníc bodov v pravouhlej alebo polárnej súradnicovej sústave; B, C – frézovanie dutín nepravidelných obrysov, ak sú zadané vrcholy ako stredy nástroja

3.9.7 Skupina 6.

Súčiastky tejto skupiny obsahujú tvary vznikajúce prienikom dvojosých a trojosých geometrických útvarov. Opracovanie takýchto tvarov vyžaduje minimálne 3D súvislé riadenie. Takto sa vyrábajú niektoré súčiastky leteckého priemyslu a tiež formy lisov na plechy a plasty. Programátor pri programovaní musí využívať analytickú geometriu v priestore. Jednotlivé tvary musí matematicky charakterizovať a transformovať ich do

jazyka riadiaceho systému. Počítačom sa určuje tvar súčiastky ako aj jednotlivé dráhy nástroja. Dráha nástroja býva vyjadrená pravouhlými alebo polárnymi súradnicami (Peterka, 2002).



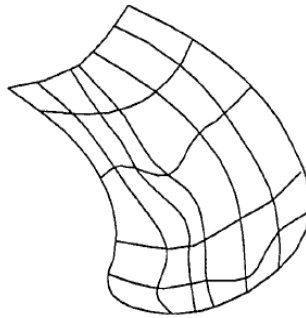
Obr. 12: A - dutiny na čisto v rôznych hĺbkach; B – vrtanie na sklonených plochách; C – opracovanie sklonených plôch; D – opakovaný rez pozdĺž povrchu; E – rotácia a posunutie opakujúcich sa vybrání

3.9.8 Skupina 7.

Väčšina súčiastok je vo všeobecnosti navrhovaná na základe matematických vzťahov. Povrchy súčiastok majú presne stanovenú konfiguráciu a jednotlivé elementy z ktorých sa skladajú majú presne definované a kvantifikované vzťahy. Pri súčiastkach, ktorých tvar musí vyhovovať estetickým a módnym požiadavkám ako napríklad vstrekovacie formy pre plasty a lisovacie nástroje tvárnenia plechov karosérie automobilov je najvyššou prioritou vzhľad navrhnutého tvaru. Takýto tvar nemusí byť vyjadrený analyticky, ale na zostavenie programu na výrobu takejto formy je matematické vyjadrenie nevyhnutné. Opis takéhoto tvaru musí byť úplne presný alebo aspoň aproximovaný tak presne, aby nedošlo k zmene tvaru.

Táto skupina vyžaduje 3D až 5D súvislé riadenie a programovanie potrebnej dráhy zvykne prebiehať v dvoch etapách. Do prvej etapy vstupujú počítačoví experti, ktorí majú za úlohu zostaviť vhodný matematický opis tvaru, ktorý chceme navrhnuť. Jednotlivé povrchy nezávisle od tvaru sa rozdelia na časti a matematicky sa opíšu. Ak sa tvar nedá vyjadriť analyticky môžeme použiť súradnice hustej siete bodov. Požiadavky znalosti zahŕňajú algebru a analytickú geometriu v priestore a znalosť programovania v niektorom z vyšších jazykov. Nepredpokladajú sa rozsiahlejšie znalosti z obrábania a číslicového

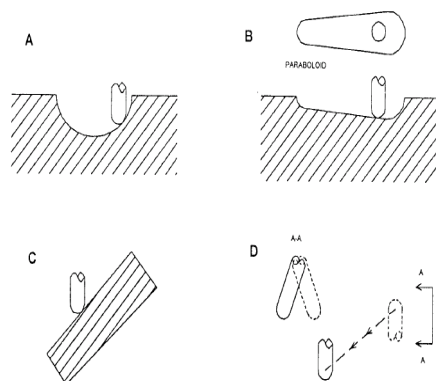
riadenia. V druhej etape sa zostavujú postupnosti opracovania a určujú sa dráhy jednotlivých nástrojov formou jednotlivých príkazov (Peterka, 2002).



