

CNC výroba tvarové součásti

Petr Hvězda

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Bakalářská práce se zabývá analýzou CNC frézování, ale i celkového vývoje frézování. Navržení vhodné geometrie tvarové součásti a konstrukci v CAD software, import do CAM Expressu, vygenerování řezných drah, definování technologických podmínek a obrábění na frézce HWT.

Klíčová slova: Frézování, Tvarová plocha, Programování, CAD, CAM.

ABSTRACT

Abstrakt ve světovém jazyce

The thesis deals with the topic of analysis of CNC milling, as well as the whole development of milling. Design of appropriate geometry of moulded part and construction in CAD software, import to CAM Express, generating of cutting paths, definition of technological conditions and working on the milling machine HWT.

Keywords: Milling, Dimensional Space, Programming, CAD, CAM.

OBSAH

OBSAH	3
ÚVOD	6
I.	7
TEORETICKÁ ČÁST	7
1 FRÉZOVÁNÍ	8
1.1 ZÁBĚROVÉ PODMÍNKY PŘI FRÉZOVÁNÍ	8
1.1.1 FRÉZOVÁNÍ VÁLCOVÉ	8
1.1.2 FRÉZOVÁNÍ ČELNÍ	8
1.1.3 FRÉZOVÁNÍ SOUSLEDNÉ	9
1.1.4 FRÉZOVÁNÍ NESOUSLEDNÉ	10
1.2 FRÉZOVÁNÍ TVAROVÝCH PLOCH	13
1.2.1 PODLE ORÝSOVÁNÍ.....	13
1.2.2 TVAROVÝMI FRÉZAMI	14
1.2.3 NA OTOČNÉM STOLE	14
1.2.4 KOPÍROVÁNÍM.....	15
1.2.5 NA NC STROJÍCH.....	15
2 VÝVOJ NC A CNC TECHNIKY	17
2.1 GENERACE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	17
2.2 GENERACE ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ	18
3 KLASIFIKACE ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ	19
3.1 NC ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY	19
3.1.1 SYSTÉMY PRO STAVĚNÍ SOUŘADNIC	19
3.1.2 SYSTÉMY PRO PRAVOÚHLÉ ŘÍZENÍ	19
3.1.3 SYSTÉMY PRO SOUVISLÉ ŘÍZENÍ	20
3.2 CNC ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY	21
3.2.1 ZADÁVÁNÍ CNC PROGRAMŮ	22
3.2.2 PRACOVNÍ REŽIMY CNC STROJŮ.....	22
3.3 DNC ŘÍZENÍ	22
3.4 ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY NA BÁZI PC	23
4 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	24
4.1 STRUKTURA PROGRAMU	24
4.2 PROGRAMOVÁNÍ – POUŽITÍ NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH FUNKCÍ G, M	25
4.2.1 OBRÁBĚNÍ V ROVINÁCH SOUŘADNICOVÉ SOUSTAVY	27
4.3 TVORBA PROGRAMU	27

4.3.1	ABSOLUTNÍ PROGRAMOVÁNÍ.....	27
4.3.2	PŘÍRŮSTKOVÉ PROGRAMOVÁNÍ.....	27
4.3.3	PROGRAMOVÁNÍ - ŘEŠENÉ PŘÍKLADY.....	28
5	CAD/CAM SYSTÉMY	33
5.1	CAD SYSTÉMY	36
5.1.1	ROZDĚLENÍ CAD SOFTWARE.....	36
5.1.2	POČÍTAČOVÉ MODELY A MODELOVÁNÍ.....	37
5.1.3	MODELOVACÍ TECHNIKY.....	42
5.2	CAM SYSTÉMY	45
5.2.1	ROZDĚLENÍ CAM SYSTÉMŮ.....	46
5.2.2	POSTPROCESOR	47
5.2.3	FRÉZOVÁNÍ TVAROVÝCH PLOCH.....	48
5.2.4	CAM A ŘEZNÉ PODMÍNKY.....	54
5.2.5	PŘEDPOKLÁDANÝ VÝVOJ V OBLASTI CAM.....	54
6	SHRNUTÍ A CÍLE PRÁCE	56
II.	57
	PRAKTICKÁ ČÁST	57
7	CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH PROGRAMŮ.....	58
7.1	CATIA V5	58
7.1.1	OBLASTI POUŽITÍ CATIA V5.....	58
7.1.2	FLEXIBILNÍ ŘEŠENÍ.....	59
7.2	NX 7.5	60
7.2.1	NX CAD.....	60
7.2.2	NX CAM.....	60
8	PRÁCE V POUŽITÝCH PROGRAMECH	61
8.1	CATIA – ŠACHOVÁ FIGURKA	61
8.2	CATIA – NEGATIV ŠACHOVÉ FIGURKY.....	62
8.3	PRÁCE V NX.....	62
8.3.1	NX – ŠACHOVÁ FIGURKA	63
8.3.2	NX – NEGATIV ŠACHOVÉ FIGURKY.....	66
9	SAMOTNÁ VÝROBA DÍLŮ ZA POMOCÍ CNC FRÉZKY HWT.....	70
9.1	TECHNICKÉ PARAMETRY HWT C-442 CNC PROFI	70
9.2	POUŽITÉ NÁSTROJE.....	71
9.3	POUŽITÝ MATERIÁL.....	72
9.4	VÝROBA DÍLŮ.....	72
9.4.1	SROVNÁNÍ ČASŮ.....	75
10	ZÁVĚR.....	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	77
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	79

SEZNAM OBRÁZKŮ	81
SEZNAM TABULEK.....	84

ÚVOD

Z dnešního pohledu je podstatná část vývoje technologií třískového obrábění datována do období průmyslové revoluce, která probíhala v 18. a 19. století. Zvláště významný rozvoj tohoto výrobního odvětví nastal ve 20. století a to zejména velkými finančními investicemi do zpracování kovů, především pro vojenské účely, a také v době dnešních dnů vývoj, výzkum nebo aplikace obrábění nezpomaluje.

Nahlédneme-li na historii také částečně z pohledu ovládnutí obráběcích strojů, tak o podstatném zrychlení vývoje můžeme hovořit až od okamžiku, kdy byl k dispozici první mechanický pohon stroje. Další cesta pak vedla k zapojení parního stroje a následně přes několik navazujících historických milníků až k dnešním elektromotorům. Doposud se však jednalo především o manuální výrobní činnosti. Až v průběhu 20. století začaly do procesů třískového obrábění výrazně vstupovat prvky řízení a automatizace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FRÉZOVÁNÍ

Frézování patří mezi nejrozšířenější metody obrábění rovinných a tvarových ploch. Na rozdíl od soustružení pracují břitvy vícebřitého frézovacího nástroje – frézy, prakticky vždy v podmínkách přerušovaného řezu. Během jedné otáčky nástroje každý břit minimálně jedenkrát vniká do obrobku a jedenkrát ze záběru vychází. V okamžiku vnikání do obrobku je břit vystaven intenzivnímu rázu. Mimo to je břit vystaven teplotním rázům. Efektivní využití této technologie vyžaduje určitá zohlednění těchto záběrových odlišností tak, aby byly tyto nepříznivé jevy omezeny na minimum. [1]

1.1 Záběrové podmínky při frézování

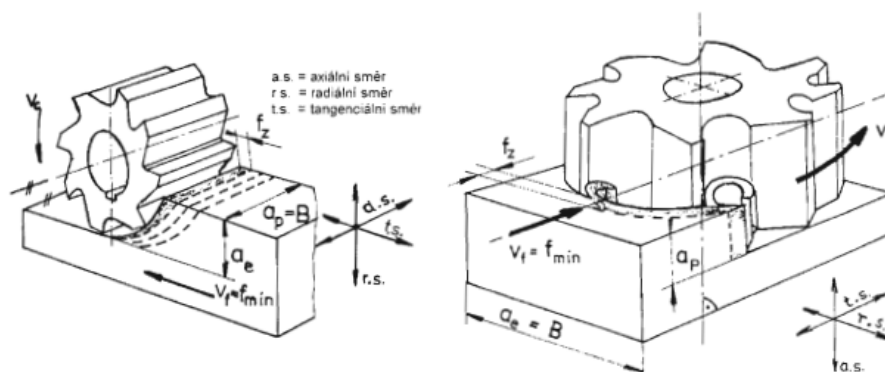
Podstatou frézování je odebrání materiálu obrobku jednotlivými břity (zuby) frézy, která se otáčí kolem své osy. Tento otáčivý pohyb je hlavním pohybem a osa rotace nástroje si zachovává svoji polohu nezávisle na posuvu. Posuvový pohyb koná obrobek, upnutý na pracovním stole obráběcího stroje - frézky. Posuvový pohyb je zpravidla přímočarý. Podle orientace osy otáčení hlavního pohybu nástroje k směru posuvu v místě záběru rozeznáváme:

1.1.1 Frézování válcové

Frézování válcové (obvodem), obr. 1a., které se děje obvodem válcové nebo tvarové frézy. Osa rotace nástroje je rovnoběžná s obrobem plochou.

1.1.2 Frézování čelní

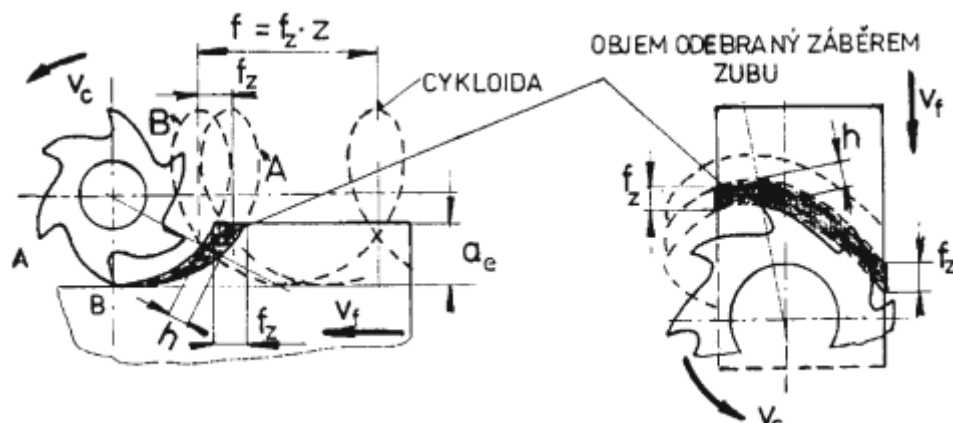
Frézování čelní, obr. 1b., které se uskutečňuje jak čelem, tak i obvodem čelní frézy nebo frézovací hlavy. Osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu. Frézování čelní, zejména pomocí frézovacích hlav s VBD je produktivnější než frézování válcové.



Obrázek 1a. Frézování válcovou frézou 1b. Frézování čelní frézou [1]

Z hlediska terminologie norem ISO je nutno rozlišit ve všech případech frézování (platí i pro broušení) vztah směru posuvového pohybu k ose otáčení nástroje. Norma rozlišuje a zavádí axiální směr (ve směru osy nástroje), radiální směr a tangenciální směr posuvového pohybu (posuvu), viz. obr. 1a., 1b. a další. Z tohoto hlediska a takto zavedené orientace zavádí a odlišuje pojmy axiální hloubka řezu a_p a radiální hloubka řezu a_e . Na výše uvedených obrázcích jsou vždy vyznačeny příslušné směry a odpovídající označení hloubek řezu.

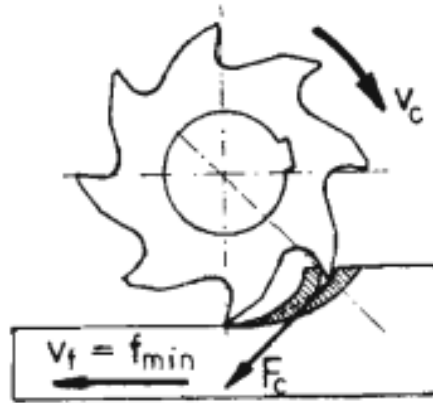
V souladu s výše uvedeným je výsledný řezný pohyb dán složením otáčivého pohybu nástroje a přímočarého posuvu obrobku. Výslednicí těchto pohybů je cykloida. Materiál odebraný každým zubem frézy je tedy vymezen vždy dráhami za sebou následujících zubů, viz. obr. 2. Podle orientace směru otáčení nástroje a směru posuvu obrobku rozlišujeme:



Obrázek 2. Řezný pohyb a zobrazení odebraného materiálu během záběru zubu [1]

1.1.3 Frézování sousledné

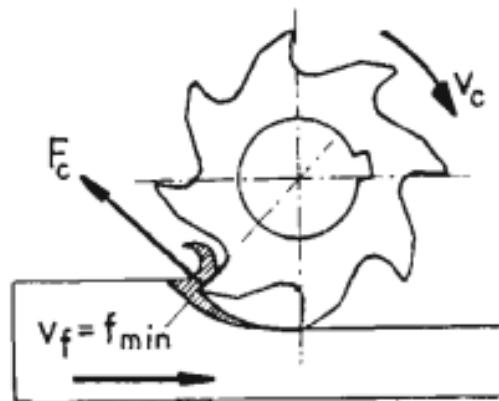
Obr. 3. Směr otáčení frézy a směr posuvu jsou shodné. Břit zabírá v místě maximálního průřezu odřezávané třísky, který je daný hodnotou posuvu na zub - f_z (mm). Záběr začíná silným rázem. Během otáčení se tloušťka odřezávané vrstvy zmenšuje a v době výstupu dosahuje nulové hodnoty. Rázy lze omezit uspořádáním zubů do šroubovice. Řezná síla působí příznivě na upnutí, obrobek přitlačuje na opěrnou plochu (stůl stroje). Tento způsob však vyžaduje tuhé obráběcí stroje, nejlépe s kuličkovými šrouby, aby byl posuvový mechanismus bez vůlí, protože složka řezné síly má snahu vtahovat obrobek ve směru posuvu. V praxi se tam kde to obráběcí stroje umožňují, dává přednost sousměrnému frézování.



Obrázek 3. Sousedné frézování [1]

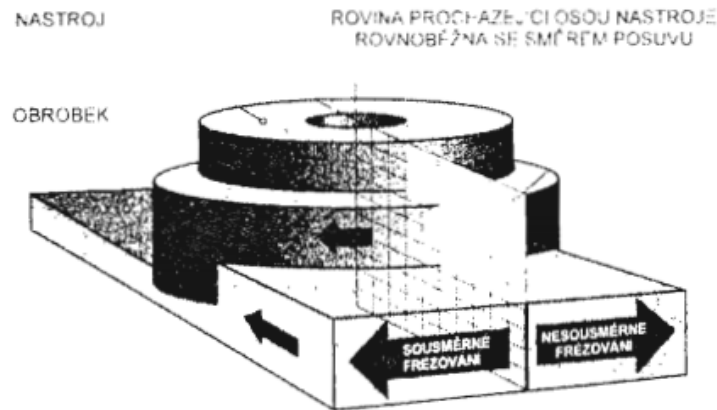
1.1.4 Frézování nesousledné

Obr. 4. Směr otáčení frézy a směr posuvu nejsou shodné. Břit vniká do materiálu při teoreticky nulové tloušťce odřezávané vrstvy a z řezu vychází při maximální tloušťce třísky, která je úměrná posuvu na zub f_z . V tomto případě je mechanický ráz na řeznou hranu podstatně menší, ale při vnikání se břit určitou dobu intenzivně tře hřbetní plochou a to až do okamžiku plného zařiznutí, ke kterému dochází až po dosažení minimální tloušťky h_{min} . Výsledná řezná síla směřuje nahoru a tím nepříznivě ovlivňuje upnutí obrobku.



Obrázek 4. Nesousledné frézování [1]

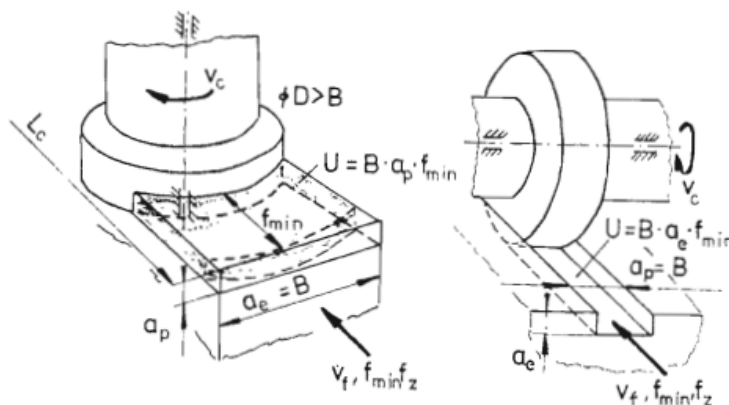
Při obrábění čelní frézou nebo frézovací hlavou záleží na poloze osy nástroje vzhledem k obráběné ploše, obr. 5. V případě symetrického uspořádání je zřejmé, že nástroj pracuje v části záběru sousměrně i nesousměrně současně.



Obrázek 5. Sousedné/nesousedné čelní frézování [1]

Bez ohledu na předchozí rozdělení je řezný proces definován následujícími pracovními veličinami, viz. obr. 6. Skutečná řezná rychlost (výsledný řezný pohyb) je dána vektorovým součtem všech rychlostí, tj. rychlostí hlavního pohybu a rychlostí posuvu. V praxi však ve většině případů uvádíme jako směrodatnou rychlost hlavního pohybu v_c ($m \cdot \min^{-1}$). Pro výpočet otáček vřetene platí opět základní vztah

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = (m \cdot \min^{-1}), \quad (1)$$



Obrázek 6. Pracovní podmínky-úběr [1]

Kde:

D ...průměr frézy

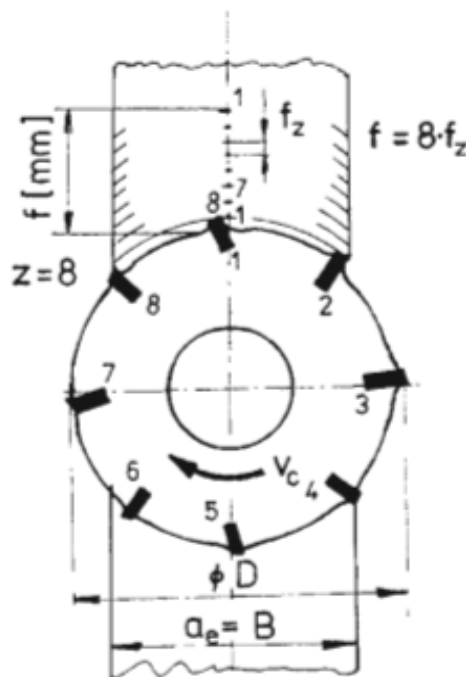
n ...otáčky nástroje (vřetene) (\min^{-1}).

Pro definování stolu s obrobkem se v oblasti frézování zavádějí následující veličiny:

- Posuv za minutu f_{min} resp. rychlost posuvu v_f ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$), které odpovídá relativní rychlost mezi osou nástroje a obrobkem. Tato veličina se též nastavuje na posuvovou převodku obráběcího stroje.
- Posuv na otáčku f (mm) je obvykle pomocnou hodnotou a určuje relativní dráhu nástroje za jednu otáčku.
- Posuv na zub f_z (mm) je dán hodnotou dráhy stolu frézky vykonanou mezi záběry dvou za sebou následujících břitů. Hodnota posuvu na zub f_z je základní technologickou veličinou, která určuje podmínky záběru nástroje a je určující veličinou uváděnou v technologickém postupu.

