

Programování a výroba modelů CNC frézováním

Bc. Michal Doležel

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Doležel**
Osobní číslo: **T11044**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Programování a výroba modelů CNC frézováním**

Zásady pro vypracování:

- 1 – teoretická studie na dané téma**
- 2 – příprava modelu pro programování**
- 3 – programování modelu pro CNC frézku ve 2 programech**
- 4 – výroba modelu a porovnání strojních časů**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

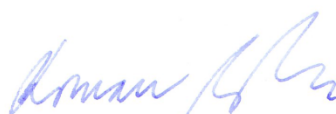
Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

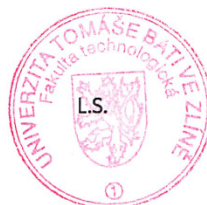
Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na téma programování a výrobu modelů CNC frézováním. Cílem této práce je příprava tří modelů pro programování, dále naprogramování těchto modelů pro CNC frézku. U dvou modelů se naprogramování provádí ve 2 programech (SurfCam, NX) a porovnávají se strojní časy. Třetí model je naprogramován v jednom programu (SurfCam), který je následně vyroben.

V praktické části připravuji modely a následně programuji pro CNC frézku ve dvou různých programech (SurfCam a NX). U takto naprogramovaných modelů porovnávám jejich strojní časy. Jeden z naprogramovaných modelů nechám vyrobít na CNC frézce Jobs s operačním systémem Heidenhain.

Klíčová slova: frézky, frézy, CAD/CAM, CNC, SurfCam, NX.

ABSTRACT

This thesis is dealing with programming and manufacturing of models by CNC milling.

The aim of this thesis is to prepare three models for programming and to programme these models for CNC cutter. The programming of the first two models will be realized in two programmes (Surfcam, NX) in order to compare their machining times. The third model will be programmed in one programme (SurfCam) and then it will be manufactured.

In the practical part, I prepare and programme models for CNC cutter in two different programmes (SurfCam and NX). Then I compare their machining times. One of these models will be manufactured on CNC milling cutter called Jobs with the operational system Heidenhain.

Keywords: cutters, milling cutters, CAD / CAM, CNC, SurfCam, NX.

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval všem, kteří přispěli ke vzniku mé diplomové práce.

Zvláště vedoucímu Diplomové práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odpovědné vedení, trpělivost, za poskytnuté materiály, cenné rady a připomínky věnované mé diplomové práci.

Také bych chtěl poděkovat firmě SeBaTi, spol. s.r.o., s kterou jsem při zhotovování práce spolupracoval a kde byl vyroben model auta.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 FRÉZOVÁNÍ	12
1.1 TEORIE FRÉZOVÁNÍ	12
1.2 FRÉZKY.....	15
1.2.1 Konzolové frézky	15
1.2.2 Rovinné frézky.....	16
1.2.3 Speciální frézky	17
1.3 FRÉZY	17
1.3.1 Nástroje využívané pro CNC obrábění	18
1.3.2 Nástrojové materiály	19
1.3.3 Povlakované nástroje.....	20
1.3.3.1 Charakteristika vybraných povlaků:	20
1.3.4 Trendy ve vývoji fréz	21
1.3.5 Ostření fréz.....	22
1.3.6 Upínání nástrojů a obrobků.....	22
1.3.6.1 Upínání fréz:.....	22
1.3.6.2 Upínání obrobků:	23
1.3.7 Řezné podmínky	24
1.3.8 Dosahované parametry	26
2 CA.. TECHNOLOGIE V NAVRHOVÁNÍ A VÝROBĚ (CAD/CAM)	28
2.1 DŮLEŽITOST CA.. TECHNOLOGIÍ V SOUČASNÉ PRAXI.....	28
2.2 SMYSL POUŽITÍ A ZPŮSOB PRÁCE V CAD SYSTÉMECH	29
2.3 CA.. PŘÍSTUPY V PROCESU NÁVRHU A VÝROBY SOUČÁSTÍ.....	30
2.3.1 Implementace CA.. technologií v procesu návrhu a výroby automobilů.....	30
2.3.2 Nástroje pro výrobu výlisků.....	30
2.3.3 Návrh a výroba v současnosti	30
2.3.3.1 Kopírování na bázi virtuálního modelu: CAD/CAM – CNC.....	31
2.3.3.2 Hmotné modely.....	32
2.3.3.3 Zpětné inženýrství – „Reverse Engineering“	33
2.3.3.4 Digitalizace hmotného modelu	33
2.3.3.5 Modifikace – inovace	34
2.4 CA.. TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ POMOCI CNC TECHNIKY	35
2.4.1 Základní teorie NC řízení strojů	35
2.4.1.1 Numerický řídicí systém	35
2.4.1.2 Základní data NC řízení.....	37
2.4.1.3 Typy řídicích obvodů.....	37
2.4.1.4 Systémy řízení pohybu	39
2.4.1.5 CAM – generování dat pro CNC obrábění na základě virtuálního modelu	41
2.4.1.6 Sled činností při definování obrábění frézováním v CAM prostředí ..	41
2.4.1.7 Sladění počátků souřadnicových systémů	42
2.4.1.8 Definování dráhy nástroje pro operace obrábění na hrubo	42
2.4.1.9 Definování dráhy nástroje pro dokončovací operace obrábění.....	44
2.4.1.10 Výroba modelu na CNC frézce	46