Obr. 13: Priestorové plochy používané na karosériách automobilov

3.9.9 Skupina 8.

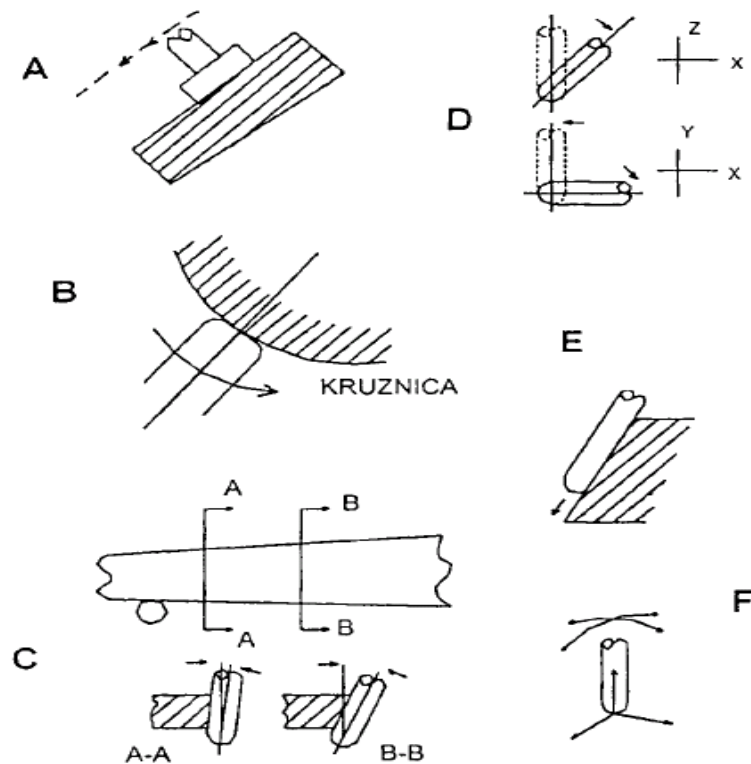
Na súčiastkach tejto skupiny treba opracovať krivky a plochy podobne tým, ktoré patria do siedmej skupiny, ale rozdiel je v tom, že ich matematické vyjadrenie je známe a je výsledkom návrhu súčiastky. Medzi súčiastky ôsmej skupiny môžeme zaradiť napríklad listy vrtúľ lietadiel, lopatky turbín a mnohé iné, ktoré majú podobné plochy. Programátor má za úlohu pripraviť opracovanie povrchov, ktoré sú presne matematicky definované. Zostavenie NC programu vyžaduje znalosti algebry, analytickej a deskriptívnej geometrie, trigonometrie a samozrejme programovanie počítačov (Peterka, 2002).



Obr. 14: A – opracovanie analyticky vyjadrených priestorových plôch; B – opracovanie neanalytických priestorových plôch a vybraní; C – pohyb stopkovej frézy s guľovým zakončením k šikmej ploche; D – opracovanie plochy vzniknutej z rovinatej plochy skrútením jej protiľahlých koncov v opačných smeroch

3.9.10 Skupina 9.

Táto skupina reprezentuje najvyššiu úroveň programovania NC strojov. Patria sem súčiastky siedmej a ôsmej skupiny, ktoré sú obohatené ďalšími zložitými plochami. Tieto súčiastky sa dajú vyrobiť len ťažko bez použitia 5D súvislého riadenia. Medzi takéto súčiastky radíme napríklad lodné skrutky, ktoré sú vyrobené z jedného kusu. Kvalifikačné požiadavky sú rozšírené okrem požiadaviek siedmej a ôsmej skupiny o sférickú trigonometriu a numerickú analýzu. Je potrebná matematická erudícia (Peterka, 2002).



Obr. 15: A – priamy rez nástrojom, ktorého os je kolmá na sklonenú plochu; B – rovnomerné natáčanie osi nástroja tak, aby bola kolmá na opracovanú plochu; C – opracovanie plochy, ktorej sklon je nepravidelný; D – natáčanie nástroja okolo bodu v rovine a okolo bodu súčasne v dvoch rovinách; E – 3D súvislé riadenie; F – 4D a 5D súvislé riadenie

4 Diskusia

Oblasť dielenského programovania NC strojov je vďaka rýchlemu napredovaniu vývoja výpočtovej techniky rýchly a neustále napreduje. Požiadavky zákazníkov sú náročnejšie a rýchlo meniace.

Prvé riadiace systémy boli vyvinuté v roku 1950. Používali sa narážkové a kopírovacie systémy. V USA a v Škótsku vznikli riadiace systémy, ktoré pracovali na princípe vákuových lúčov. Vývoj napredoval a výrobcovia začali do svojich systémov za účelom optimalizácie zaraďovať číslkové a analógové interpolátory.

Na základe tejto skutočnosti vznikali firmy zaoberajúce sa vývojom riadiacich systémov obrábacích NC strojov. Medzi najznámejšie spoločnosti, ktoré vyrábajú riadiace systémy patrí napríklad Siemens Sinumerik, GE Fanuc a Heidenhain. Jednotlivé firmy začali vyvíjať vlastné produkty do ktorých integrovali svoje poznatky z oblasti riadiacich systémov a výpočtovej techniky. Každá spoločnosť sa začala uberať vlastným smerom vývoja, čo zapríčinilo nekompatibilitu jednotlivých systémov. S uvedenou skutočnosťou vyplýva, že prechod z jedného riadiaceho softvéru na softvér iného výrobcu je v súčasnosti veľmi obtiažný a zložitý. Táto skutočnosť núti jednotlivé spoločnosti aby sa začali uberať smerom univerzálnosti a vysokej kompatibility. Systémy začínajú využívať prechod na osobný počítač.