Vztahy mezi posuvem f_{min} , f a f_z jsou zřejmé z obr. 7. a pro vzájemný přepočet těchto veličin platí následující vztah [1]

$$f_{min} = f_z \cdot z \cdot n = f \cdot n \quad (\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}). \quad (2)$$



Obrázek 7. Posuv na zub a posuv na otáčku [1]

1.2 Frézování tvarových ploch

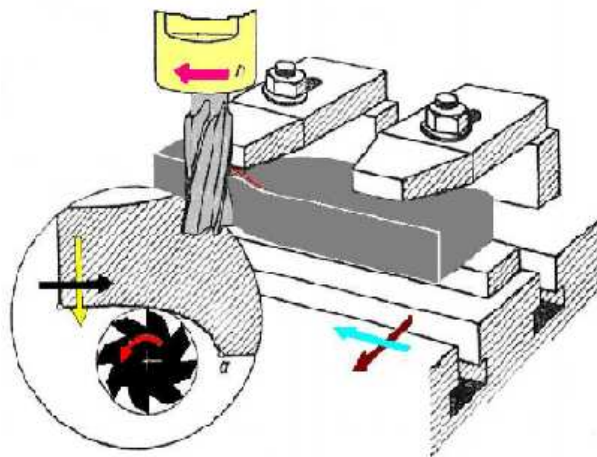
Ve strojírenské výrobě se velmi často vyskytují součásti, jejichž tvar se liší od tvaru pravidelných těles, jako jsou hranol, kužel, válec aj. Obrysové plochy těchto součástí jsou různě zakřivené – tvarové.

Jsou různé způsoby vytváření tvaru takových součástí. Jedním z nich je frézování. Na frézkách můžeme tvarové plochy obrábět takto:

- Podle orýsování,
- Tvarovými frézami,
- Na otočném stole,
- Kopírováním,
- Při sériové výrobě na NC strojích.

1.2.1 Podle orýsování

Používá se v kusové výrobě a umožňuje obrobit požadovaný tvar za použití normálních nástrojů a běžných upínacích zařízení. Výsledný pohyb (podél rysek) zajišťuje frézař ručně sdružením podélného a příčného posuvu. Tento způsob výroby je platný zejména v kusové výrobě a vyžaduje značnou zručnost frézaře. Obvykle je nutné tvar dopilovat a odstranit nerovnosti.



Obrázek 8. Frézování tvarových ploch podle orýsování [4]

1.2.2 Tvarovými frézami

Tvarových fréz se hlavně používá pro obrábění krátkých a jednoduchých tvarových profilů a to nejčastěji poloměrového zakřivení. Jedním záběrem se buď ofrézuje celý tvarový povrch, nebo jen jeho určitá část. Širší a členitější tvarové plochy se frézují společnými frézami tak, že na společný trn upneme několik jednoduchých fréz. Tvarové frézy představují velké pořizovací náklady na nástroje, proto se uplatňují hlavně v kusové výrobě.

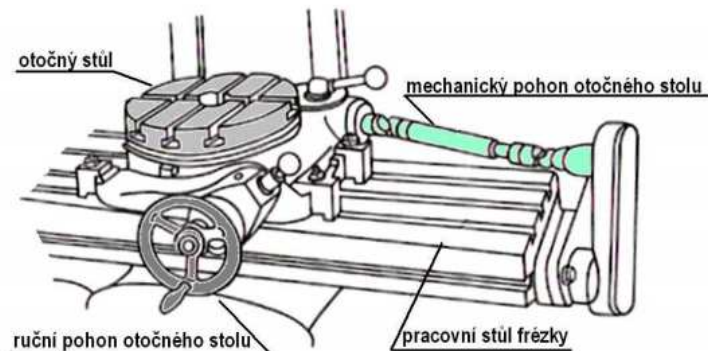


Obrázek 9. Ukázka tvarových fréz [5]

1.2.3 Na otočném stole

Otočné stoly jsou v podstatě kruhové upínací desky vodorovně položené a otočné kolem svislé osy, které mají na horní ploše radiální upínací drážky. Otočný stůl upínáme na horní plochu podélného stolu upínacími šrouby. Na otočné desce se mohou obrábět vnější i vnitřní zaoblené plochy, popřípadě jen jejich část. Seřízení provádíme tak, že do středu kruhové desky vložíme středící trn, který má na čelní ploše středící důlek, do vřetena frézky nasadíme středící hrot a posuvy přestavíme tak, aby špička hrotu byla shodná s osou středícího trnu, který je upevněn v otvoru desky. Přesnější ustavení provádíme úchylkoměrem.

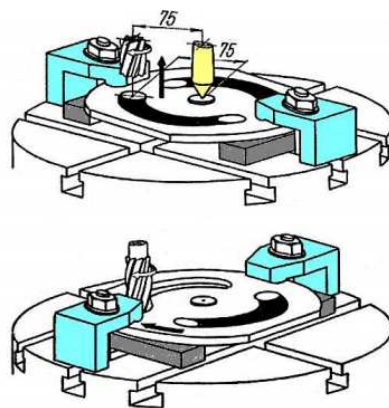
Frézování tvarových ploch na otočných stolech:



Obrázek 10. Frézování tvarových ploch na otočném stole [4]

Postup při frézování tvarové plochy na kruhovém stole:

- orýsujeme obvodový tvar drážky,
- vyvrtáme středící otvor pro středící trn,
- vyvrtáme otvory konců kruhových drážek,
- nasadíme na středící trn,
- ofrézujeme obvod,
- nastavíme frézu k obrábění rovné plochy 2.



Obrázek 11. Frézování na otočném stole [4]

1.2.4 Kopírováním

Tvarové plochy můžeme na frézkách vytvářet i kopírováním. Používá se při frézování složitých tvarů. Můžeme vytvářet buď obvodové, nebo tvarové dutiny. Při tomto způsobu se dotkový palec pohybuje po šabloně a tento pohyb se přenáší na obráběcí nástroj. Často se tímto způsobem vyrábějí např. popisy, štítky, jmenovky, klíče.

1.2.5 Na NC strojích

Nejmodernější obráběcí stroje používají pro zabezpečení automatického cyklu informace, které jsou obsažené ve formě NC programu tzv. „pružná automatizace – soft automatik“. Konstrukce CNC obráběcích strojů pro využití NC programu je odlišná od konstrukce konvenčních strojů. Viditelný rozdíl je v tom, že CNC stroje disponují řídicím systémem.

Frézování tvarových ploch NC programem umožňuje:

- dvojosé frézování ve 2D, je to frézování v jedné rovině např. osy x, y (v jedné rovině)

- trojosé frézování ve 3D, je to frézování v prostoru, ale u složitějších ploch je třeba z důvodů možného podřezání použít kulový nástroj (ekvidistanta)
- pětiosé frézování, je to trojosé frézování doplněné buď dvouosou naklápěcí hlavou, nebo programově řízeným otočným stolem. V programu může být i kontrola kolize nástroje s plochou - adaptabilní řízení. Výhodou NC řízení je možnost výroby prakticky každé součásti. Nevýhodou je vysoká cena stroje, programové vybavení a cena práce obsluhy. [2, 3, 4, 5, 6, 7]



Obrázek 12. NC stroj pro frézování tvarových ploch [6]

2 VÝVOJ NC A CNC TECHNIKY

Dnešní doba automatizovaných výrobních procesů s nezastupitelnou úlohou výpočetní techniky, klade stále větší důraz na odbornou přípravu a zkušenost pracovníků.

Při vývoji číslicově řídicích obráběcích strojů se střetáváme s pojmem generace (vývojový stupeň), který v podstatě znamená rozlišení jednotlivých periodických období charakterizovaných novými konstrukčními principy. Historie jednotlivých generací začala na Massachusettském technologickém institutu, kde v roce 1948 zakázkou pro US-Airforce se začal vývoj systému, při kterém řízení obráběcího stroje převezme počítač. [7, 8]

2.1 Generace číslicově řízených obráběcích strojů

Do dnešního dne vývoj číslicově řízených strojů je možné shrnout do následujících generací:

1. Generace – přizpůsobením a doplněním ručně řízených konvenčních strojů číslicovým řízením. Mechanická část číslicově řídicích strojů je stejná jako u konvenčních strojů. Stroj je doplněn řídicím systémem, často kompletovaným vlastním výrobcem obráběcího stroje.

2. Generace – nově konstruované stroje pro samostatné nasazení schopné plnit požadavky z hlediska přesnosti a tuhosti. Mechanická část číslicově řízených obráběcích strojů je přizpůsobená požadavkům vyvolaných číslicovým řízením. Samotné řídicí systémy nevyrábí výrobce obráběcích strojů, ale specializovaní výrobci.

Stroje 1. a 2. Generace jsou většinou poloautomaty, u kterých musíme ručně vkládat a odebírat obrobky, a tedy nejsou vhodné pro nasazení do AVS.

3. Generace – pro nasazení ve výrobních buňkách a výrobních systémech. Vznikají obráběcí centra, mají automatizované funkce ve vnitřním systému technologického pracoviště jako výměnu a upínání obrobků a nástrojů, ale také z hlediska napojení na vnější systém, např. dopravu obrobků a nástrojů ve výrobním systému. Součástka se obrábí převážně na jedno upnutí při krátkých průběžných časech.

4. Generace – speciálně konstruované stroje pro aplikaci vysokorychlostního obrábění. [7]

2.2 Generace řídicích systémů

Následující rozdělení bylo vytvořené hlavně podle použití součástkové základny pro stavbu řídicích systémů. Tyto překonaly určitý vývoj a řídicí systémy číslicově řízených strojů mají stále užší vazbu na personální počítač:

1. Generace – NC systémy s vakuovými elektronkami a reléovým řízení funkcí,
2. Generace – NC systémy s tranzistorovými obvody,
3. Generace – NC systémy s integrovanými obvody,
4. Generace – CNC systémy s mikroprocesory,
5. Generace – CNC systémy s otevřenou architekturou na bázi osobních počítačů.

Některé historické mezníky ve vývoji číslicově řízených obráběcích strojů:

1952 – první NC obráběcí stroj postavený v MIT (USA) úpravou konvenční konzolové frézovačky,

1957 – první numericky řízený obráběcí stroj s vertikálním vřetenem (Cincinnati Hydrotel),

1960 – představení prvních německých NC strojů na Hannoverském veletrhu,

1965 – první automatická výměna nástrojů,

1970 – první automatická výměna obrobků (výměna palet),

1972 – první CNC řídicí systémy,

1979 – stále častější nasazení externích programových stanic (PC) – DNC systémy,

1985 – CNC řídicí systémy s grafickým, interaktivním zadáváním programů,

2000 – napojení CNC strojů na celosvětovou internetovou síť. [7]

3 KLASIFIKACE ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

Při klasifikaci řídicích systémů jsem se zaměřil na typy řídicích systémů z pohledu jejich funkcí a úloh, které na sebe přebírají. V současnosti můžeme hovořit o těchto typech řídicích systémů:

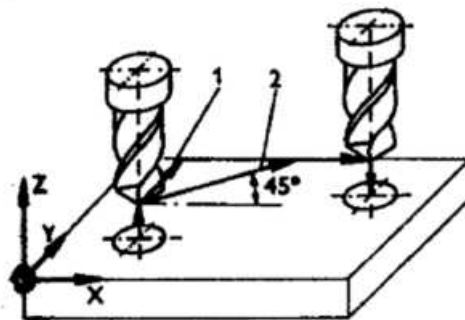
1. NC řídicí systémy,
2. CNC řídicí systémy,
3. DNC řídicí systémy,
4. Řídicí systémy na bázi PC.

3.1 NC řídicí systémy.

NC – Numeric Control – číslicově řízený. Tyto systémy jsou složeny z pevně propojených hardwarových elektronických bloků, bloky pracují současně a nezávisle na sobě. [7]

3.1.1 Systémy pro stavění souřadnic

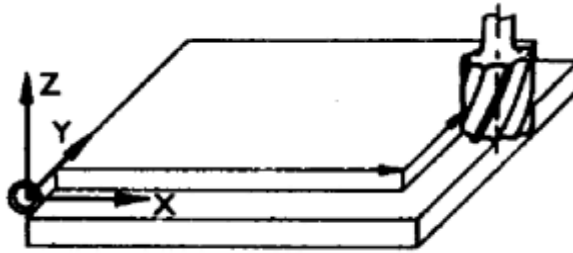
Tento systém se nejčastěji používá u číslicově řízených vrtaček a vyvrtávacích strojů pro přemísťování obrobku vzhledem k nástroji. Pohyb probíhá rychloposuvem v osách X a Y a není pohybem pracovním, ten probíhá v ose Z a představuje posun do řezu. [9]



Obrázek 13. Využití systému pro stavění souřadnic [9]

3.1.2 Systémy pro pravouhlé řízení

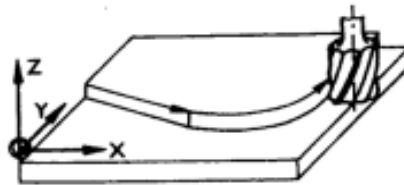
Při tomto systému je prováděno obrábění rovnoběžně se souřadnicovými osami X, Y, Z vždy však pouze v jedné z nich. Teprve po skončení pohybu v jedné ose může nastat v druhé ose. To umožňuje frézovat pravouhlé obrobky. [9]



Obrázek 14. Využití systému pravoúhlého řízení [9]

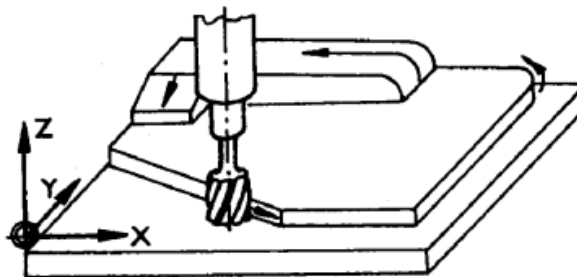
3.1.3 Systémy pro souvislé řízení

Systémy se používají u soustruhů, frézek a obráběcích center. Umožňují obrábění současně ve dvou osách, např. obrábění rádiusů, úhlových ploch, tvarových ploch. Provádíme-li obrábění současně ve 2 osách (2 dimenzích), označuje se toto řízení jako souvislé řízení 2D.



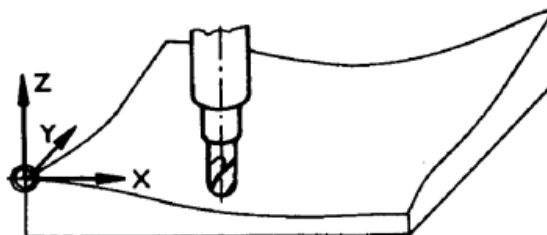
Obrázek 15. Souvislé řízení 2D [9]

U některých frézek lze provádět obrábění ve 2 osách vždy v jedné z rovin X-Y, Y-Z, Z-X přepínáním těchto rovin. Toto řízení se označuje jako souvislé řízení $2^{1/2}$ D.



Obrázek 16. Souvislé řízení $2^{1/2}$ D [9]

Probíhá-li obrábění ve třech současně pracujících osách (3 dimenzích), je toto řízení označováno jako souvislé řízení 3D. Tímto způsobem lze obrábět složité tvary, např. dutiny kovacíh zápusťek apod. [9]



Obrázek 17. Souvislé řízení 3D [9]

3.2 CNC řídicí systémy

První CNC stroje vznikly po roce 1970. Označení pochází z názvu Computer Numerical Control – počítačem číslicové řízení. Tyto stroje jsou vybaveny vlastním počítačem, který řídí výrobní proces. Obrazovka počítače slouží k indikaci programu, klávesnice pro zadávání vstupních dat a pro řízení stroje. Kromě vlastního obrábění umožňuje řídicí počítač také grafickou simulaci, sloužící k vizuální kontrole každého programu před vlastním obráběním.

Rozsáhlá paměť počítače umožňuje uložení většího počtu programů. Další výhodou CNC strojů je možnost používání pevných cyklů – např. vrtacích, závitových, frézování zámků a kapes a jiných, kdy není třeba rozepisovat jednotlivé pohyby, ale stačí zadat pouze koncové rozměry.

Z uvedeného je zřejmé, že typický CNC systém je účelově sestavená počítačová síť procesorů, pamětí, vstupních a výstupních prvků, propojená rychlou vnitřní komunikací tak, aby mohl být realizován alespoň jeden systém řízení dějů v reálném čase.

Univerzální CNC frézka Opti F 100 CNC-TC



Obrázek 18. Příklad Univerzální CNC frézka [10]

3.2.1 Zadávání CNC programů

Zadávání lze provádět:

- z klávesnice,
- pomocí paměťového média,
- přenosem programu pomocí počítačové sítě.

3.2.2 Pracovní režimy CNC strojů

CNC stroje mohou pracovat v těchto režimech:

- ruční řízení – používá se pro seřízení stroje a nástroje,
- blok po bloku – slouží k odladění prvního kusu,
- kontinuální – používá se pro sériovou výrobu součástí.

U CNC frézek se používá souvislé řízení 3D. Některé CNC stroje mají možnost, kromě řízení procesu, ve 3 osách řídit další pohyby, např. otáčení kolem některé osy, nebo pohyby revolverové hlavy s nástroji. V těchto případech se jedná o souvislé řízení 4D nebo 5D. [7, 9, 10]

3.3 DNC řízení

DNC – Direct Numerical Control – přímé číslicové řízení. Jde vlastně o propojení CNC obráběcího stroje s externím počítačem PC. Propojení se uskutečňuje běžným rozhraním u PC. DNC systém vykonává správu NC programu (možnosti tvorby, editace, archivování apod.) a podílí se na řízení pohybu obráběcího stroje programem spuštěným z PC. Jeho využití je zejména u CNC systémů s malou operační pamětí, kdy potřebujeme spustit NC program větší, jako je operační paměť řídicího systému vyčleněná pro správu NC dat. [7, 11]

DNC, automatické nahrávání CNC programů do technologie,
centrální úložiště CNC programů



Obrázek 19. DNC řízení – Přímé číslicové řízení [11]

3.4 Řídící systémy na bázi PC

Předpokládaný směr vývoje řídicích systémů naznačuje jejich generační změnu, která přichází ve formě nástupu nových systémů s otevřenou architekturou a softwarovou kompatibilitou s dialogovými univerzálními operačními systémy s grafickým interface (Windows). V podstatě jde o maximální přiblížení celkové soustavy CNC systému ke struktuře univerzálního počítače. CNC systémy se rozdělí na téměř samostatné části, softwarově kompatibilní s PC a Windows, které vzájemně komunikují. Takto koncipovaná struktura s otevřenou architekturou vede k velkému zpřehlednění a unifikaci hardwarové i softwarové složky řízení. [7]

4 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

4.1 Struktura programu

Na začátku programu je před prvním řádkem (blokem) uveden znak %, za znakem je uvedeno číslo programu – to platí pro většinu řídicích systémů. Před tímto znakem lze uvádět informace, které stroj nezpracovává, jako např. poznámky, název součásti atd. Poznámky lze uvést i za znakem, ale je nutné je dát do závorky. Jsou systémy, které tento znak nepožadují, potřebné poznámky se obvykle uvádějí v programu např. funkcí G. [12]

Tabulka 1. Složení programu (v bloku) [12]

Příklad				Název	Poznámka
N 40 G 00 X 100 Z-50				blok (věta)	Doporučené pořadí adres jednotlivých slov ve větě je: N G (M) X Y Z F S T D, nemusí se dodržovat, záleží na daném řídicím systému. Doporučuje se dodržovat pro větší přehlednost a kontrolu.
N 40	G 00	X 100	Z-50	příkaz (slovo)	
N	G	X	Z	adresa	
40		0		významová část	
100		50		rozměrová část	

Tabulka 2. Význam nejpoužívanějších adres [12]

Význam nejpoužívanějších adres:		
Písmeno	Význam	Poznámka
X Y Z	Základní osy souřadného systému - pohyb v osách.	Některá z uvedených písmen abecedy jsou pro výrobce řídicích systémů závazná, některá doporučená.
A B C	Rotace kolem základních os.	
I J K	Parametry interpolace nebo stoupání závitu ve směru os.	
P Q R	Pohyb paralelně podél základních os.	
R	Některé systémy používají R jako parametr v podprogramech.	
U V W	Druhý pohyb paralelně se základními osami.	
T	Nástroj.	Neobsazená písmena abecedy jsou volná, výrobci je obsazují dle specifik svých řídicích systémů, podle možností daných stroji, pro které jsou především určena.
D	Paměť korekce nástrojů.	
G	Přípravná (geometrická) funkce.	
M	Pomocná (přídavná) (strojní) funkce.	
N	Číslo bloku (věty).	
F	Posuv.	
S	Otáčky vřetene. Konstantní řezná rychlost.	
L	Volání podprogramu.	