2.4.1.11	Výhody návrhu součástky CA.. přístupu a výroby pomocí CNC techniky	47
2.4.1.12	Nezbytnost nasazení CAD/CAM→CNC	48
3	CNC TECHNOLOGIE	49
3.1	VŠEOBECNÉ POJMY Z OBLASTI CNC TECHNIKY	49
3.1.1	Obecné termíny	49
3.2	CNC OBRÁBĚCÍ STROJ	49
3.2.1	Rozdělení programů	50
3.2.2	Pracovní celky CNC obráběcího stroje	50
3.2.3	Rozdělení CNC obráběcích strojů	51
3.3	ÚLOHA CNC STROJŮ VE STROJÍRENSTVÍ	51
3.4	POŽADAVKY KLADENÉ NA CNC OBRÁBĚCÍ STROJE	52
3.5	SCHÉMA CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE A JEHO ŘÍZENÍ	54
3.6	SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM STROJE	56
3.7	NULOVÉ A DALŠÍ VZTAŽNÉ BODY NA CNC STROJÍCH	59
3.8	CNC FRÉZOVACÍ STROJE	61
4	CNC PROGRAMOVÁNÍ	62
4.1	STRUKTURA PROGRAMU	62
4.2	PROGRAMOVÁNÍ, POUŽITÍ NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH FUNKCÍ G, M	64
4.3	MOŽNOSTI OBRÁBĚNÍ PŘI POUŽITÍ VYSPĚLÝCH CAD/CAM SYSTÉMŮ	65
5	SHRNUTÍ A ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI	66
II	PRAKTICKÁ ČÁST	67
6	CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI	68
6.1	FRÉZOVACÍ SYSTÉM SURFCAM	68
6.2	FRÉZOVACÍ SYSTÉM SIEMENS NX	68
7	PROGRAMOVÁNÍ MODELŮ	69
7.1	MODEL Č. 1 – PROGRAMOVÁNO V SURFCAM V4	69
7.2	MODEL Č. 2 – PROGRAMOVÁNO V SURFCAM V4	78
7.3	MODEL 1 – PROGRAMOVÁNO V SIEMENS NX8	85
7.4	MODEL 2 – PROGRAMOVÁNO V SIEMENS NX8	87
7.5	POROVNÁNÍ STROJNÍCH ČASŮ	90
7.6	MODEL 3 – PROGRAMOVÁNÍ V SURFCAM, A NÁSLEDNÁ VÝROBA	91
7.7	CNC MODELOVACÍ FRÉZKA JOBS JOMACH 16	98
	ZÁVĚR	100
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	101
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	103
	SEZNAM OBRÁZKŮ	106
	SEZNAM TABULEK	109
	SEZNAM PŘÍLOH	110

ÚVOD

První zmínky o počátcích frézování se datují již z období středověku ze 14. Století. Tyto stroje však oproti současnosti byly primitivní a první pokročilý vývoj technologií frézování nastal až v 18. a 19. století v období průmyslové revoluce. Další velký zlom v rozvoji této oblasti nastal ve 20. století při vývoji vojenské a kosmické techniky. I v dnešní době se posunujeme stále kupředu.

Současný rozvoj v oblasti frézování (taktéž i v ostatních oblastech výrobních strojů ve strojírenském průmyslu) je dán hlavně využitím výpočetní techniky. Výpočetní technika a vývoj příslušných softwarů umožnili řízení strojů a jejich automatizaci, což vedlo ke zvýšení výkonnosti a dokonalejšímu využití potenciálu strojů a tedy k urychlení výrobního procesu.

První z řízených strojů byly NC stroje, které přijímaly vytvořený program na dřevěném štítku nebo dřevěné pásce. Tyto stroje se využívaly hlavně na výrobu složitějších součástí, které se pravidelně opakovaly. S rozvojem a nástupem počítačů a jejich techniky se začaly postupně využívat bok po boku s NC stroji a vznikly CNC stroje, které se využívají k výrobě velice složitých součástí. Propojení počítačové a CNC techniky je v dnešní době samozřejmostí a její hranice se posouvají stále kupředu.