Rozvojový trend systému dielenského programovania vyžaduje výkonné pomôcky na tvorbu programu. Takéto komplexne systémy musia využívať najnovšie poznatky z oblasti CAM a CAD systémov. Vývojári musia minúť veľa úsilia na špeciálne aplikácie kvôli ekonomickým aspektom.

5 Záver

Bakalárska práca je zameraná na vývoj v oblasti dielenského programovania NC strojov. V úvode sa zaoberám stručným zadefinovaním základných pojmov NC systémov a strojov. V jednotlivých kapitolách popisujem generačný vývoj stavby výrobných NC strojov. V súvislosti s generačným vývojom opisujem základné súčiastky stavby riadiacich systémov a ich jednotlivé princípy. Následne sa venujem oblasti vývoja riadiaceho softvéru, kde spolu s jednotlivými vývojovými obdobiami uvádzam aj aplikácie na konkrétne výrobné systémy. Riadiace systémy prešli vývojom od jednoduchého programovania G – kódov až po doplnenie systémov grafickým zobrazením programovanej súčiastky. Výrobne systémy pracujú na princípe kódovania informácií, ktoré sú zahrnuté v nasledovnej kapitole. Tie prešli jednotlivými etapami vývoja za účelom zjednodušenia a prehľadnosti. V kapitole rozdelenia NC systémov rozlišujem jednotlivé systémy z hľadiska dráh pohybu nástrojov a možností programovania. Z týchto možností vychádzajú jednotlivé súradnicové systémy a formáty zápisov viet a slov. Od týchto zápisov sa odvodzujú jednotlivé stavby programov, pričom udávam konkrétny príklad zápisu NC vety. Kapitola obsahuje tabuľku s jednotlivými adresnými znakmi, ich popisom a označovaním. Posledná kapitola je zameraná na rozdelenie programovania na základe obtiažností, ktoré sú zahrnuté v deviatich skupinách. Jednotlivé skupiny obsahujú požiadavky, ktoré musí programátor splňať, aby zvládol tvorbu programov.

Zámerom práce bolo popísať jednotlivé vývojové etapy a medzníky riadiacich systémov. K dosiahnutiu cieľa bolo potrebné štúdium odbornej literatúry a informácií čerpaných z internetových zdrojov. Na základe preštudovaných odborných informácií som spracoval danú problematiku.

Výsledkom bakalárskej práce je prehľad vývoja dielenského programovania NC strojov a súhrnný popis problematiky programovania.

6 Zoznam použitej literatúry

BRYCHTA, Josef. 2003. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.

DEMEČ, Peter. 2005. Číslíkové riadenie obrábacích strojov. In KEGA 3/3064/05. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2005. 27 s.

DVOŘÁK, Roman. 2010. Řídící systém-50letá historie. In *MM Průmyslové spektrum* [online], 2010, č. 9, s. 30 [cit. 2011-02-27]. Dostupné na:

<<http://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-system-50leta-historie>>.

HAVRILA, Michal. 2005. *Číslíkové riadená výrobná technika*. Prešov : FVT TU v Košiciach, 2005. 129 s. ISBN 80-8073-243-4.

HAVRILA, Michal. 2011. Možnosti dielenského programovania CNC obrábania. In *AT&P journal*, roč. 12, č. 5, s. 38-39.

HOJKA, Jiří – BOLTÍK, Jiří – NOBILIS, Jiří. 1990. *Radioelektronická zařízení 1*. 2. vyd. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. 294 s. ISBN 80-03-00216-8.

HOLKA, Marián. 2007. Optimalizácia výrobného postupu vybranej súčiastky na NC stroji : diplomová práca. Nitra : SPU, 2007. 73 s.

IŽOL, Peter. 2008. Programovanie CNC obrábacích strojov dielenskými systémami. In *Transfer inovácií*, 2008, č. 12, s. 140-142.

PALKOVÁ, Zuzana – HENNYEYOVÁ, Klára – OKENKA, Imrich. 2008. *Informatika a informačné technológie*. 2. vyd. Nitra : Vydavateľstvo SPU, 2008. 289 s. ISBN 978-80-552-0113-9.

PETERKA, Jozef – JANÁČ, Alexander – GÖRÖG, Augustín. 2002. *Programovanie NC strojov 1*. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2002. 75 s. ISBN 80-227-1686-3.

URBANOVÁ, Renáta. 2011. Dielenské programovanie CNC obrábania. In *Strojárstvo/Strojírenství*, roč. 11, č. 2, str. 72-73.

POLZER, Aleš. 2011. Akademie CNC obrábění. In *Technický týdeník* [online], 2011 [cit. 2011-04-04]. Dostupné na: <<http://www.techtydenik.cz/akademie.php?part=14>>.

Elektronka. 2011 [online], aktualizované 2011. [cit. 2011-04/01]. Dostupné na:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronka>>.

ŽATKOVIČ, Alexander. Logické obvody. [online], [cit. 2011-04-01]. Dostupné na:
<http://alzat.szm.com/Ttl_mos/Log_obv/log_obv.htm>.