Tabulka 3. Význam důležitých funkcí [12]

Název a příklad	Užití
Věta (blok) Věta musí začít písmenem N a číslem např. N 40 Př. N 40 G 00 X 100 Z-50 (obvyklé u výukových systémů, ale nemusí u většiny systémů ve výrobní praxi)	Čísluje se obvykle po desítkách, aby bylo možné dodatečné vložení dalších vět například při opravě programu. Řídicí systém obvykle seřazuje bloky podle čísel vzestupně a v tomto pořadí je čte a stroj vykonává zadané příkazy. Vzestupnost čísel slouží též pro lepší orientaci programátora v programu. Pokud by následující věta (y) obsahovala některé stejné instrukce, nemusí se psát, jsou platné do té doby, než budou přepsány = modální funkce.
Přípravné (hlavní) funkce G (Go) Př. G00; G01; G42 Př. G0; G1; G42	Zpracovávají geometrické informace. Některé systémy připouštějí vložit i více G funkcí do jedné věty. Dvojmístné číslo se nemusí použít, pokud je první číslo 0. Některé systémy používají více než dvojmístná čísla G a také M.
Pomocné funkce M (Machine) Př. M04, také M4	Vyvolávají činnost mechanismu stroje. Některé se také týkají řídicího systému.
Informace o dráze Př. X20 Z-30	Jsou zadány cílovým bodem v souřadnicích absolutně - G90, nebo přírůstkem - G91.
Funkce nástroje T (Tool) Korekce nástroje D Př. T01 D01	T a D se udávají obvykle dvojmístným číslem vzájemně souvisejícím. Př. T01 D01 současně zpracovává, přiřazuje k danému nástroji dané korekce. Některé řídicí systémy mají jiné řešení přiřazování korekcí k nástrojům.
Posuvná funkce F (Feed)	Velikost posuvů je zadána v: mm za otáčku u soustruhu [mm.ot^{-1}] mm za minutu u frézky [mm.min^{-1}]
Otáčkové funkce S (Speed)	Velikost otáček je zadána za minutu [min^{-1}] řezné rychlosti [m.min^{-1}]

4.2 Programování – použití nejdůležitějších funkcí G, M

Tabulka 4. Použití nejdůležitějších funkcí G, M [12]

Označení funkce	Název funkce	Použití
G00	Lineární interpolace	Rychloposuv
G01		Pracovní posuv
G02	Kruhová interpolace	Ve směru hodinových ručiček
G03	(zhotovení rádiu-	Proti směru hodino-
Programuje se v souřadnicích os, uvádí se cílový bod v souřadnicích, případně další adresy.		

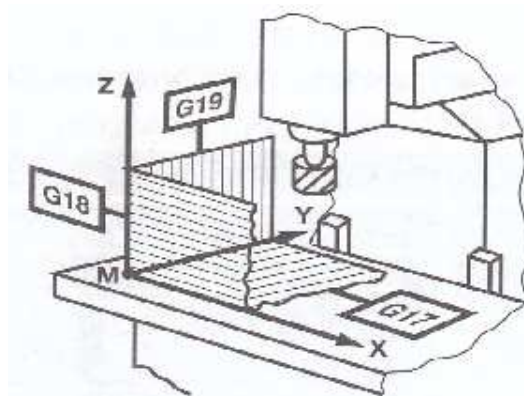
	sů)	vých ručiček	
U rádiusů je nutné rozlišit směr pohledu: frézka - ze strany plusové osy Z			
G17	Pracovní rovina	X - Y	Určení roviny, ve které se provádí pracovní posuvy a rychloposuvy (použití u frézek)
G18		Z - X	
G19		Y - Z	
G33	Řezání závitů		Určuje se proměnlivá hloubka třísky a počet hlazení bez přídavku.
Programátoři softwaru poskytují i cykly pro řezání závitů - programování je jednodušší, ale často neodpovídá požadavkům praxe.			
G40	Zrušení korekce	Vypnutí matematického aparátu výpočtu ekvidistanty.	
G41	Zapnutí korekce	Výpočet dráhy nástroje, (její ekvidistanty)	Ekvidistanta, nástroj vlevo od kontury.
G42	rádiusů		Ekvidistanta, nástroj vpravo od kontury.
Je nutné rozlišit směr pohledu - dívat se ve směru pohybu nástroje.			
G45, G46, G47	Nájezdy nástroje	Realizují se po přímce, rádiusu, oblouku - pokud se požaduje plynulý přechod nástroje do řezu nebo z řezu.	
G54- 59	Posuny nulového bodu	Posuny absolutně i přírůstkově, na začátku i v průběhu programu.	
G90	Absolutní	Programování - popis drah nástroje v souřadnicové soustavě.	
G91	Přírůstkové	Programování - popis dráhy nástroje o kolik se posune v osách.	
G92	Omezení otáček	Stanoví velikost otáček, které neohrozí bezpečný chod stroje - to v závislosti na konkrétním stroji, obrobku - použití spolu s G96.	
(G50)	(dle řídicího systému)		
G96	Konstantní řízená rychlost	Je zadaná řezná rychlost - mění se otáčky vřetene se změnou průměru, na kterém je špička nástroje. (Užití při soustružení)	
G 92 (firma Mikronex) - poloha nástroje v absolutních souřadnicích - je nutné provést najetí na obrobek, najetí nástroje do bodu, který definuje polohu nástroje a aktivovat nulový bod obrobku.			
M03	Otáčky vřetene	Ve směru hodinových ručiček	Při pohledu do vřetene stroje, nikoliv ze strany obsluhy.
M04		Proti směru hodinových ručiček	
Pro stanovení je nutné rozlišit směr pohledu - vždy pohled ze směru vřetene stroje - nikoliv od obrobku.			
M05	Zastavení vřetene		
M06	Výměna nástroje	Do této funkce se doplňují délkové korekce.	
Používá se při ruční výměně nástroje, nepoužívá se v případě zásobníků.			
M07- 08	Zapnutí čerpadla	Chlazení, mazání obrobku při obrábění (možnost více čerpadel).	
M09	Vypnutí čerpadla		
M17	Konec programu	Vrací do hlavního programu - (hlavní programy mohou používat podprogramy, v těchto je odvolání, které vyvolá podprogram).	
M30	Konec hlavního programu	Návrat na začátek hlavního programu.	

4.2.1 Obrábění v rovinách souřadnicové soustavy

Možné obrábění ploch v rovinách názorně ukazuje obr. 20. Na frézkách je možné obrábět ve třech rovinách. [12]

Tabulka 5. Funkce pro roviny souřadnicové soustavy [12]

Funkce	Rovina obrábění	Délková korekce
G17	Rovina X-Y	Osa Z
G18	Rovina Z-Y	Osa Y
G 19	Rovina Y-Z	Osa X



Obrázek 20. Svislá frézka a roviny obrábění [12]

4.3 Tvorba programu

Řízení bude řídit nástroj na jednotlivé polohy, zadané v programu. Rozeznáváme dva způsoby programování, a to:

- absolutní programování,
- přírůstkové (inkrementální) programování.

4.3.1 Absolutní programování

Při tomto způsobu programování je koncová poloha bodu zadaná vzhledem na nulový bod programu (resp. nulový bod obrobku, stroje) a je nezávislá od momentální (aktuální, poslední) polohy nástroje. To znamená, že těmito hodnotami je určené místo, kde je třeba přesunout nástroj.

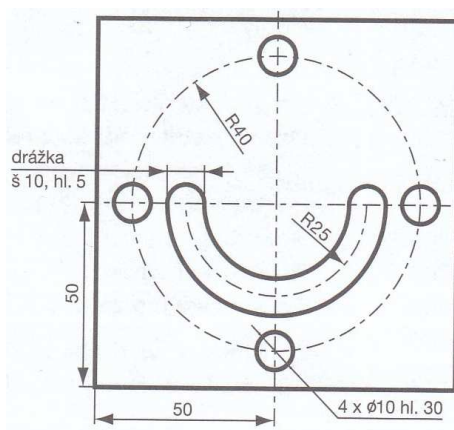
4.3.2 Přírůstkové programování

Řízením možno zadat, do jaké vzdálenosti a jakým směrem je třeba nástroj přemístit. Tyto údaje se vztahují vždy na momentální (aktuální, poslední) polohu nástroje. Řízení

rozpozná inkrementální formu polohy buď příkazem „G91“ anebo podle dodatečného písmena „I“ v označení příslušné osy.

4.3.3 Programování - řešené příklady

4.3.3.1 Programování v absolutních souřadnicích



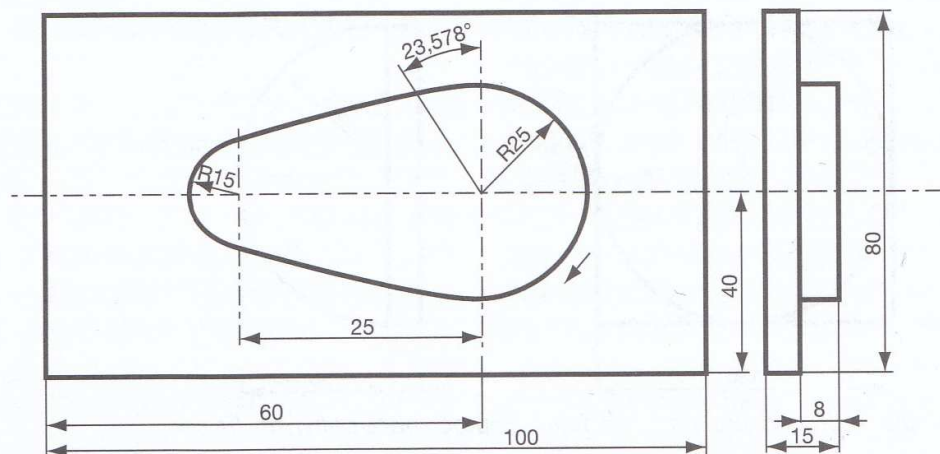
Obrázek 21. Deska – kótováno z osy souměrnosti, výhodné je posunout nulový bod do osy souměrnosti [12]

Tabulka 6. Programování v absolutních souřadnicích [12]

Z technologického postupu popisu operace: Frézovat půlkruhovou drážku a 4 otvory. Výchozí materiál: 100 x 100 - 50. Jakost neuvedena. Řezné podmínky a jakost plochy neřešeny.	
Bloky programu	Popis činností
N0005 G90 G 54	Absolutní programování. Posun nulového bodu na čelisti.
N0010 G58 X50 Y50 Z50	Další posun 0 bodu na obrobek - do středu součásti.
N0015 G00 X-100 Y0 Z50	Stanoven bod výměny nástroje.
N0020 T1 D1 M3 S1000 F200	Technologický řádek T1 = drážkovací fréza \varnothing 1mm.
N0025 G0 X0 Y0 Z1	Nájezd nad střed obrobku (nad nulový bod).
N0030 G0 X-25 Y0 Z1	Nájezd nad osu kruhové drážky. 1 mm bezpečná vzdálenost.
N0035 G1 Z-5	Nástroj zapichuje hloubku drážky.
N0040 G3 X25 Y0 Z-5 I25 J0	Frézování půlkruhové drážky, proti směru hod. ručiček.
N0041 G0 Z1	Výjezd z drážky.
N0045 X-100 Y0 Z50	Odjezd do bodu výměny nástroje.
N0055 T2 D2 S1500 F280	Výměna nástroje T2 vrták \varnothing 10 mm a řezné podmínky.
N0065 G0 X-40 Y0 Z1	Najetí nad otvor rozteče kružnice R40. Nepoužít cyklus vrtání na roztečné kružnici, vrtání a výjezd řešen funkcemi G01, G02.
N0070 G1 Z-30	
N0075 G0 Z1	
N0080 G0 X0 Y40	Příjezd do jiných souřadnic a opakování.

N0085 G1 Z-30	
N0090 G0 Z1	
N0095 X40 Y0	
N0100 G1 Z-30	Příjezd do jiných souřadnic a opakování.
N0105 G0 Z1	
N0110 X0 Y-40	
N0115 G1 Z-30	Příjezd do jiných souřadnic a opakování.
N0120 G0 Z1	
N0125 X-100 Y0 Z50	Odjezd do bodu výměny nástroje.
N0130 M30	Konec programu

4.3.3.2 Pomocí polárních souřadnic



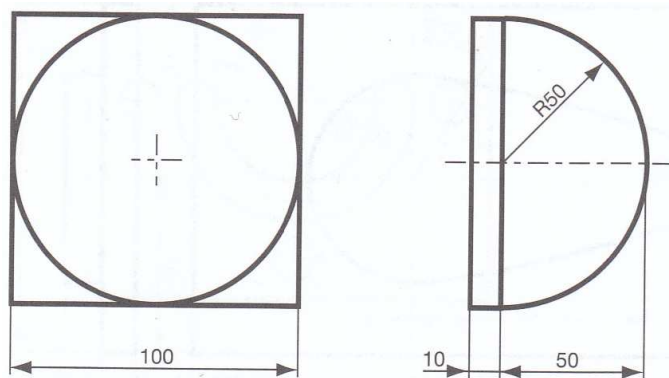
Obrázek 22. Vačka – příklad pro programování pomocí polárních souřadnic [12]

Tabulka 7. Programování pomocí polárních souřadnic [12]

Z technologického postupu popisu operace: frézovat, dokončit tvar vačky Výchozí materiál: 100 x 80 - 15 Řezné podmínky a jakost plochy neřešeny. Nulový bod: levý přední horní bod polotovaru Nástroj: T1 válcová fréza D = 50 správné hodnoty korekcí.	
Blok programu	Popis činností
N... G90	Absolutní programování.
N... G54 X150 Y160 Z15	Posunutí souřadnicové soustavy do nulového bodu obrobku.
N... G59 X60 Y40	Další posuv přírůstkově do středu R25.
N... T0101 S1000 F300 M03	Technologický řádek.
N... G0 X70 Y0 Z-8	Příjezd k materiálu, k třísce, programována osa frézy.
N... G41 X25 Y0 G46 A15	Rádiusové korekce. Nájezd po obrobku R15 do prvního bodu kontroly.

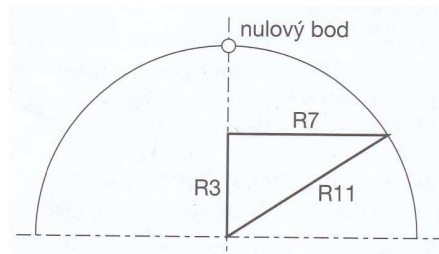
N.... G12 I0 J0 A-113,578 P070	Středový bod pólu. Cílový bod rádiusu ve stupních, rádius vyjádřen v předchozím bloku souřadnicemi X25 Y0.
N.... G11 I-25 J0 A-113,578 B15	Přímka v cílovém bodu (definován souřadnicemi) rádiusu R (B) 15.
N.... G12 I-25 J0 A+113,578	Obrábění rádiusu R15.
N.... G11 I0 J0 A113,578 B25	Přímka k R25.
N.... G12 I0 J0 A0	Obrábění rádiusu R25, výchozího bodu obrábění.
N.... G40 G46 A15	Zrušení korekcí a odjezd nástroje po obrobku.
N.... G26	Odjezd od výchozího bodu výměny nástroje, definován na stroji.
N.... M30	Konec programu

4.3.3.3 Pomocí parametrů



Obrázek 23. Polokoule – příklad pro programování pomocí parametrů na frézce [12]

Z technologického postupu popis operace: frézovat tvar polokoule jako tvar ve formě zápustky. Výchozí materiál: 100 x 80 - 60. Jakost neudána. Řezné podmínky a jakost plochy neřešit! Nulový bod: levý přední horní bod polotovaru - po přesunu je nulový bod na vrcholu polokoule. Nástroj: T1 stopková fréza D = 40 správné hodnoty korekcí.



Obrázek 24. Vyjadřuje definování pro výpočet parametrů – použití Pythagorovy věty [12]

Tabulka 8. Programování pomocí parametrů [12]

Bloky programu	Popis činností
N01 G90	Absolutní programování.
N02 G54 X150 Y150 Z60	Posun nulového bodu.
N03 G59 X50 Y50	Další posun přírůstkově.
N04 T0101 M03 S1000 F200	Technologický řádek.
následně budeme zapisovat - definovat parametry:	
N05 R01=+100	Průměr polokoule.
N06 R11=R1/2	Poloměr polokoule.
N07 R2=[R11*-1]	Základna polokoule $R2 = 50 \times -1 = -50$.
N08 R03=0,0	Přírůstek v ose Z od základny.
N09 R04=2,0	Přírůstek v ose Z (tříska 2mm neodpovídá jakosti plochy, zde pro názornost).
N10 R5=R11/R4	Počet opakování. $R5 = -50/2 = -25$
N11 R6=20	Poloměr nástroje.
N12 R7=SQRT[[R11*R11]-[R3*R3]]	Použita Pythagorova věta viz obr. 24.
	Aktuální poloměr polokoule. $R7 = \sqrt{(25^2 - 0^2)}$
N13 R8=[-1*R7]	Souřadnice středu radiusu. $R8 - 1 \times 25 = -25$
N14 R9=[R7+R6+9]	Hodnota najetí v ose X (9 je bezpečnostní rezerva).
	$R9 = 25 + 20 + 9$
nyní pokračujeme v programování	
N15 G00 XR09 Y0 ZR02	Příjezd k materiálu.
N16 G41 XR07 Y0 G46 A2	Korekce a nájezdy.
N17 G02 XR07 Y0 IR08 J0	Frézování po kružnici.
N18 G40 G46 A2	Ukončení korekcí a odjetí.
N19 R02=[R02+R04]	Oprava základny polokoule při další třísce.
N20 R03=[R03+R04]	Oprava souřadnice Z.
N21 G23 SR05 P12 Q20	Opakování programu (S krát) od bloku na 12. řádku.
	(P) až do 20. řádku (Q).
N22 G26	Odjetí do bodu výměny nástroje.
N23 M30	Konec programu.

4.3.3.4 Programování konturové

Často se programátoři setkávají s výkresy, kde konstruktér nezakótoval důležité body, které jsou nutné pro programování např. kontury a které musí zapsat do programu. Jde zejména o průsečíky, tečné body přímk kruhových oblouků. Pokud přímky jsou rovnoběžné s osami souřadnic, lze požadované body vypočítat bez větších problémů

z výkresu. V případě, kdy oblouky nejsou v celých kvadrantech a přímky nejsou rovnoběžné s osami, to vyžaduje náročné výpočty. Softwarové řešení umožňuje zadáním různých variant spojení základních elementů (které mohou být zadány tečným spojením, úhlem, bodem, sražením, zaoblením) vypočítat požadované body souřadnic a přenést je do programu.