Nyní se seznámíme s pojmy, co je to frézka, co fréza a jaké další nástroje se v této oblasti využívají. Následně se dozvíme, co jsou to CA.. technologie a k čemu se využívají. V další kapitole je rozebrána problematika CNC technologií a následně si přiblížíme problematiku CNC programování. [1, 21, 22]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je strojní třískové obrábění kovů vícebřitým nástrojem, kde hlavní pohyb (rotační) koná nástroj a vedlejší pohyb (přísuv, posuv) obrobek. Klasicky probíhá ve třech osách, ve více než třech osách pracují víceosá obráběcí centra. Frézovací stroj se nazývá frézka, frézovací nástroj fréza. Frézování se dělí na sousledné, kdy se nástroj otáčí ve směru pohybu stolu s obrobkem, a nesousledné kdy je tomu opačně. [2]

Jako ve všech odvětvích, tak i v oblasti třískového obrábění, neustále dochází k inovacím a to jak z hlediska hardware (stroje a nástroje), tak v oblasti software (CAM systémy). Pro zvyšování produktivity a tím schopnosti konkurovat je zapotřebí tento vývoj sledovat. Jednou z největších inovací v poslední době je tzv. adaptivní obrábění. Jedná se o výpočet dráhy takovým způsobem, aby bylo dosaženo maximálně možného zatížení nástroje a přitom, aby nástroj nebyl nikdy přetížen. Tato dráha je vypočítána speciálním výpočtem, který již není možné dosáhnout běžným způsobem. Navíc tato technologie nabízí i použití "Redukce kroku", čímž je optimalizována výsledná drsnost povrchu. Adaptivní obrábění zajistí odebrání co nejvíce materiálu v co nejkratším čase při zajištění maximální bezpečnosti obráběcího procesu a to vše s optimalizací drsnosti výsledného povrchu připraveného pro dokončovací způsoby obrábění. Bude zajímavé, co přinese budoucnost, ale tato změna zůstává na dlouho dobu nejvýznamnějším přínosem pro zvýšení produktivity a bezpečnosti třískového obrábění, konkrétně frézování. [2]

Průmyslové statistiky udávají, že ze všech obráběcích prací připadá asi 25 procent na práce frézovací. [1]

1.1 Teorie frézování

Frézování je obrábění materiálu, které se provádí dvěma na sebe vázanými pohyby: rotačním pohybem nástroje a posuvným pohybem obrobku. Dříve byl posuvný pohyb realizován jen jako posloupnost přímočarých pohybů. V současnosti je naproti tomu díky moderním obráběcím strojům realizovat posuvné pohyby plynule měnitelné ve všech směrech. Fréza má obvykle větší počet zubů a každý zub odebírá určené množství materiálu. Výhody současného frézování se projevují ve vysokém výkonu obrábění, vynikající jakosti obráběného povrchu, velké přesnosti rozměrů a flexibilitě při obrábění tvarově složitých obrobků. Frézováním se obrábí rovné plochy, drážky a plochy tvarové. [3]

Frézování se vyvíjí ve stále univerzálnější metodu obrábění, což je důsledkem rostoucí mnohostrannosti použití obráběcích strojů, řídicích systémů a řezných nástrojů. Většina všech frézovacích operací se v dnešní době provádí na obráběcích centrech. V podstatě se pro frézování používají stroje, jejichž rozmanitost už nemůže být větší: počínaje staršími klasickými jednoúčelovými frézky, až po současná moderní, dokonale vyvinuté víceosé CNC stroje. [3]

Frézování je velice komplexním způsobem obrábění nejen pokud se jedná o rozmanitost strojů, nástrojů a obrobků. Při frézování spolupůsobí na výsledek obrábění ve značné míře stav celého zařízení a charakter obrobku, což znamená, že je nutné věnovat pozornost určitým, částečně omezujícím faktorům. [3]

Způsob obrábění a typ nástroje jsou určovány výkresem obrobku a danými požadavky (přesnost rozměrů, jakost obrobené plochy, atd.), tradiční metody obrábění by měly být vždy kriticky zhodnoceny, protože neustále pokračuje vývoj v oblasti strojů a nástrojů a mění se také podmínky frézování, které s tímto vývojem souvisejí. [3]

Proto je vhodné vždy předem přesně prošetřit, jak má obrábění probíhat a s ohledem na zjištěné skutečnosti se rozhodnout pro cestu moderního obrábění; s největší pravděpodobností by pak mohlo být obrábění realizováno v podstatě kratší době a se značně lepšími výsledky. Rovněž je nutné zohlednit, má-li být obrábění provedeno při jednom záběru, nebo je-li nutné použít záběrů více. [3]