4.3.3.5 Programování dílenské

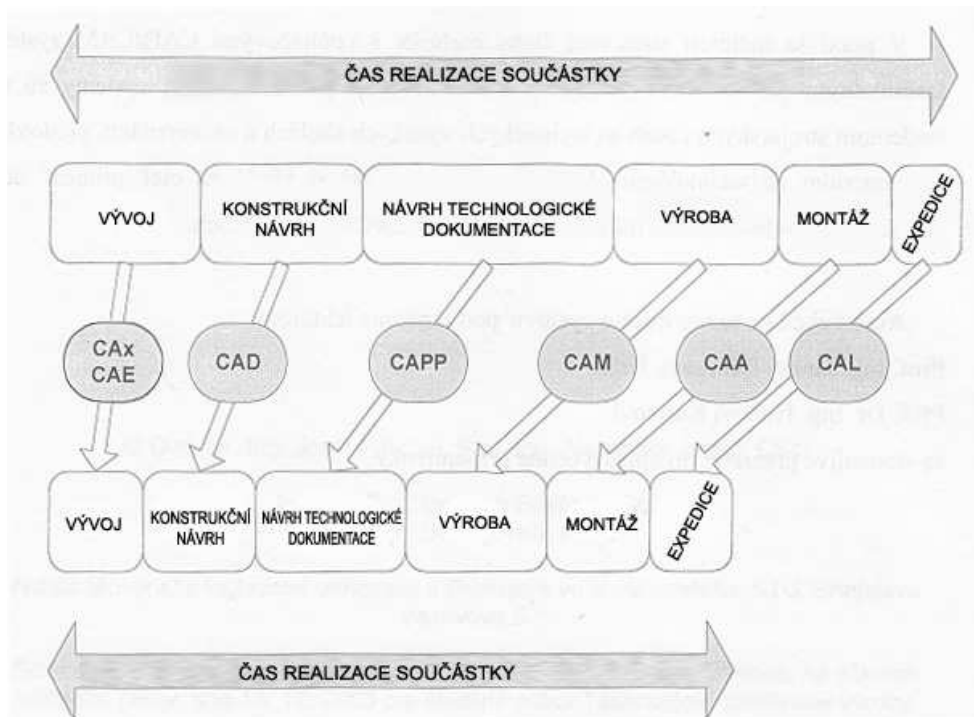
Postupem doby a vývojem techniky (výkonnější hardware přímo na stroji) se v některých případech přenáší programování do dílny. Kvalifikovaná obsluha v překrytém čase, kdy provádí pasivní dozor u CNC stroje, který obrábí, využívá čas a připravuje si program pro další vyráběnou součást. Zde je jednotnost programování v dílně s externím programátorským pracovištěm. Programuje se interaktivně, při využití grafické podpory tak, že lze přímo na simulátoru vidět simulaci obrábění dynamicky po jednotlivě napsaných blocích. Programuje se ve smyslu zde popsaných způsobů. Při napojení na počítačovou síť je možné přebírat výkresy ze systému CAD (často i použít CAD/CAM) včetně externě vyhotovených programů. [7,12]

5 CAD/CAM SYSTÉMY

Těžko si v současné době někdo představí moderně vybavené pracoviště bez elektroniky a bez podpory počítačových systémů. Velký význam a samostatnou oblast realizace informačních technologií ve strojírenském průmyslu představuje počítačem podporované systémy – CA systémy.

K nejznámějším a nejpoblárnějším počítačem podporovaným systémem patří CAD, CAM a CAD/CAM systémy.

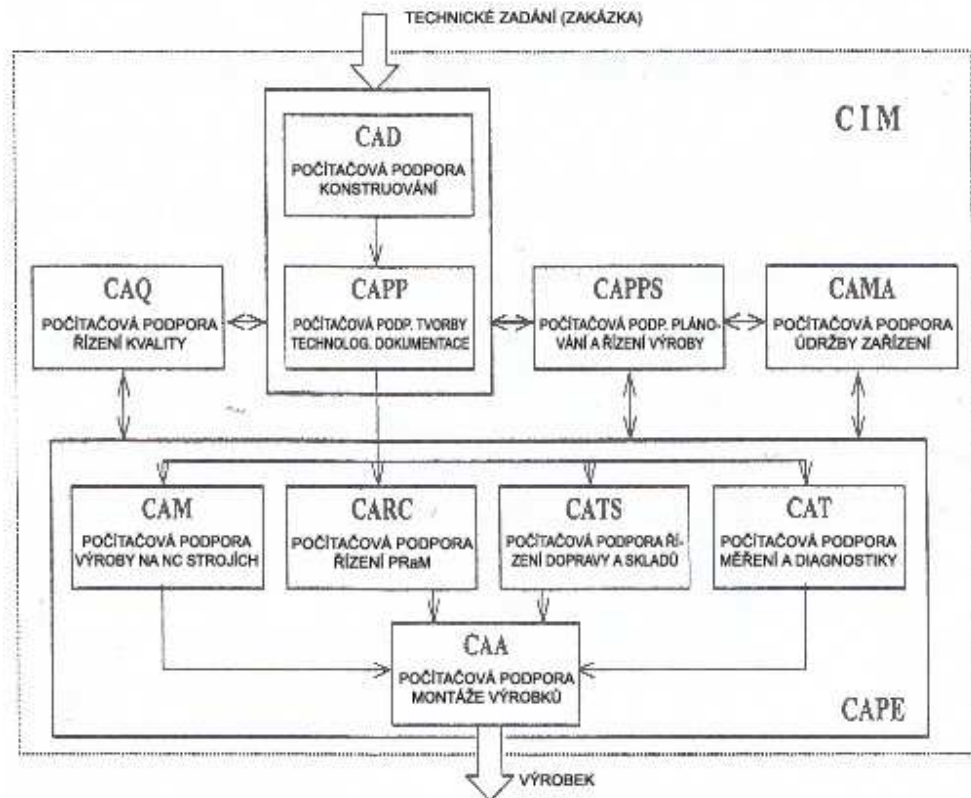
- **CA (Computer Aided)** - jsou počítačové systémy určené na podporu činností ve všech etapách výroby – od vývoje a navrhování součástky, plánování výroby, až po samotnou výrobu a montáž, skladování a expedici. Používají se v různých odvětvích průmyslu a na různých stupních řízení. Umožňují urychlit a zjednodušit především tzv. inženýrské činnosti jako kreslení a modelování, dimenzování, uskutečnění analýzy, projektování, ale i různé administrativní činnosti jako archivování apod.



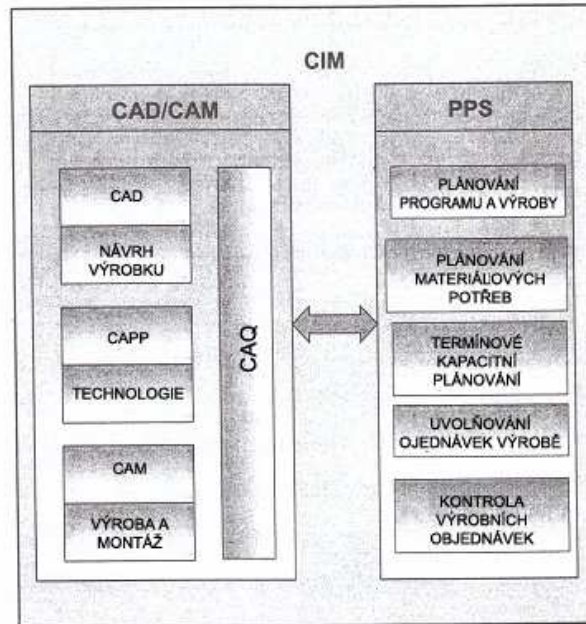
Obrázek 25. CA systémy a čas realizace součástky [13]

- **CIM (Computer Integrated Manufacturing)** – označuje integrované využívání výpočetní techniky ve všech oblastech, které souvisejí s výrobou výrobku. Hlavním cílem CIM je:

- Integrovat částečné činnosti v podniku na bázi výpočetní techniky pro zlepšení koordinace činností.
- Zvýšit flexibilitu podniku a snížit průběžné časy činností.



Obrázek 26. Komponenty CIM [14]



MEZI ZÁKLADNÍ KOMPONENTY (PODSYSTÉMY) CIM PATŘÍ TYTO.

CAE	- Computer Aided Engineering,
CAD	- Computer Aided Design,
CAP resp. CAPP	- Computer Aided Process Planning,
CAM	- Computer Aided Manufacturing,
CAA	- Computer Aided Assembly,
CAQ	- Computer Aided Quality Assurance,
PPC resp. PPS	- Production Planning and Control.

CIM MŮŽE INTEGROVAT MNOŽSTVÍ TAKOVÝCH ČÁSTKOVÝCH CA SYSTÉMŮ.

Obrázek 27. Model CIM [14]

• **CAD (Computer Aided Design)** – je souhrnný termín (akronym) pro všechny aktivity, při kterých je výpočetní technika používána přímo anebo nepřímo při vývoji a konstruování výrobku.

V užším smyslu se vztahuje na tvorbu číslicového modelu výrobku a manipulaci s ním. V širším smyslu označuje CAD všeobecné techniky aktivity a výpočty s anebo bez grafického výstupu v oblasti vývoje, technických výpočtů, konstruování a zhotovování výkresů.

Teoretickým základem CAD systémů je počítačová grafika a geometrické modelování. Metodologickým základem je formalizace konstrukčního procesu a jeho modelování.

• **CAM (Computer Aided Manufacturing)** – označuje podporu při technickém řízení a kontrole výrobních prostředků ve výrobním procese, jako např. přímé řízení strojů, manipulačních a dopravních zařízení.

CAM je akronym pro počítačovou podporu činností ve výrobním procese. Zahrnuje výrobu, montáž, skladování a dopravu. S CAD souvisejí i tyto komponenty.

- CAA (Computer Aided Assembly) počítačová podpora montáže výrobků,
 - CARC (Computer Aided Robot Control) počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů (off-line programování),
 - CATS (Computer Aided Transport and Store) počítačová podpora řízení meziprovozní dopravy a skladování.
- **CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing)** – označuje integrovaný technický systém zpracování informací pro výrobu výrobku a zahrnuje komponenty CAD, CAP, CAM a CAQ. CAD/CAM je v užším smyslu chápáno jako propojení CAD systémů a systému pro automatizované programování NC strojů. [13, 14]

5.1 CAD Systémy

CAD (Computer Aided Design) – počítačem podporovaný návrh – výrobek anebo počítačem podporovaná konstrukce, ale i metatetické modelování součástí a jejich vlastností, tzn. vytváření počítačových modelů součástí a sestav. Pod pojmem CAD systémy si většina technické veřejnosti představí počítačový software. [13]

5.1.1 Rozdělení CAD softwaru

Softwary v oblasti CAD podle rozsahu a účelu můžeme rozdělit do těchto skupin:

- malé CAD softwary,
- střední CAD softwary,
- velké CAD softwary.

5.1.1.1 Malé CAD softwary,

neboli také 2D systémy, jsou svým charakterem předurčené pro úplné skicování a kreslení, tzn. tvorbu náčrtu (ne pro konstruování). Návrh objektu pomocí 2D systému je tedy podobný kreslení výkresu. Nejčastěji používané geometrické entity jsou úsečka (line), oblouk (arc), a kružnice (circle). Tyto systémy jsou relativně jednoduché a často slouží jako základna pro vyšší systémy. Jednoduchost je vyjádřena i v nízké ceně v porovnání se středním a velkým CAD softwarem.

5.1.1.2 Střední CAD softwary,

neboli také 2,5D systémy, které podporují úplný 2D a částečný 3D design. Základem je 2D model a třetí rozměr je definován pomocnou translací nebo rotací 2D oblasti

(rotačně symetrické součástky apod.). Tyto systémy jsou doplněné o některé 3D nástroje jako např. vytvoření 3D modelu z tvořící čáry rotací či posunutím, práci s B-spline křivkami a plochami, promítnutí čáry na určenou rovinu, konstrukce spirálové plochy. S množstvím těchto softwarů roste i jejich nárok na hardware a zvyšuje se i jejich cena.

5.1.1.3 Velké CAD softwary,

neboli také 3D systémy. Tím je myšleno, že tyto systémy pracují v prostoru tzn. ve 3D. Mají analogické kreslicí a uchycovací nástroje, editovací režimy jako předchozí, s tím rozdílem, že jsou to nástroje pracující v 3D prostoru. Tyto systémy disponují nejpracovanějšími a nejvýkonnějšími modelovacími technikami. Mnohé výkonné CAD softwary jsou též součástí velkých CAD/CAM softwarů. [13, 14]

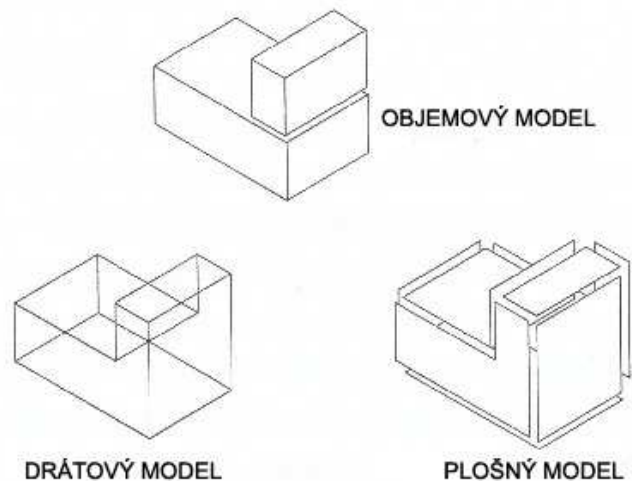
5.1.2 Počítačové modely a modelování

Počítačové modelování je způsob práce, kterým vytváříme počítačový model. Podle přístupů při tvorbě počítačového modelu můžeme modelování rozdělit na:

- geometrické modelování,
- feature modelování.

5.1.2.1 Geometrické modely a modelování

Hlavním problémem technických výkresů je, že výkresy obvykle neudávají trojrozměrný objekt jednoznačně. Pro potřebu 3D zobrazení byl koncipován 3D drátový model, který neobsahuje informace o tvarech jednotlivých ploch součástky. Plošné modelování (surface modelling) umožňuje už definici a analyzování ploch a tvarových elementů součástky. Následuje koncept 3D objemového modelování (solid modelling). Vzhledem na kompletnost a jednoznačnost reprezentace 3D objektu, objemové modelování je považováno za nejperspektivnější a nejpoužívanější prostředek popisu součástky.



Obrázek 28. Modely těles [14]

•Drátový model

Je to nejjednodušší 3D model, a má mnoho omezení a nevýhod. Jsou dané tím, že v drátovém modelu chybí údaje o stěnách mezi křivkami a o prostoru (objemu) ohraničeného stěnami. Objekt je opsán svými obrysovými hranami a jejich ohraničujícími body. Tento model nemá velké paměťové nároky, a proto je nejrozšířenější v nižší střední výkonové kategorii CAD systémů. Používá se např. často pro rychlé a výpočtově nenáročné prostorové zobrazení objektu.

•Plošný model

Drátový model je pro mnoho aplikací nevhodný. Proto byly vyvinuté systémy dokonalejší, ale zároveň i složitější. Jde o 3D grafické systémy pracující s plošnými prostorovými modely. Tyto modely mohou zahrnovat analytické i neanalytické plochy, pomocí kterých můžou být opsané komplexnější objekty. Hlavní nevýhodou této metody modelování je nemožnost určit z matematické reprezentace, zda daný bod leží ve vnitřku anebo mimo objekt.

Rozdíl drátové a plošné reprezentace je nejen v technikách modelování, ale i v tom, že plošné 3D grafické systémy umožňují vykonávat některé výpočty těles, např.:

- výpočet plošného obsahu výsledné plochy,
- výpočet objemu tělesa uzavřeného plochou,
- poskytuje možnost automatického vytvoření instrukcí pro NC obrábění ploch,
- poskytuje vytvoření sítě konečných prvků anebo hraničních prvků na ploše.

•Objemový model

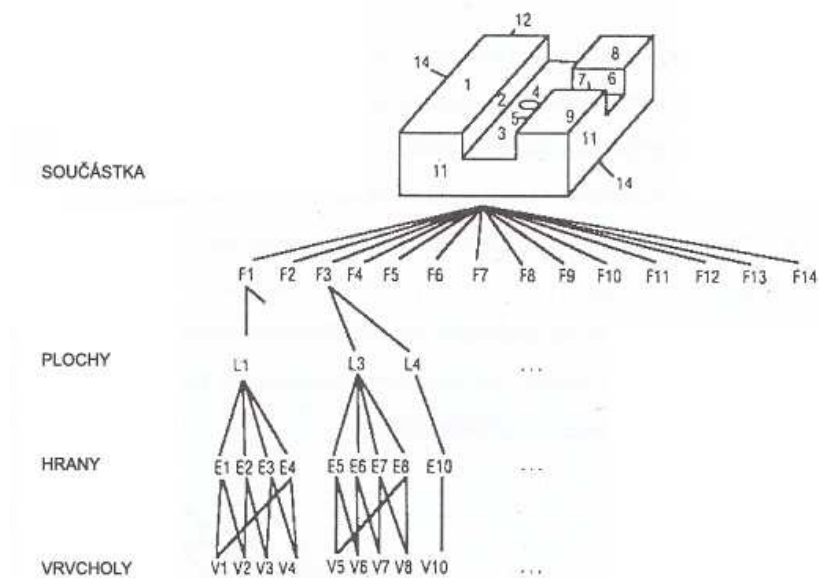
Pod termínem objemového modelování (solid Modeling) chápeme metody a techniky pro modelování tuhých těles.

V roce 1973 byly prezentovány dvě nezávislé koncepce objemového modelování:

- B-rep (Boundary representation) model,
- CSG (Constructive Solid Geometry) model.

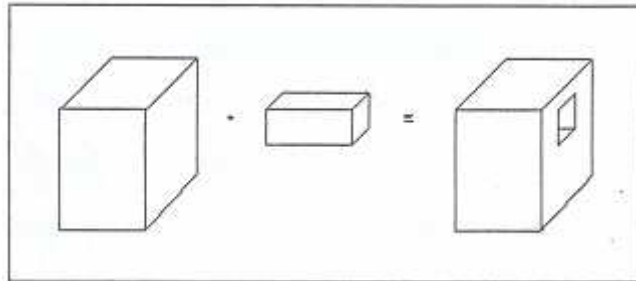
Obě koncepce jsou založené na modelování součástek pomocí základních geometrických objektů, na počítačové transformaci a na využívání boolvských operací. Mnoho CAD systémů používá obě reprezentace součástek současně.

Reprezentace modelu pomocí hranic se označuje jako B-rep model a je založena na plošném modelování 3D objektů. Model je vyjádřen tabulkou hranic. Těmito hranicemi modelu jsou stěny – plochy, hranicí stěn jsou hrany – křivky a hranicí u hran představují body. Ve speciální datové struktuře jsou tyto objekty vzájemně propojené. Výhodou B-rep modelu oproti CSG modelu spočívá např. v jednodušším zpracování informací o součástce, potřebných pro generování dráhy nástroje.



Obrázek 29. B-rep a datová struktura [13]

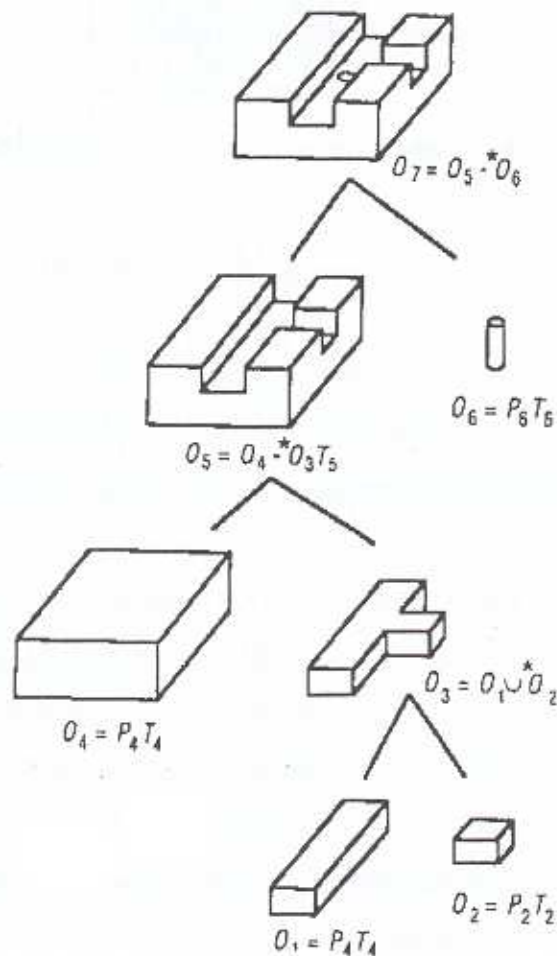
Reprezentace modelu pomocí geometrických těles je označována jako CSG reprezentace. Využívá množinové operace, a to sčítání, odčítání a průnik. Těleso se vytváří pomocí stromu množinových operací aplikovaných na primitiva.



Obrázek 30. CSG modelování [13]

Využití objemového modelování můžeme ve všeobecnosti charakterizovat následovně:

- v objemovém modelování je možné vytvářet modely složitých těles a získat jejich průměty a řezy – využití v běžné konstrukční praxi,
- druhou aplikací objemového modelování je simulace prostorového obrábění na displeji počítače, ale i automatické generování dráhy nástroje pro NC obrábění,
- dalším případem použití objemového modelování je tvorba modelu a výpočty s ním související, např. při kterých potřebuje konstruktér prostoru představivost. Mimo samotné tvorby modelu jde o výpočty objemů, různých momentů, plošných obsahů apod. Objemové modely jsou vhodným východiskem automatické tvorby prostorových sítí pro metodu konvenčních prvků (MKP),



Obrázek 31. CSG model a modelování [13]

• čtvrtým případem použití je kontrola vzájemné prostorové polohy těles, kde je výrazným způsobem podporovaná prostorová představivost konstruktéra – designéra. Pomocí této kontroly je možné předcházet mnohým možným kolizním situacím.

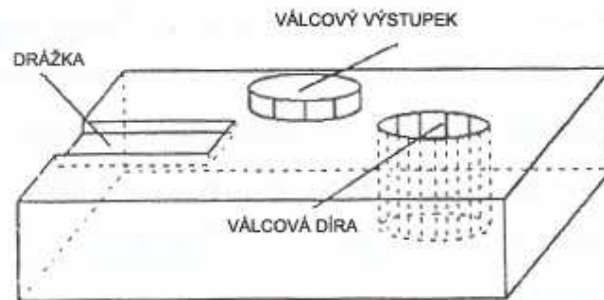
•Hybridní model

CSG modely a B-rep modely mají svoje výhody a také nevýhody. Žádný z nich není vhodný pro všechny aplikace. Řešení se nabízí v jejich spojení. Potom mluvíme o tzv. hybridních modelech.

5.1.2.2 Feature modely a modelování

V předešlých modelovacích technikách, základními stavebními prvky, byly abstraktní geometrické a matematické útvary jako kvádr, válec, operace s těmito tělesy apod. Hlavní myšlenkou moderních modelovacích technik, tzv. feature modelování, je komunikace uživatele s CAD – softwarem prostřednictvím pojmů z technické praxe tzv. črt (features). Jednotlivé pojmy reprezentují odpovídající konstrukční a technologické črty, ze kte-

rých je model postavený, např. profil, díra, drážka, závit, zaoblení, sražení, příruba, žebro. Tento přístup urychluje konstrukci a úpravy modelu.



Obrázek 32. Různé příklady prvků - „feature“ [13]

5.1.3 Modelovací techniky

Modelovacími technikami rozumíme postupy v jednotlivých krocích, které nám umožňují vytvořit počítačový model, dovolují nám s tímto modelem pracovat, tzn. měnit ho podle našich představ a také vytvářet interakce mezi více existujícími modely. Základem pro 3D modelování je vytvoření prvotního modelu. K dosažení potřebného 3D tvaru modelu složité součástky nevystačí jen s technikami pro vytvoření prvotního modelu. Obvykle nastupuje druhá fáze – samotné modelování.

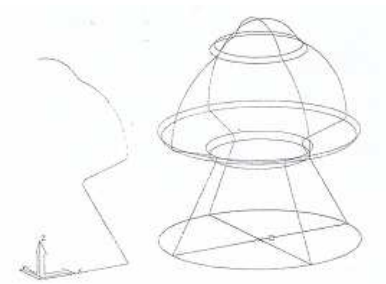
V zásadě všechny CAD softwary mají tyto skupiny modelovacích technik:

- techniky pro vytvoření prvotního modelu,
- techniky (funkce) vykonávané na jednom modelu,
- techniky (funkce) vykonávané mezi dvěma a více modely současně.

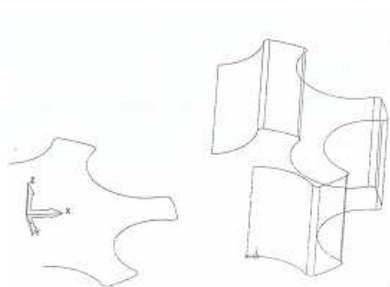
5.1.3.1 Vytvoření prvotního modelu

Modelem budeme rozumět buď objemové těleso anebo plochu. Model můžeme vytvořit těmito čtyřmi základními způsoby:

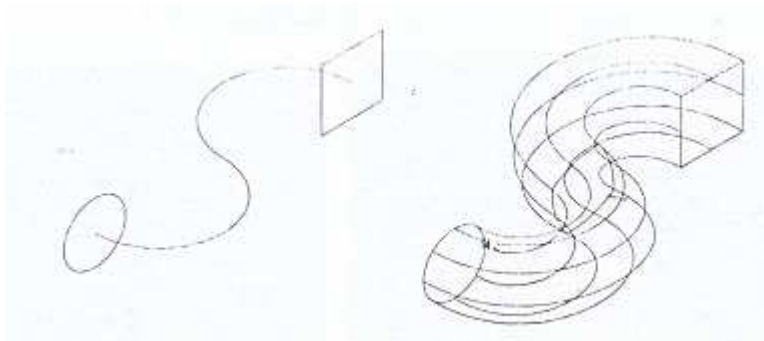
- jako primitiva,
- z tvořící čáry,
- ze třech čar,
- ze čtyřech čar.



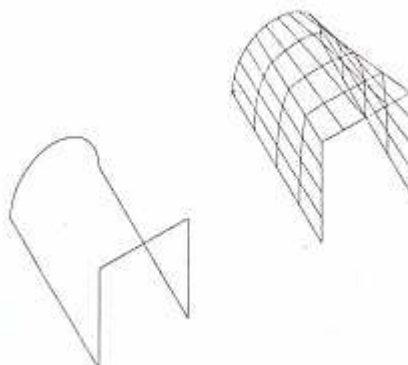
Obrázek 33. Vytvořený 3D model rotací a) příklad tvořící čáry b) 3D model [13]



Obrázek 34. Vytvořený 3D model posunutím a) příklad tvořící čáry b) 3D model [13]



Obrázek 35. Vytvořený model ze třech čar a) první uspořádání třech čar b) 3D model [13]

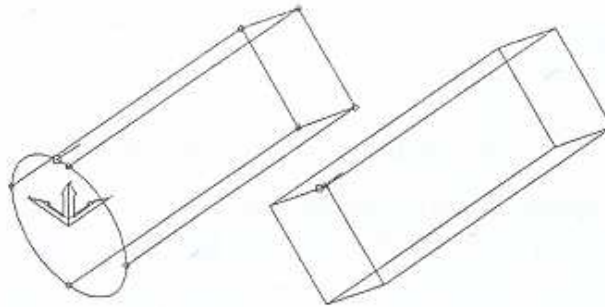


Obrázek 36. Model vytvořený posunutím tvořící čáry a) první uspořádání čtyřech čar b) 3D model [13]

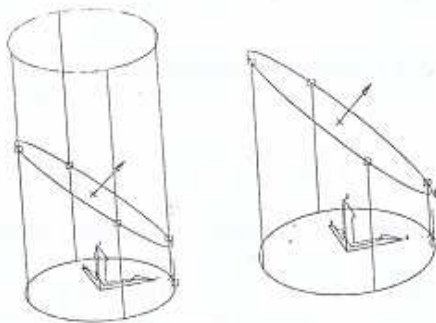
5.1.3.2 Funkce vykonávané na jednom modelu

Tyto funkce můžeme rozdělit na:

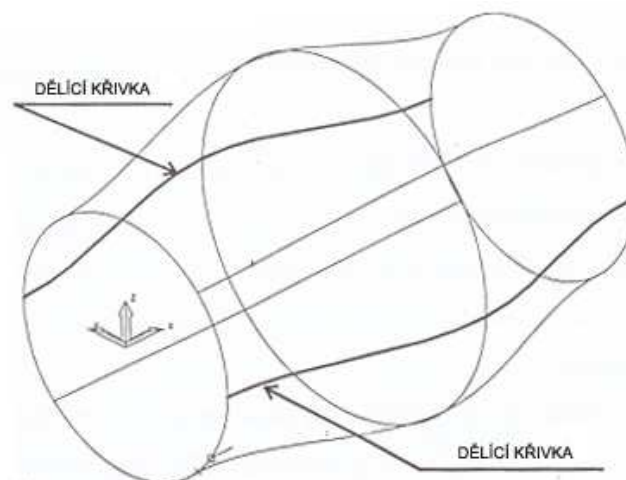
- funkce standardní,
- funkce speciální.



Obrázek 37. Funkce narovnání a) narovnaná jedna podstava b) narovnaný model [13]



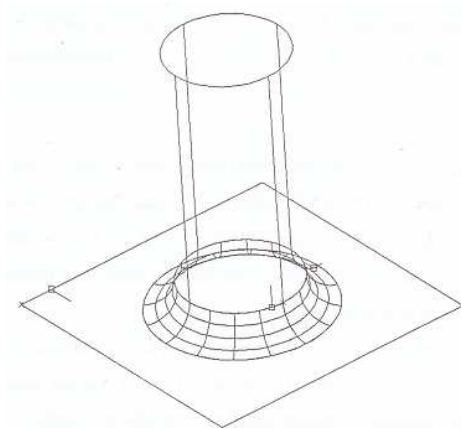
Obrázek 38. Funkce přezání a) směrový vektor a parametrická křivka b) přezaný model [13]



Obrázek 39. Výsledek použití funkce pro nalezení dělicí roviny [13]

5.1.3.3 Funkce vykonávané mezi modely

Pod funkcemi mezi modely budeme rozumět vykonávání matematických operací vytvářejících vztahy, interakce mezi předpřipravenými modely. Pro použití této funkce je podmínka, že potřebuje mít vždy dva v určité vzájemné poloze. Charakter přípravy modelu bude záležet od zvolené funkce. Např. funkce protnutí se může úspěšně vykonat jen tehdy, když jsou modely uspořádané tak, že se protínají anebo naopak, funkce propojení nevyžaduje, aby se prvotní modely protínaly. [13, 14]



Obrázek 40. Výsledek použití zaoblovací funkce mezi válcem a rovinou [13]

5.2 CAM Systémy

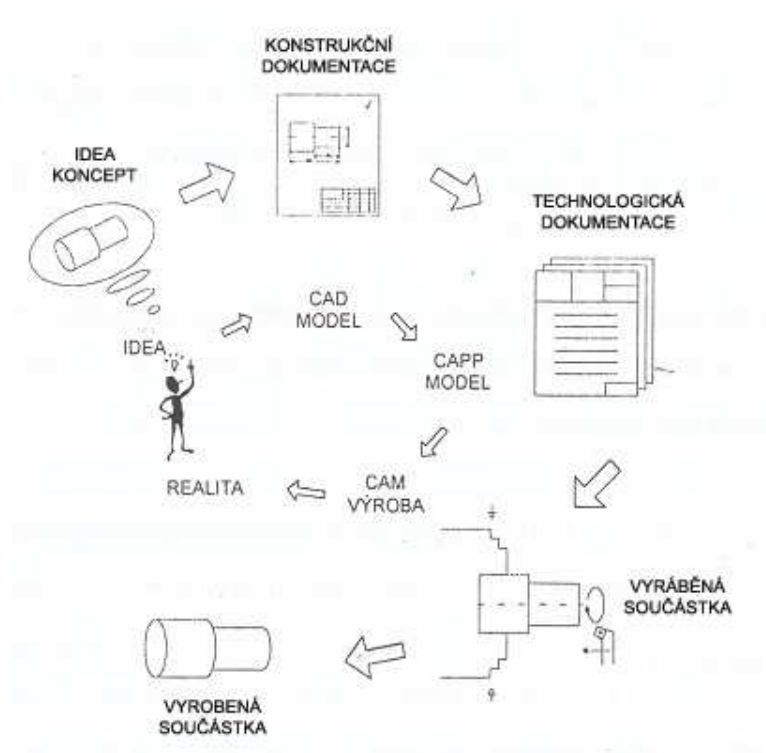
Na počítačovou podporu výroby označovanou jako CAM – Computer Aided Manufacturing je možné se dívat v užším slova smyslu jen jako na technologický proces anebo v komplexnějším vnímání jako na technologický, manipulační, řídicí, transportní proces apod. Podle toho je CAM chápáný buď jako počítačová podpora jen její hlavní části technologického procesu, anebo jako komplexní počítačová podpora výroby.

CAM jako koncept automatizace a počítačové podpory výrobního procesu je dost široký. Zahrnuje všechny činnosti spojené bezprostředně s výrobním procesem, přičemž k nejdůležitějším činnostem patří:

- řízení vstupů do výroby,
- rozvržení výroby,
- sběr výrobních údajů,
- monitorování průběhu výroby,
- DNC, CNC a NC řízení,

- roboty a manipulátory,
- pružné dopravní systémy,
- výrobní buňky a pružné výrobní systémy,
- nástrojové hospodaření apod.

Na CAM je možné se dívat jako na prostředek výroby součástky anebo jako na závěrečný – finalizující CA systém v řetězci CAD – CAPP – CAM (konstrukce – technologie – výroba). Z tohoto pohledu jde o transformaci CAD modelu na data vhodná pro výrobu součástky. [13]



Obrázek 41. Souvislost CAD – CAPP – CAM [13]

5.2.1 Rozdělení CAM systémů

Současné systémy pro počítačovou podporu výroby (CAM) je možné rozdělit podle rozsahu a účelu do následujících skupin:

- malé CAM softwary,
- střední CAM softwary,
- velké CAM softwary.

5.2.1.1 Malé CAM software

Představují jednoduché aplikace pro tvorbu NC programu obvykle pro jeden způsob obrábění (soustružení, frézování apod.) v malém rozsahu technologických možností a nižší úrovni programátora. Model součástky je převzatý z některé CAD aplikace. Nároky na hardware nejsou vysoké a tomu odpovídá i cena.

5.2.1.2 Střední CAM software

Vyžadují výkonnější hardware zejména pro oblast geometrického modelování simulace, tomu odpovídá i vyšší cena. Dokážou na profesionální úrovni řešit některé náročné výpočty a simulace.

5.2.1.3 Velké CAM software

Charakteristika spočívá v tom, že umí velmi efektivně a řešit 3D-5D obrábění komplexních ploch s množstvím technologických variací, širokou technologickou podporou či už při výběru nástroje, řezných podmínek, strategii pohybů (když je nástroj v záběru, anebo když není v záběru). Opět je potřeba převzít model součástky vyrobený v CAD softwaru. [13, 14]

5.2.2 Postprocessor

Vzhledem k tomu, že existuje mnoho řídicích systémů obráběcích strojů, je potřebné přeložit CLDATA do jazyka konkrétního řídicího systému. Na tento účel slouží tzv. postprocesory. Jsou to programy, které můžou pracovat:

- mimo prostředí CAM. Vstupem do postprocesoru jsou CLDATA, výstupem je NC program pro konkrétní řídicí systém obráběcího stroje,
- přímo v prostředí CAM. Uživatel ani nemusí postřehnout vytvoření souboru CLDATA, když je přímo generovaný soubor s NC daty.

Složitost postprocesoru určuje řídicí systém, pro který jsou určeny. Postprocesory se rozdělují podle následujících hledisek:

- podle počtu os, pro které se generuje současný pohyb nástroje anebo součástky na: jednoosý, dvouosý, trojosý, čtyřosý a pětiosý postprocesor,
- podle počtu řídicích systémů, pro které se generuje NC program:

pro jeden, dva a více řídicích systémů,

- podle typu generovaných NC dat na:

diskrétní postprocesory a „splinové“ postprocesory. [13]

Tabulka 9. Srovnání části NC programu [13]

Část NC programu jako výsledek	
"diskrétního" postprocesoru:	"splinového" postprocesoru:
N20 G0 Z30	N60 SPL X20,125 Y21,351 Z0,523
N30 G64 M3 T1	X22,635 Y23,789 Z1,356
N40 G0 Z2	X24,125 Y23,998 Z1,566
N50 G1 X15	X25,534 Y24,527 Z2,951 G0
N60 X20 Y20 atd.	N70 X26 Y25 Z3 atd.

5.2.3 Frézování tvarových ploch

Velké CAD systémy jsou často specializovány na výrobu forem a zápuštěk tvarových ploch, často nazývaných i jako sochařské plochy. Při výrobě těchto tvarových ploch existují otázky, které jsou předmětem dalšího textu.

5.2.3.1 Klasifikace drah nástroje v CAM – hrubování

Hrubováním odebíráme podstatnou část materiálu z polovýrobku až po rozměry součástky zvětšené o přírůstek na obrábění na tvar a na dokončování. Obvykle se hrubuje po vrstvách, tzn. materiál je odebraný pohybem frézy v rovnoběžných rovinách.

Strategie hrubování ovlivňuje průběh a výsledek procesu řezání. Jejich výběr závisí od tvaru a velikosti obráběných ploch. Hlavním kritériem výběru strategií by měl být minimální čas odebrání maximálního objemu přírůstku materiálu polovýrobku.

Při hrubování v zásadě existují dráhy nástroje – frézy:

- rastrování,
- konturování,
- profilování,
- rastrování a profilování.

5.2.3.2 *Klasifikace drah nástroje v CAM – obrábění načisto*

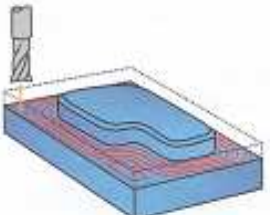
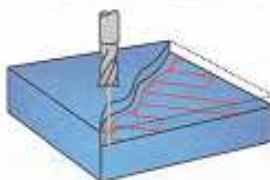
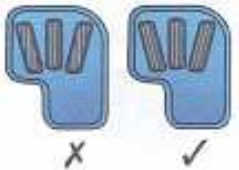
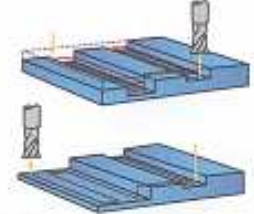

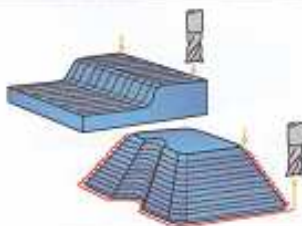
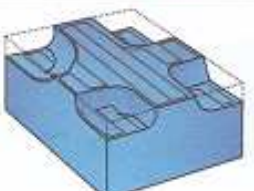
Obráběním načisto rozumíme obrábění takovými řeznými parametry, aby byly dosažené požadované vlastnosti součástky (rozměry, tvar, přesnost a drsnost). Tento způsob je charakterizován i nastavením nulového přídatku při generování dráhy nástroje. Použijeme ho tehdy, jak předpokládáme výrobu rozměrů identických s počítačovým modelem. [12, 13]

Ve všeobecnosti se rozeznávají tyto strategie obrábění načisto:


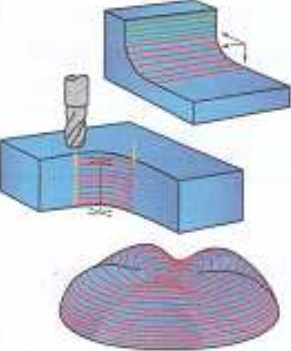
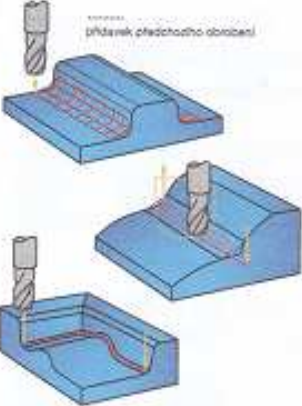
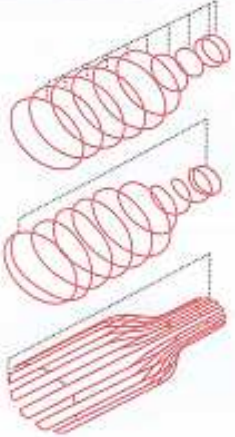
- frézování projekcí,
- frézování v konstantní výšce Z,
- frézování rohu,
- frézování jedním tahem.

	<p>Frézování sousledné – nesousledné <i>(je dáno v závislosti na směru pohybu obrobku a smyslu otáček)</i></p> <p>Stručně: sousledné – dává lepší povrch nesousledné – bývá výhodnější při hrubování</p>
	<p>Frézy – nejčastěji používané druhy Obrázek ukazuje různé tvary „tradičních“ nástrojů.</p>
	<p>Rampování Sjetí pod úhlem, kdy se do materiálu postupně zabojuje fréza. Dovoluje použít výkonnou frézu, která nemá břity do středu rotace nástroje (nepoužívá se drážkovací fréza).</p>
	<p>Drážkovací fréza Zaboří se do materiálu a následuje frézování v rovině kolmé na osu rotace.</p>
	<p>Předvrtání otvorů pro zaboření frézy Polohu je možné předefinovat nebo ji navrhne příslušný software. Do otvoru najíždí fréza vícebřitá výkonná (frézuje se v rovině kolmé na osu rotace – nemusí se používat drážkovací fréza).</p>

Obrázek 42. Nástroje a možnosti obrábění [12]

	<p>Frézování kontury (ofsetování, paralelní frézování) Frézuje se podél vytvořeného CAD tvaru. Postupně se odebírá materiál, až se dosáhne požadovaného tvaru. Frézuje se ve více vrstvách („Z“ výškách) a také ve spirále (rampováním). Zhotovují se vnější i vnitřní tvary, u vnitřních je možné začít frézování od středu ke kontuře (začít uvnitř), nebo naopak – od kontury do středu (začít vně).</p>
	<p>Rastrování k profilu Je vhodné pro větší úběr materiálu, řeší se pod libovolným úhlem a s určitým překrytím průměru frézy. Vlastní tvar profilu se objíždí následně, lze jej též objíždět i před rastrováním.</p>
	<p>Nastavení úhlu pohybu nástroje Je to optimální obrábění, pokud software dokáže upravit dráhy nástroje např. ve směru drážky.</p>
	<p>Drážkování Je zapotřebí, aby nástroj vyrobil jednu drážku a následně druhou – neobráběl ve stejných výškách všechny drážky současně. Přejezdy Je nutné, aby software vyhodnotil minimální výšky přejezdů – tak odstraní neúsporné dráhy a minimalizoval čas.</p>
	<p>Minimalizování záběrů plnou šířkou frézy Optimální záběr se uvádí jako 2/3 až 3/4 průměru frézy. Plný záběr, pokud nesnižíme řezné podmínky, značí přetížení nástroje, jeho otupení, případně havárii.</p>
	<p>Dokončení lze provádět rastrem Lze provádět rovnoběžně s osami, pod zvoleným úhlem a křížem. Použití závisí na sklonu ploch vůči dráze nástroje (má vliv na drsnost plochy). Obecně je rastrování použitelné pro plochy s mírným sklonem, až vodorovné. Dokončení lze provádět v konstantních „Z“ výškách Má smysl od určité strmosti až po komě stěny.</p>
	<p>Obrábění v hranicích Na povrchu modelu můžeme vyznačit (nakreslit) hranice a v nich provádět obrábění různými způsoby. Je výhodné u horizontálních a mírně skloněných ploch – není třeba obrábět celý povrch. Ve spojení se „Z“ výškami vznikají na výrobku velmi kvalitní plochy.</p>

Obrázek 43. Strategie obrábění ploch I [12]

	<p>Tyto strategie jsou výhodné pro kruhové (nebo blízké kruhu) plochy na výrobcích ve 2D.</p> <p>Frézování ve spirále – použití též pro plochy 3D, obdoba dokončování v „Z“ výškách, výhodné pro rychlostní obrábění (<i>nástroj nemění směr – nemusí zpomalovat</i>).</p> <p>Radiální frézování – frézuje se od středu a ke středu kruhu, spojení drah. Zadává se úhel, od kterého a do kterého se obrábí.</p>
	<p>Frézování projekcí – používá se pro vyšší kvalitu povrchu na složitých tvarech modelu.</p> <ol style="list-style-type: none"> Rovinou (představa: z plochy, kterou definujeme a můžeme naklánět, „ozářujeme“ různá zákoutí apod.) – tím můžeme na tyto plochy promítat individuální rastr. Přímka (představa: „ozáření přímkou – trubici zářivky“) – obrábíme dráhami: přímka, kruh, spirála, což je výhodné pro obrábění dutin. Bodem (představa: „ozáření žárovkou – bodem“) – dráhy vznikají projekcí kruhu, spirály, radiály.
	<p>Zbytkové obrábění Toto obrábění odstraňuje zbytky materiálu, které zůstaly neobroběny po předchozím nástroji. Podmínkou je použití menšího nástroje – neobrobíme vše.</p> <p>Obrábění rohů obrázky 1 a 2 – dráhu, směr nástroje lze volit.</p> <p>Obrábění perem obrázek 3 – nástroj se pohybuje podél rohů obrobku.</p>
	<p>Rotační obrábění Ideální způsob, jak obrábět rotační dílce na frézce. Provádí se na stole frézky v přístroji, kde součást rotuje kolem X. Použit lze strategie:</p> <ul style="list-style-type: none"> – kruh – spirála – lineární <p>Metoda nutná pro tvarování reliéfů na rotačních plochách.</p>

Obrázek 44. Strategie obrábění ploch II [12]

	<p>Editace drah nástroje</p> <p>1. Náběhy a propojení Ještě před obráběním na stroji je často nutné náběhy nástroje upravit, a to při vstupech a výstupech z materiálu. Navíc je třeba upravit a propojit dráhy nástroje při přejezdech mezi jednotlivými ostrůvky obrábění. Účelem modifikovaného programu je, aby byl optimální a doba obrábění byla minimální.</p>
	<p>2. Transformace drah Zrcadlení, posun, rotace – dávají nový duplikát, další obrábění z původního obrazce. Pozor na směr rotace nástroje.</p> <p>3. Limitování drah Lze provádět rovinou nebo křivkou pomocí myši. Tím omezíme obrábění na potřebnou míru a tím uspoříme čas.</p> <p>4. Spojení drah Dráhy obrábění jednotlivých strategií lze spojovat, a tak redukovat čas. Lze kombinovat v pořadí, které si zvolíme. Používáme i tam, kde máme různé nástroje – a to pro použití na obráběcích centrech s výměníkem nástrojů.</p>
	<p>5. Odstranění a úpravy drah nástroje Z hlediska ekonomiky je to nutné, pokud nejsou efektivní pro výrobu. Jedná se o rychloposuvy a pracovní posuvy.</p>
	<p>Systémy kontrolují kolize nástroje a držáku Kontrolují: Zda došlo ke kolizi, hloubkou střetu; místo kolize. Jedná se o dostatečné vysunutí nástroje a délku ostří nástroje.</p>

Obrázek 45. Úprava drah nástroje a kolize [12]

5.2.4 CAM a řezné podmínky

Pro navrhování řezných podmínek je výhodné využít počítačovou podporu, která dala vznik tzv. optimalizačním softwarům. Optimalizační softwary využívají matematické metody stanovení řezných parametrů.

V současnosti je možné je rozdělit v souvislosti se začleněním do CAM systému na:

- samostatné optimalizační softwary

Výsledkem bývají různé parametry, které je potřeba zadávat ručně do NC programu.

- spolupracující optimalizační softwary

Vypočítané řezné parametry tento software dokáže včlenit do NC programu, např. při jeho generování, úpravou NC programu apod.

- optimalizační softwary integrované do CAM systému

V tomto případě se předpokládá existence modulu pro optimalizaci řezných parametrů přímo v CAM prostředí. Výsledkem tohoto procesu je optimalizovaný NC program, do kterého jsou vloženy funkce posuvu (F) tak, aby minimálně kolísal průběh řezných sil. [13]

5.2.5 Předpokládaný vývoj v oblasti CAM

V oblasti CAM systémů je možné v budoucnu předpokládat:

- zpracování nejnovějších poznatků výzkumu z oblasti technologie obrábění do jednotlivých modulů,
- tvorba modulů pro podporu v dalších oblastech strojírenské technologie, jako je např. tváření, svařování, montáž, apod.,
- zapracování expertních systémů do oblasti počítačové podpory výroby s cílem efektivnějšího využívání dříve vyřešených úloh a problémů,
- vytváření uživatelských databází nástrojů, řezných podmínek, apod.,
- přechod od CAD/CAM k prostředí CAPE (Computer Aided Production Engineering), které umožňuje komplexně řešit všechny etapy realizace nového výrobku,

- využívání standardu STEP (Standart for the Exchange of Product) pro přebírání modelu specializovanými CAM systémy z CAD systémů.

Současné a budoucí CAM technologie nevyhnutelně musí mít schopnost se zařadit do integrovaného řetězce technologií počítačové podpory od návrhu modelu a jeho odzkoušení ve virtuálním prostředí až po realizaci výroby výrobku a jeho expedici uživateli.

[13]

6 SHRNU TÍ A CÍLE PRÁCE

Úkolem teoretické části této práce s názvem „CNC výroba tvarové součásti“, bylo přiblížit a popsat historický vývoj tváření a to jeho části frézování, od počátku zavedení řídicích systémů až po současnost.

Na začátku práce jsou popsány základní charakteristiky a základní pojmy frézování, ať už jde o rovinné plochy anebo tvarové plochy. Dále se věnuji zavedení NC a CNC systému do výroby a jsou přidána významná data v historii řídicích systémů. Jsou zde také popsány způsoby tvorby programu a vše je řazeno chronologicky, jak se programování s časem vyvíjelo, k tomu jsou připojeny i jednotlivé příklady způsobu programování. Podrobněji se také práce věnuje určité části řídicích systémů a to CAD a CAM, ve kterých práce popisuje jednotlivé specifika, rozdělení i vzájemnou spolupráci a také jejich užitek a využití v technické praxi.

Na závěr je uvedena kapitola s předpokládaným vývojem CAM systému, který je pro práci stěžejní, jelikož v praktické části většinu času budu CAM Express systému využívat, pro vygenerování řezných drah nástroje a poté díl budu vyrábět na frézce HWT ve školních dílnách.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH PROGRAMŮ

Praktická část začala popisem programů, kterých bylo použito pro tvorbu modelu a to programu CATIA. Následně byl popsán program pro vytvoření samotné simulace obrobění a to program NX 7.5.

7.1 CATIA V5

CATIA V5 je software pro 3D počítačové konstruování v oblastech CAD/CAM/CAE a nejrozšířenější CAx systém v automobilovém a leteckém průmyslu na světě.

CATIA V5 je systém, který je schopen pokrýt kompletní životní cyklus výrobku, tzn. od koncepčního návrhu designu, přes vlastní konstrukci, různé analýzy, simulace a optimalizace, až po tvorbu dokumentace a NC programů pro vlastní výrobu.

Systém CATIA V5 se vyznačuje značnou úrovní průmyslové univerzálnosti, tzn. že může být nasazen do zcela rozdílných oblastí strojírenství. Široké spektrum modulů, kterými CATIA V5 disponuje, umožňuje vytvářet softwarové řešení sladěné s konkrétními podmínkami a požadavky uživatelů. Může to být např. automobilový či letecký průmysl, výroba spotřebního zboží a stejně tak i výroba obráběcích strojů nebo investičních celků těžkého strojírenství.

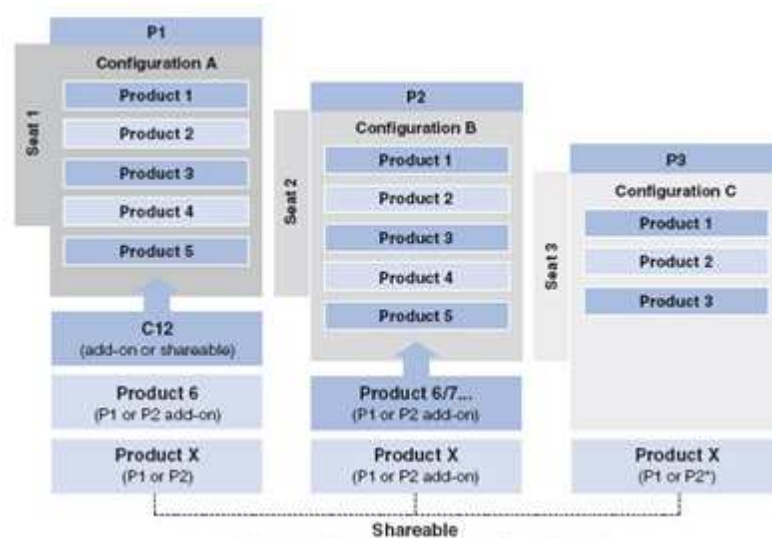
7.1.1 Oblasti použití CATIA V5

- Letecký průmysl
- Automobilový průmysl
- Průmysl spotřebního zboží a elektronika
- Strojírenský průmysl
- Energetika
- Lodní průmysl

7.1.2 Flexibilní řešení

CATIA V5 je vyvíjena ve třech různých kvalitativních variantách - platformách, které jsou určeny pro uživatele s různou úrovní využívání CAD/CAM/CAE technologií.

- Platforma P1 poskytuje soubor softwarových modulů orientovaných na objemové modelování na bázi features a je vhodným startovacím řešením pro nové uživatele systému CATIA. V rámci větších konfigurací systému lze tuto platformu doporučit i pro občasné uživatele, kteří pro své výkony v rámci týmových struktur nepotřebují plný rozsah aplikací a funkcionalit systému.
- Platforma P2 zahrnuje rozšířený soubor konfigurací a aplikačních modulů založených na hybridní modelovací technologii s doporučením pro produktově a technologicky orientovaný vývojový proces a pro výrobce s nejvyššími požadavky na komplexní elektronickou definici výrobků a technologií.
- Platforma P3 přináší vysokou úroveň specifické funkční výbavy jak zvláštním zákazníkům, tak úsekům rozsáhlých průmyslových komplexů.



Obrázek 46. Platformy CATIE

Data vytvořená na jedné platformě lze snadno a podle potřeby použít i v produktu z druhé platformy. Do produktu z druhé platformy lze například bez problémů doplnit data z první platformy. V rámci platformy lze také uvádět odkazy na model z druhé platformy, což umožňuje vytvoření kontextového návrhu. [15]

7.2 NX 7.5

7.2.1 NX CAD

Řešení NX je CAx systém postavený na jednotném, otevřeném a moderním technologickém základě a zohledňuje v sobě veškeré aspekty procesu vývoje produktu od jeho návrhu až po výrobu, čímž se stává vysoce výkonným řešením pro celkové urychlení vývoje výrobku ve všech jeho fázích: Průmyslový design, Konstrukce, Simulace, Dokumentace, Nástroje, Obrábění.

Aplikace CAD/CAM/CAE představují v příslušném průmyslovém odvětví nejširší řadu integrovaných a plně asociativních řešení, které v kombinaci s řešením NX pokrývají celý rozsah vývojových procesů v oblasti designu produktů, výroby a simulace. Řešení NX poskytuje kompletní sestavu nástrojů pro integraci automatizace procesů a umožňuje tak uživatelům shromažďovat a opětovně využívat znalosti o výrobcích a procesech. [16]

7.2.2 NX CAM

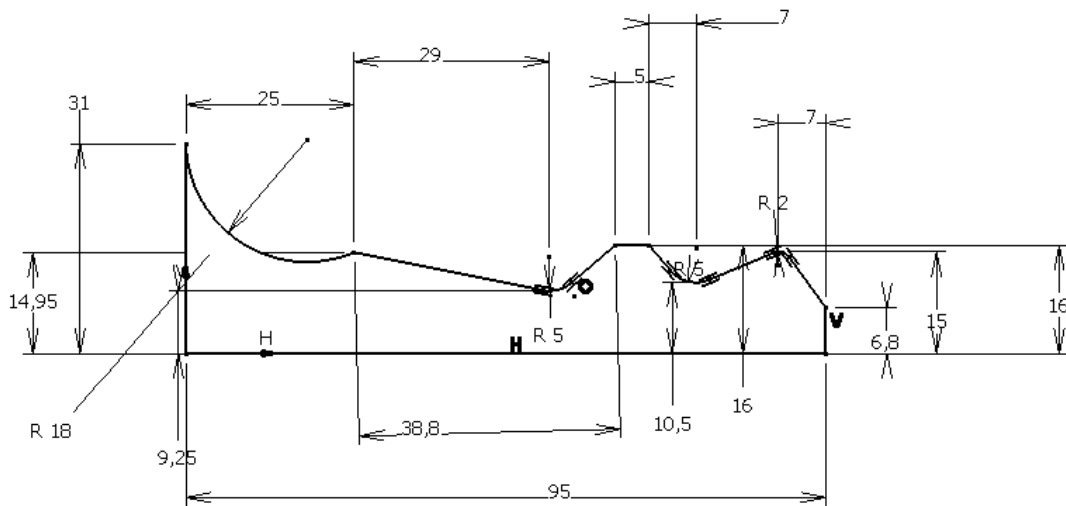
NX CAM je součástí komplexního CAD/CAM systému NX a umožňuje komplexní obrábění součástí v profesích frézování/vrtání, soustružení, drátové řezání a obrábění na multifunkčních obráběcích centrech. Kromě solid modelu lze také obrábět plošné modely, STL modely, 2D drátovou geometrii nebo kombinaci výše uvedených typů geometrie. Systém umožňuje také používat sestavy pro definici obráběných nebo upínacích prvků. Integrace do CAD/CAM systému NX zabezpečuje asociativitu obrobeneho modelu vzhledem ke geometrickým i technologickým změnám.

Ve školních učebnách máme k dispozici verzi NX 7.5 [17]

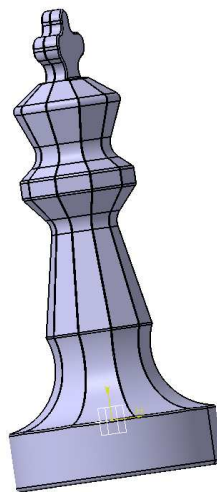
8 PRÁCE V POUŽITÝCH PROGRAMECH

8.1 CATIA – šachová figurka

Samotná praktická část započala spuštěním programu CATIA, ve kterém byla vytvořena první SKETCH viz. obr. 47, kterou byl z velké části udán základní profil figurky. Dále následovaly příkazy SHAFT, SLOT, CIRCLPATTERN, pomocí kterých bylo docíleno rotace a udána četnost x-hranu na počet 10. Následovalo vytvoření podstavy a zaobleného „kříže“ ve vrchní části figurky. Poté už jen úpravy v podobě zaoblení hran. Výsledkem byla konečná podoba figurky viz. obr. 48.



Obrázek 47. První Sketch figurky

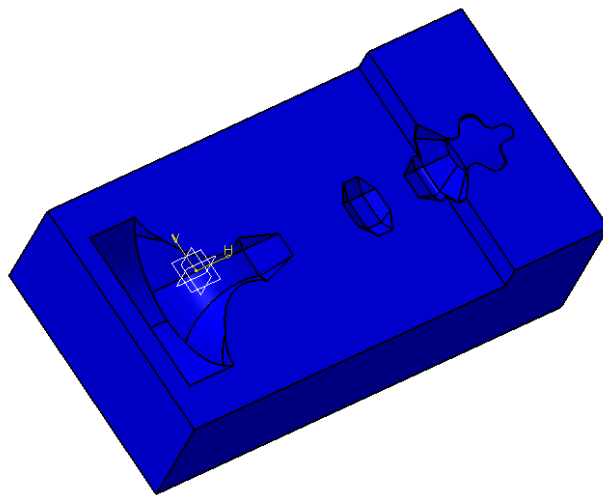


Obrázek 48. Konečný model figurky

8.2 CATIA – negativ šachové figurky

Když byla vytvořena figurka, přišel na řadu druhý model a to v podobě polovičního negativu. Tento díl byl vytvořen za účelem lepšího upnutí na stroji při výrobě.

Postup byl takový, že byla načtena figurka a kvádr. Figurka byla zasazena do kvádru po rovinu ji procházející a pomocí příkazu REMOVE byl odstraněn požadovaný objem. Poté byl model upraven a to tím způsobem, že byl snížen jeho profil z důvodu zjednodušení upnutí a zvýšení rychlosti výroby. Následovalo už jen udání rozměru kvádru a negativ byl hotov viz. obr. 49.



Obrázek 49. Upravený negativ figurky

8.3 Práce v NX

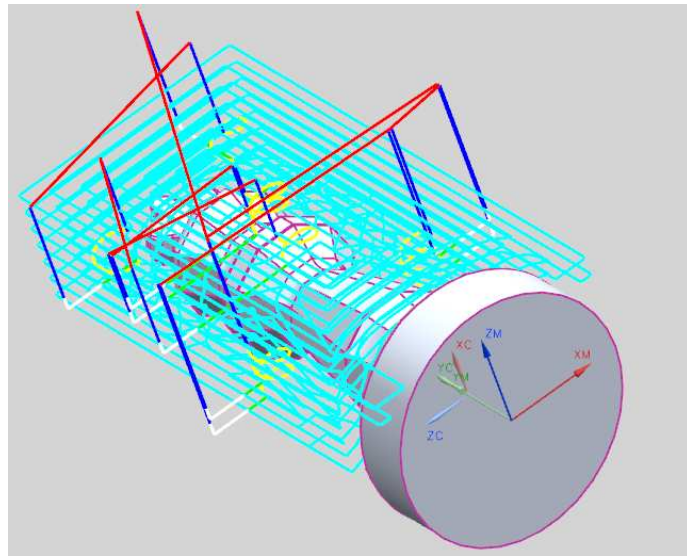
Stejně jako v programu CATIA tak i v programu NX7.5, bylo potřeba vytvoření dvou simulací výroby šachové figurky a jejího negativu.

Výroba na frézce byla dopředu namyšlena tak, že bude vytvořen program na obrobení půlky figurky, která bude následně otočena a upnuta do již vyrobeného a připraveného negativu. Poté bude následovat spuštění totožného programu na obrobení druhé půlky figurky.

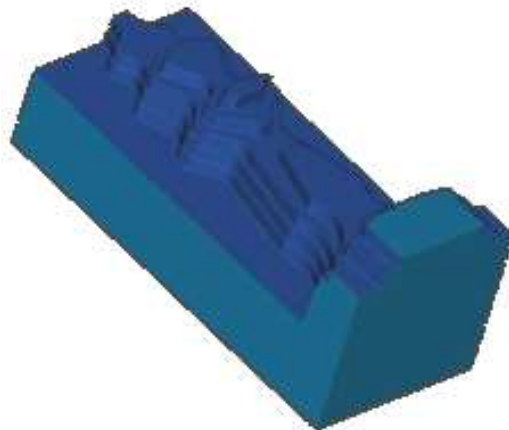
8.3.1 NX – šachová figurka

Model šachové figurky byl otevřen v programu NX7.5. Jako první byl vytvořen souřadnicový systém a polotovár. Následovalo navržení nástrojů potřebných pro samotnou výrobu. Použity byly tři nástroje, pro „hrubování“ válcová fréza $\varnothing 10$ mm, na „semihrubování“ kulová fréza $\varnothing 8$ mm a na „dokončovací“ operace kulová fréza $\varnothing 3$ mm.

Po nezbytných úkonech se přistoupilo k samotné tvorbě programu pro obrobení půlky figurky. Na „hrubování“ bylo použito příkazu CAVITY_MILL a nástroje $\varnothing 10$ V obr. 50. Tím byla odstraněna podstatná část materiálu obr. 51.

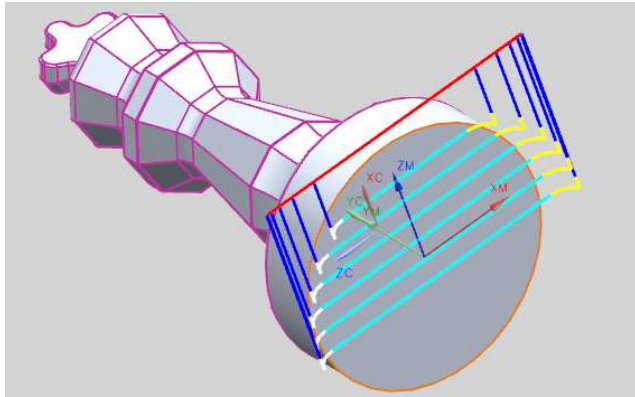


Obrázek 50. Dráhy nástroje při „hrubování“ – figurka



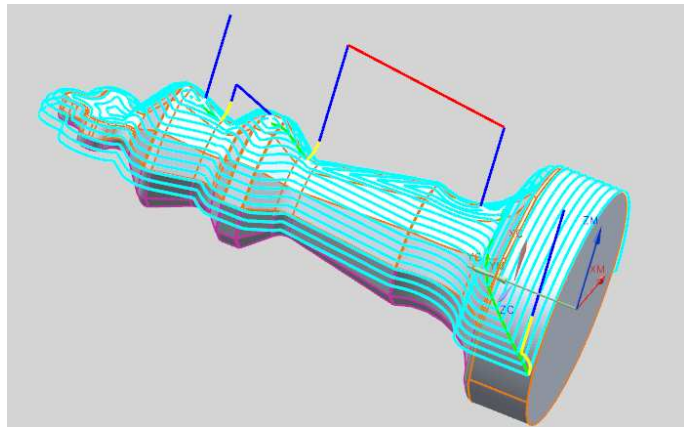
Obrázek 51. Figurka po hrubování

Stejným nástrojem se za pomoci operace ZLEVEL_PROFILE zarovnávalo čelo nebo-li podstava figurky obr. 52.



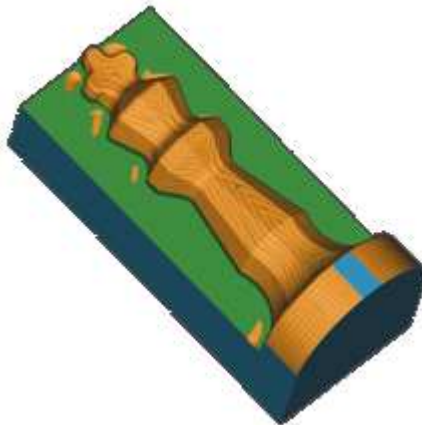
Obrázek 52. Dráhy nástroje při zarovnání podstavy – figurka

Následovala výměna nástroje a to na kulovou $\varnothing 8$ mm, se kterou se prováděla operace nazvaná „semihrubování“. Pro obrábění bylo zvoleno příkazu CONTUR_AREA obr. 53.



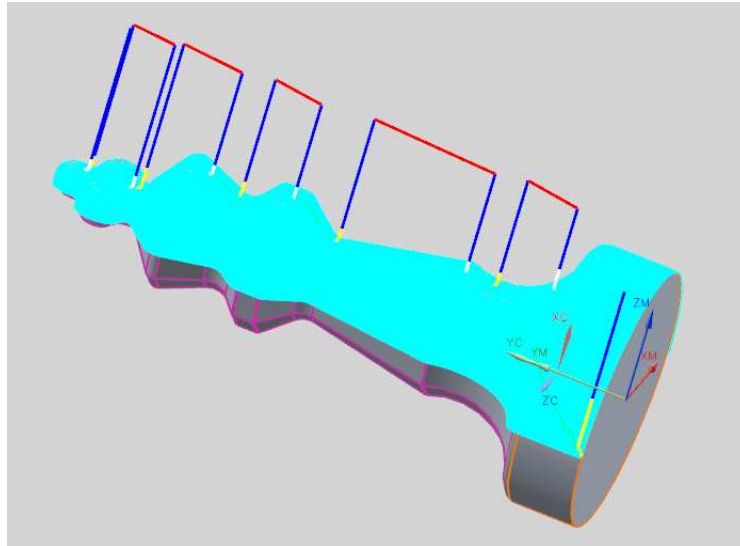
Obrázek 53. Dráhy nástroje při „semihrubování“ – figurka

Touto operací a nástrojem bylo docíleno již téměř hotového obrobění obr. 54.

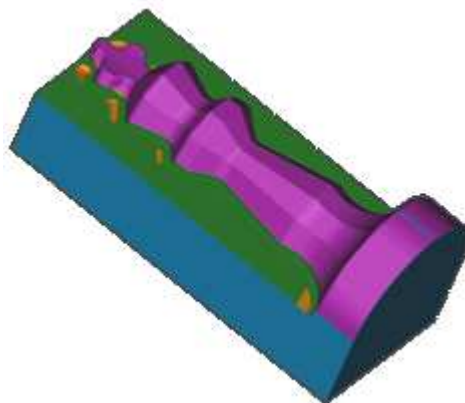


Obrázek 54. Figurka po „semihrubování“

Poslední operací, která byla provedena na polovině figurky, byla CONTUR_AREA, před kterou proběhla opět výměna nástroje na kulovou frézu $\varnothing 3$ mm, obr. 55.



Obrázek 55. Dráhy nástroje při obrábění „načisto“ - figurka
Konečnou podobu po dokončení všech operací lze vidět na obr. 56.

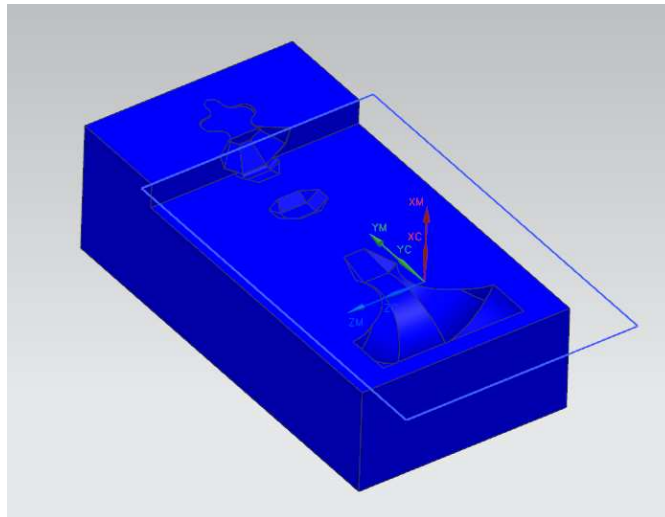


Obrázek 56. Figurka po obrábění „načisto“

8.3.2 NX – negativ šachové figurky

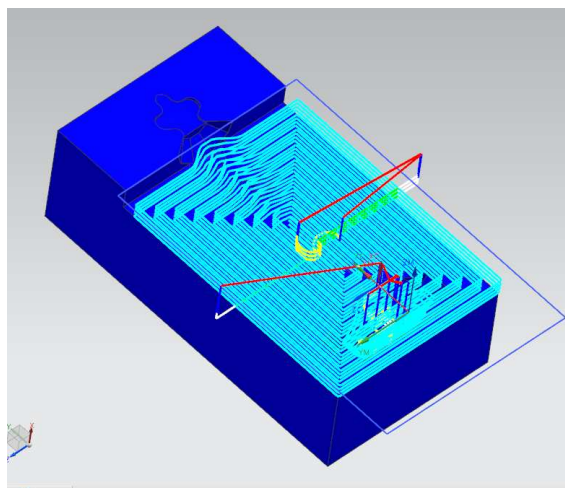
Stejně jako u modelu figurky se musel nejdříve nastavit souřadnicový systém, polo-
tovar negativu a návržení nástrojů. Byly použity totožné nástroje jako v předešlém případě
a to pro „hrubování“ válcová fréza \varnothing 10 mm a na dokončovací operace kulová fréza \varnothing 3
mm.

Po upnutí válcové frézy \varnothing 10 mm bylo přistoupeno k tvorbě obráběcího programu.
Nejdříve byl upraven načtený model a to tím způsobem, že byl snížen jeho profil viz. obr.
57 z důvodu zjednodušení upnutí a zvýšení rychlosti výroby.



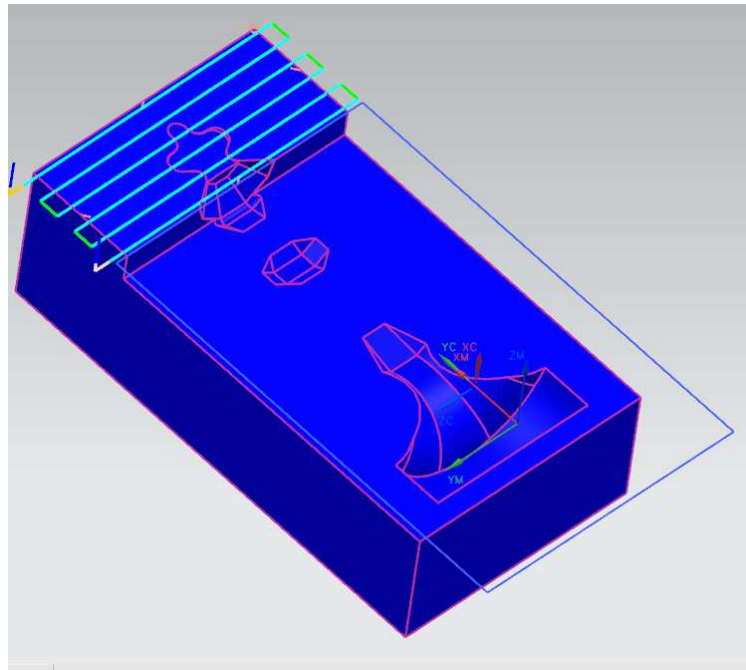
Obrázek 57. Snížený profil negativu

Pro docílení požadovaného tvaru bylo použito operace CAVITY_MILL obr. 58.



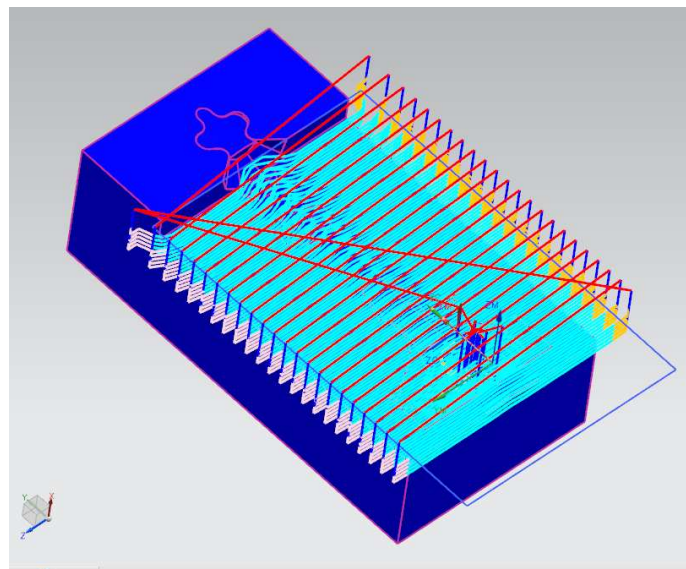
Obrázek 58. Dráhy nástroje při snížení profilu – negativ

Následovala krátká operace FACE_MILLING v podobě zarovnání zbytku čela viz. obr. 59.



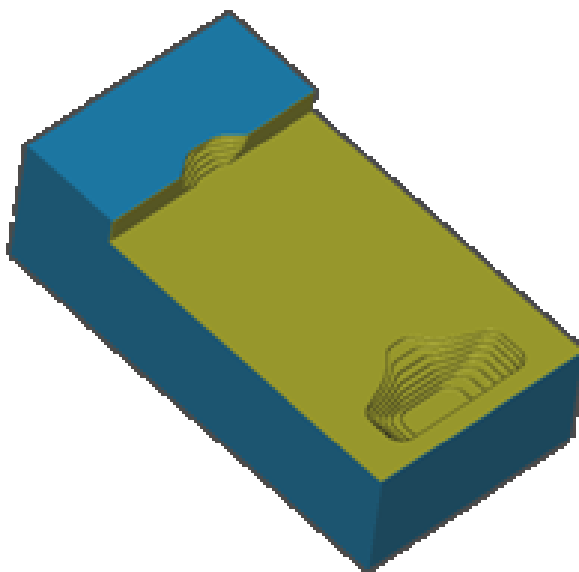
Obrázek 59. Dráhy nástroje při zarovnání zbytku čela – negativ

Nyní se už přistoupilo k „hrubování“ samotné dutiny pomocí příkazu CAVITY_MILL viz. obr. 60.



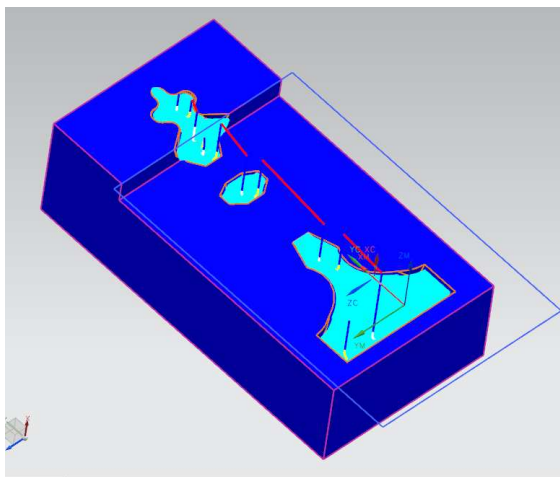
Obrázek 60. Dráhy nástroje při „hrubování“ – negativ

Tím bylo docíleno jen hrubého tvaru dutiny viz. obr. 61.



Obrázek 61. Negativ po „hrubování“

Na dokončovací operace neboli frézování „načisto“ byl nejprve vyměněn nástroj na kulovou frézu $\varnothing 3$ mm a bylo použito příkazu `CONTUR_AREA` viz. obr. 62.



Obrázek 62. Dráhy nástroje při obrábění „načisto“ – negativ

Konečná podoba hotového negativu viz. obr. 63.



Obrázek 63. Negativ po obrábění „načisto“

9 SAMOTNÁ VÝROBA DÍLŮ ZA POMOCÍ CNC FRÉZKY HWT

9.1 Technické parametry HWT C-442 CNC Profi

CNC frézka HWT je vhodná především pro frézování měkkých materiálů jako jsou dřevo, plast a měkké kovy. Samotný obráběcí proces je řízen NC Programem.

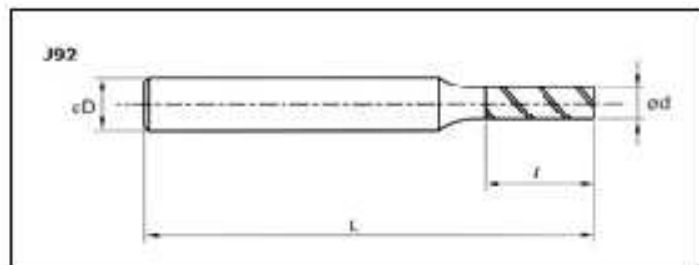
Pracovní prostor stroje je v ose X 400 mm, v ose Y 400 mm a v ose Z 200 mm. Rychlost posuvu $3000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ a programovací jednotka $0,00625 \text{ mm}$. Přesnost udávaná výrobcem je $\pm 0,02 \text{ mm}$. Maximální otáčky vřetene jsou $25\,000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a výkon elektromotoru je 1000W . [18, 19, 20]



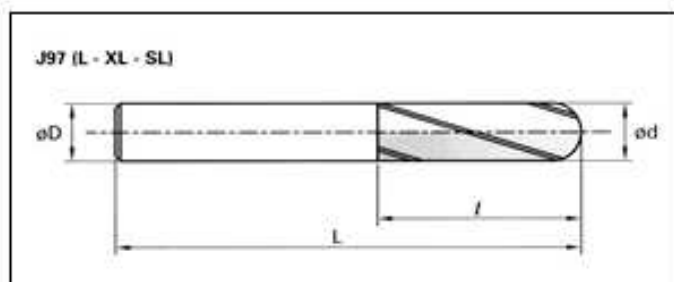
Obrázek 64. CNC frézka HWT

9.2 Použité nástroje

Pro výrobu obou dílů bylo použito třech nástrojů. Všechny nástroje byly od firmy JABRO TOOLS. [21]



Obrázek 65. Válcová fréza firmy JABRO TOOLS



Obrázek 66. Kulová fréza firmy JABRO TOOLS

Tabulka 10. Rozměry použitých nástrojů

Rozměry nástrojů					
	d mm	l	L	D	Z
93L100	10	40	100	10	2
97082	8	20	65	8	2
97031	3	8	40	3	2

9.3 Použitý materiál

Necuron neboli polyuretanová deska – je deskový a blokový materiál béžové barvy, který je velmi snadno opracovatelný. Používá se hlavně pro kontroly frézovacích programů a na modely. [22]

9.4 Výroba dílů

Nejdříve byla ve školních dílnách zadána výroba polotovarů, a to dvou kvádrů:

1. Šachová figurka: 140 mm x 60 mm x 60 mm
2. Negativ: 150 mm x 80 mm x 40 mm

Po nahrání programu do počítače bylo přistoupeno k výrobě. Její průběh až po finální podobu figurky je znázorněn na obrázcích.



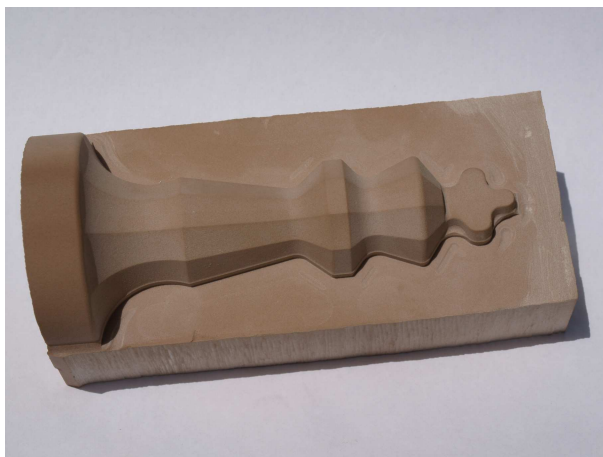
Obrázek 68. Průběh výroby I.



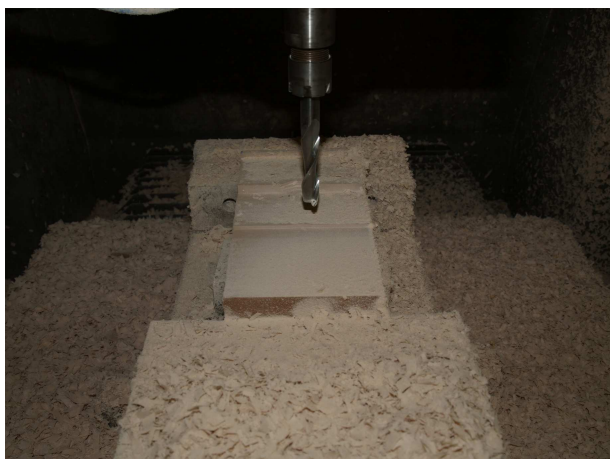
Obrázek 67. Průběh výroby II.



Obrázek 74. Průběh výroby III.



Obrázek 73. Průběh výroby IV.



Obrázek 71. Průběh výroby V.



Obrázek 72. Průběh výroby VI.



Obrázek 70. Průběh výroby VII.



Obrázek 69. Průběh výroby VIII.



Obrázek 80. Průběh výroby IX.



Obrázek 79. Průběh výroby X.



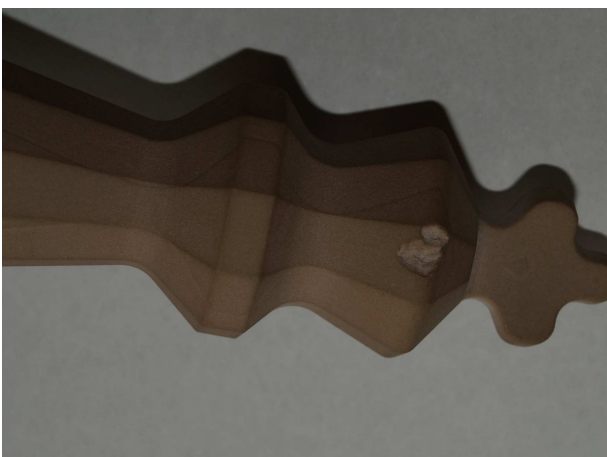
Obrázek 78. Průběh výroby XI.



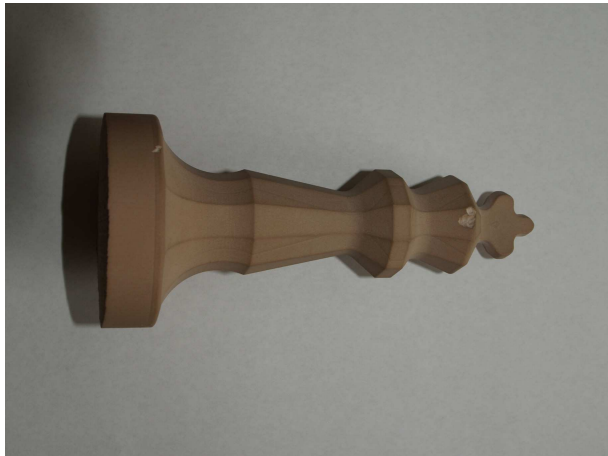
Obrázek 77. Průběh výroby XII.



Obrázek 76 Průběh výroby XIII.



Obrázek 75. Průběh výroby XIV.



Obrázek 82. Průběh výroby XV.



Obrázek 81. Průběh výroby XVI.

9.4.1 Srovnání časů

Porovnání časů operací v programu NX 7.5 a na stroji HWT – figurka

Tabulka 11. Porovnání časů - figurka

Srovnání časů operací - figurka			
NX 7.5	0:24:38	STROJ	0:42:28
Hrubování	0:4:12		0:8:36
Semihrubování	0:3:22		0:8:51
Dokončení	0:17:04		0:25:01

Porovnání časů operací v programu NX 7.5 a na stroji HWT – negativ

Tabulka 12. Porovnání časů - negativ

NX 7.5	1:04:04	STROJ	1:04:52
snížení a zarovnání čela	0:35:45		0:16:56
Hrubování	0:09:29		
Dokončení	0:18:50		0:47:56

10 ZÁVĚR

Cílem praktické části bakalářské práce bylo vytvoření návrhu modelu a simulace výroby ve výše jmenovaných a popsanych programech. Dále pak samotná výroba dílů na školní frézce HWT C-442 CNC Profi a popis cesty od počátku až po hotový díl.

Na závěr práce je zařazena kapitola, ve které jsou srovnány časy simulací a skutečné časy. Ovšem toto porovnání lze brát jen velmi orientačně, jelikož bylo při výrobě manipulováno s výkonem stroje podle potřeby.

Na závěrečných fotografiích z průběhu výroby jsou patrné nedostatky, které vznikly při výrobě. Na obr. 78, 79 - zbytky po lepidle, kterého bylo použito na přilepení figurky do negativu při obrábění druhé strany. Další na obr. 78 - v levé části zářez, který vznikl při oddělování figurky z negativu ruční úhlovou bruskou. A nakonec obr. 80 - vyštípnutá část materiálu z figurky. Vyštípnutí vzniklo u prvního pokusu při obrábění druhé strany figurky. Použité lepidlo nedokázalo udržet požadovanou polohu figurky v negativu, došlo k vylomení a kolizi figurky s nástrojem.

Závěrem lze zhodnotit, že celá výroba proběhla bez problémů a zvolený postup v použitých programech byl správný, jelikož vytvořený díl odpovídá dílu vytvořeného simulací.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MÁDL, Jan; BARCAL, Jaroslav. *Základy technologie II*. Dotisk prvního vydání. Praha : ČVUT, 2005. 55 s. Dostupné z WWW:
<http://www.strojar.com/upload/skripta/1rocnik/zaklady_technologie_2.pdf>. ISBN 80-01-02610-8.
- [2] VACH, Josef. *Frézař : Technologie pro 1. ročník OU a UŠ*. Čtvrté nezměněné vydání. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1968. 175 s. ISBN 04-210-68, dt:621.914.
- [3] NOVÁK, Petr. Maturitní otázky. *Maturitní otázky*. [Online] 25. Srpen 2005. [Citace: 29. Prosinec 2010.]
[http://maturitniotazky.ic.cz/technologie/6.Fr%25E9zov%25E1n%25ED.doc&rct=j&q=frezování tvarových ploch](http://maturitniotazky.ic.cz/technologie/6.Fr%25E9zov%25E1n%25ED.doc&rct=j&q=frezování%20tvarových%20ploch).
- [4] PEROUTKA, Jan. Sos vsetin. *sos vsetin*. [Online] 11. Březen 2008. [Citace: 29. prosinec 2010.]
<http://mvpict.sosvsetin.cz/weby/ms/2r/tech/Sdilene%20dokumenty/T%20MS2M%20Fr%20C3%A9zov%20C3%A1n%20C3%AD.pdf>.
- [5] UHEL, David. Proexport. *Proexport*. [Online] 25. Listopad 2000. [Citace: 29. Prosinec 2010.] http://www.proexport.cz/srot/FREZY_hlavni.htm.
- [6] STRAKA, Ondřej. Abetec. *Abetec*. [Online] 6. Červen 2006. [Citace: 29. Prosinec 2010.] <http://www.abetec.cz/produkty/smt/vyroba-dps/vrtacky-a-cnc-frezky/cnc-freza-a-vrtacka.html>.
- [7] PETERKA, Jozef; JANÁČ, Alexander; GÖRÖG, Augustín. *Programovanie NC strojov I*. 1. vydání. Bratislava : STU, 2002. 75 s. ISBN 80-227-1686-3, 85-233-2002.
- [8] KOTAL, Tomáš. Designtech. *Designtech*. [Online] 29. Červen 2009. [Citace: 29. Prosinec 2010.] <http://www.designtech.cz/c/cam/cnc-stroje-v-praxi.htm>.
- [9] RAKUS, Václav. Sstzr. *Sstzr*. [Online] 11. Zář 2001. [Citace: 29. prosinec 2010.] <http://sstzr.cz/download/cat1/ucebnicecnc.pdf>.
- [10] ŽÍŽKA, Lukáš. bow. *bow*. [Online] 25. leden 2008. [Citace: 29. prosinec 2010.] <http://www.bow.cz/produkt/3501113-univerzalni-cnc-frezka-opti-f-100-cnc-tc/>.

- [11] KRAJČA, Martin. Pharis. Pharis. [Online] 3. prosinec 2007. [Citace: 29. prosinec 2010.] <http://www.pharis.cz/cs/MES-pro-kovoobrabeni-a-nastrojarny>.
- [12] ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje*. 1. vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 126 s. ISBN 80-7300-207-8, ean:9788073002077.
- [13] PETERKA, Jozef; JANÁČ, Alexander. *CAD/CAM systémy*. 1. vydání. Bratislava : STU, 2002. 63 s. ISBN 800-227-1685-5, 85-232-2002.
- [14] VASKÝ, Jozef; NEMLAHA, Eduard; MASÁR, Ladislav. *CAD/CAM systémy*. 1. vydání. Bratislava : STU, 2003. 255 s. ISBN 80-227-1882-3, 85-238-2003.
- [15] Technodat. (7. Leden 2010). *Catia V5*. Získáno 5. únor 2011, z Technodat: <http://www.technodat.cz/catia-v5>
- [16] Cad, N. (27. duben 2009). *NX CAD axiom tech*. Získáno 5. červen 2011, z NX CAD - Axiom tech: <http://www.axiomtech.cz/page/68103.nx-cad/>
- [17] tech, N. C. (4. Duben 2009). *NX CAM Axiom tech*. Získáno 25. červen 2011, z NX CAM Axiom tech: <http://www.axiomtech.cz/page/68126.nx-cam/>
- [18] Dornicová, L. (2007). *Dynamická obrobiteľnosť plastů a kovů při frézování*. Zlín: UTB.
- [19] Číhal, M. (2007). *Výroba součástí složitých výrobků pomocí NC*. Zlín: UTB.
- [20] Dornicová, L. (2007). *Dynamická obrobiteľnosť plastů a kovů při frézování*. Zlín: UTB.
- [21] cwvorco. (25. srpen 2009). *cwvorco*. Získáno 5. červen 2011, z cwvorco: <http://www.cwvorco.com/catalog/jabro/jbrj92.htm>
- [22] NECUMER. (15. únor 2010). *NECUMER*. Získáno 5. červen 2011, z NECUMER: www.necumer.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

VBD	Vyměnitelná břitová destička	
ISO	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro standardizaci
a_p	Axiální hloubka řezu	
a_e	Radiální hloubka řezu	
f	Posuv	
f_Z	Posuvu na zub	
f_{min}	Posuv na minutu	
v_c	Rychlost hlavního pohybu	
v_f	Rychlost posuvu	
h	Tloušťka třísky	
D	Průměr frézy	
n	Otáčky nástroje	
z	Počet zubů	
2D	2dimenze	
3D	3dimenze	
4D	4dimenze	
5D	5dimenzí	
AVS	Automatizovaný výrobní systém	
PC	Personal Computer	Osobní počítač
NC	Numeric Control	Číslicové řízení
CNC	Computer Numerical Control	Počítačem číslicové řízení
DNC	Direct Numerical Control	Přímé číslicové řízení
CA	Computer Aided	Počítačová podpora
CIM	Computer Integrated Manufacturing	Počítačem integrovaná výroba

CAD	Computer Aided Design	Počítačem podporovaný návrh
CAM	Computer Aided Manufacturing	Počítačem podporovaná výroba
PPC	Production planning and control	Plánování a řízení výroby
CAE	Computer Aided Engineering	Počítačem podporované inženýrství
CAP	Computer Aided Planning	Počítače a informační technologie
CAQ	Computer Aided Quality	Počítačem podporovaná kontrola kvality
CAA	Computer Aided Assembly	Počítačová podpora montáže výrobků
CARC	Computer Aided Robot Control	Počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů
CATS	Computer Aided Transport and Store	Počítačová podpora řízení mezioperační dopravy a skladování.
CAPE	Computer Aided Production Engineering	Počítačová podpora technologie výroby
STEP	Standart for the Exchange of Product	Standard pro výměnu modelových dat o produktu
B-rep	Boundary representation	Hraniční reprezentace
CSG	Constructive Solid Geometry	Konstruktivní pevná geometrie
MPK	Metodu konvenčních prvků	

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1a. Frézování válcovou frézou 1b. Frézování čelní frézou [1]</i>	8
<i>Obrázek 2. Řezný pohyb a zobrazení odebraného materiálu během záběru zubu [1]</i>	9
<i>Obrázek 3. Sousedné frézování [1]</i>	10
<i>Obrázek 4. Nesousedné frézování [1]</i>	10
<i>Obrázek 5. Sousedné/nesousedné čelní frézování [1]</i>	11
<i>Obrázek 6. Pracovní podmínky-úběr [1]</i>	11
<i>Obrázek 7. Posuv na zub a posuv na otáčku [1]</i>	12
<i>Obrázek 8. Frézování tvarových ploch podle orýsování [4]</i>	13
<i>Obrázek 9. Ukázka tvarových fréz [5]</i>	14
<i>Obrázek 10. Frézování tvarových ploch na otočném stole [4]</i>	14
<i>Obrázek 11. Frézování na otočném stole [4]</i>	15
<i>Obrázek 12. NC stroj pro frézování tvarových ploch [6]</i>	16
<i>Obrázek 13. Využití systému pro stavění souřadnic [9]</i>	19
<i>Obrázek 15. Souvislé řízení 2D [9]</i>	20
<i>Obrázek 17. Souvislé řízení 3D [9]</i>	20
<i>Obrázek 14. Využití systému pravoúhlého řízení [9]</i>	20
<i>Obrázek 16. Souvislé řízení 2¹/₂ D [9]</i>	20
<i>Obrázek 18. Příklad Univerzální CNC frézka [10]</i>	21
<i>Obrázek 19. DNC řízení – Přímé číslicové řízení [11]</i>	23
<i>Obrázek 20. Svislá frézka a roviny obrábění [12]</i>	27
<i>Obrázek 21. Deska – kótováno z osy souměrnosti, výhodné je posunout nulový bod do osy souměrnosti [12]</i>	28
<i>Obrázek 22. Vačka – příklad pro programování pomocí polárních souřadnic [12]</i>	29
<i>Obrázek 23. Polokoule – příklad pro programování pomocí parametrů na frézce [12]</i>	30
<i>Obrázek 24. Vyjadřuje definování pro výpočet parametrů – použití Pythagorovy věty [12]</i>	30
<i>Obrázek 25. CA systémy a čas realizace součástky [13]</i>	33
<i>Obrázek 26. Komponenty CIM [14]</i>	34
<i>Obrázek 27. Model CIM [14]</i>	35
<i>Obrázek 28. Modely těles [14]</i>	38
<i>Obrázek 29. B-rep a datová struktura [13]</i>	39

<i>Obrázek 30. CSG modelování [13].....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 31. CSG model a modelování [13].....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 32. Různé příklady prvků - „feature“ [13].....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 33. Vytvořený 3D model rotací a) příklad tvořící čáry b)3D model [13].....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 34. Vytvořený 3D model posunutím a) příklad tvořící čáry b) 3D model [13].....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 35. Vytvořený model ze třech čar a) první uspořádání třech čar b) 3D model [13].....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 36. Model vytvořený posunutím tvořící čáry a) první uspořádání čtyřech čar b) 3D model [13].....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 37. Funkce narovnání a) narovnaná jedna podstava b) narovnaný model [13].....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 38. Funkce přeřezání a) směrový vektor a parametrická křivka b) přeřezaný model [13].....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 40. Výsledek použití zaoblovací funkce mezi válcem a rovinou [13].....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 39. Výsledek použití funkce pro nalezení dělicí roviny [13].....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 41. Souvislost CAD – CAPP – CAM [13].....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 42. Nástroje a možnosti obrábění [12].....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 43. Strategie obrábění ploch I [12].....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 44. Strategie obrábění ploch II [12].....</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 45. Úprava drah nástroje a kolize [12].....</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 46. Platformy CATIE.....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 47. První Sketch figurky.....</i>	<i>61</i>
<i>Obrázek 48. Konečný model figurky.....</i>	<i>61</i>
<i>Obrázek 49. Upravený negativ figurky.....</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 50. Dráhy nástroje při „hrubování“ – figurka.....</i>	<i>63</i>
<i>Obrázek 51. Figurka po hrubování.....</i>	<i>63</i>
<i>Obrázek 52. Dráhy nástroje při zarovnání podstavy – figurka.....</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 53. Dráhy nástroje při „semihrubování“ – figurka.....</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 54. Figurka po „semihrubování“.....</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 55. Dráhy nástroje při obrábění „načisto“ - figurka.....</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 56. Figurka po obrábění „načisto“.....</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 57. Snížený profil negativu.....</i>	<i>66</i>
<i>Obrázek 58. Dráhy nástroje při snížení profilu – negativ.....</i>	<i>66</i>

<i>Obrázek 59. Dráhy nástroje při zarovnání zbytku čela – negativ</i>	67
<i>Obrázek 60. Dráhy nástroje při „hrubování“ – negativ</i>	67
<i>Obrázek 61. Negativ po „hrubování“</i>	68
<i>Obrázek 62. Dráhy nástroje při obrábění „načisto“ – negativ</i>	68
<i>Obrázek 63. Negativ po obrábění „načisto“</i>	69
<i>Obrázek 64. CNC frézka HWT</i>	70
<i>Obrázek 65. Válcová fréza firmy JABRO TOOLS</i>	71
<i>Obrázek 66. Kulová fréza firmy JABRO TOOLS</i>	71
<i>Obrázek 68. Průběh výroby II.</i>	72
<i>Obrázek 67. Průběh výroby I.</i>	72
<i>Obrázek 74. Průběh výroby VIII.</i>	73
<i>Obrázek 73. Průběh výroby VII.</i>	73
<i>Obrázek 71. Průběh výroby V.</i>	73
<i>Obrázek 72. Průběh výroby VI.</i>	73
<i>Obrázek 70. Průběh výroby IV.</i>	73
<i>Obrázek 69. Průběh výroby III.</i>	73
<i>Obrázek 80. Průběh výroby XIV.</i>	74
<i>Obrázek 79 Průběh výroby XIII.</i>	74
<i>Obrázek 78. Průběh výroby XII.</i>	74
<i>Obrázek 77. Průběh výroby XI.</i>	74
<i>Obrázek 76. Průběh výroby X.</i>	74
<i>Obrázek 75. Průběh výroby IX.</i>	74
<i>Obrázek 82. Průběh výroby XVI.</i>	75
<i>Obrázek 81. Průběh výroby XV.</i>	75

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. Složení programu (v bloku) [12]</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 2. Význam nejpoužívanějších adres [12]</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 3. Význam důležitých funkcí [12].....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 4. Použití nejdůležitějších funkcí G, M [12]</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 5. Funkce pro roviny souřadnicové soustavy [12]</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 6. Programování v absolutních souřadnicích [12].....</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 7. Programování pomocí polárních souřadnic [12].....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 8. Programování pomocí parametrů [12]</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 9. Srovnání části NC programu [13]</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 10. Rozměry použitých nástrojů.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabulka 11. Porovnání časů - figurka</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 12. Porovnání časů - negativ</i>	<i>75</i>