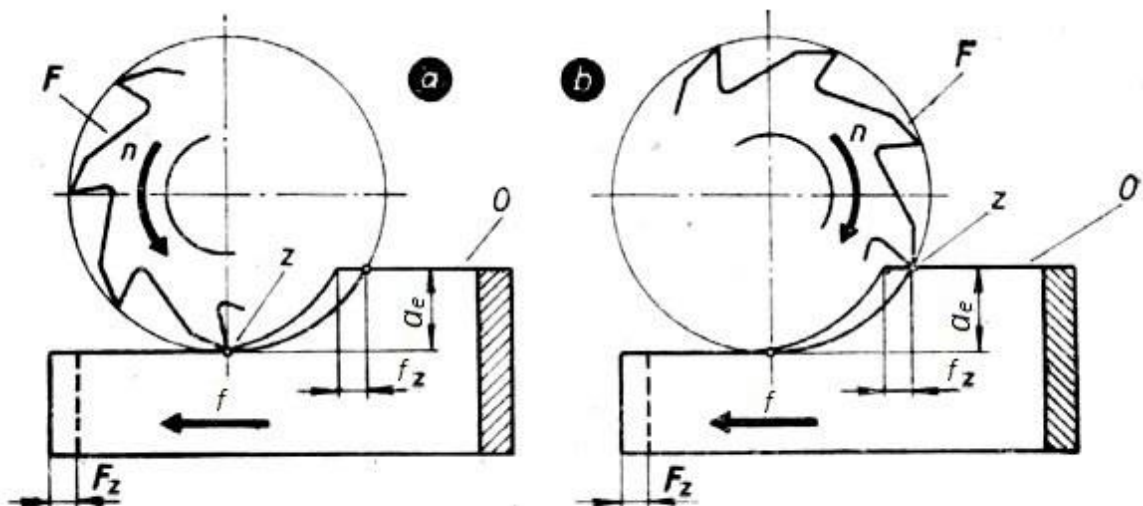
Má-li být obrobek podle výrobního postupu frézován, směřuje nejbližší další krok k volbě vhodného stroje. Volit můžeme mezi vodorovnou, svislou, nebo univerzální frézku, portálovou frézku, NC strojem, nebo obráběcím centrem. Samozřejmě musí být zvolený stroj k dispozici a musí být rovněž pro uvažované obrábění vhodný. Souhlasí-li parametry, důležité pro uvažované obrábění, a také výkonové parametry stroje, musí být ještě zhodnoceny další faktory, jako stabilita, přesnost stroje a jeho všeobecný stav. Největším problémem při obrábění řeznými nástroji je jejich nedostatečná stabilita – nejenom vzhledem ke kvalitě obrobeného povrchu, ale rovněž s ohledem na trvanlivost břítu. Výsledek obrábění závisí rovněž na výkonnosti stroje a nástroje. [3]

Frézování rozdělujeme na:

- **Sousledné** - obrobek se pohybuje stejným směrem, jako je směr otáčení frézy

- Nesousledné - obrobek se pohybuje proti směru otáčení frézy [4]

Řezný pohyb je složen ze dvou pohybů: otáčivého pohybu frézy a přímočarého pohybu obrobku. Výsledný relativní pohyb ostří vůči obrobku je zkrácený cykloida. Vzhledem k malé rychlosti posuvu proti obvodové rychlosti frézy se tato cykloida blíží kružnici. Délku dráhy, kterou urazí obrobek během pootočení frézy o jednu zubovou rozteč, nazýváme posuvem na zub f_z . Vzdálenost mezi dráhami po sobě následujících břitů, měřena v radiálním směru, je tloušťka třísky a . Nejvyšší možná hodnota (a_{max}) je rovna posuvu na zub. Při nesousledném frézování válcovou frézou se mění tloušťka třísky od nuly do a_{max} . Při nesousledném frézování čelní frézou se tloušťka třísky mění od určitého minima do maxim, kde je rovna posuvu na zub, a opět do minima. Při sousledném frézování je průběh změny tloušťky třísky opačný. [5]



a - nesousledné frézování, b - sousledné frézování, F - fréza, O - obrobek, n - otáčení frézy, f - posuv obrobku, f_z - posuv na zub frézy, a_e - hloubka frézování, z - začátek záběru jednotlivých zubů frézy

Obr. 1. Typy frézování [16]

Při sousledném frézování působí vodorovná složka síly ve směru posuvu a svislá složka přitlačuje obrobek ke stolu frézky. Zub frézy zabírá v místě maximální tloušťky třísky. Při nesousledném frézování působí vodorovná složka síly proti směru posuvu a svislá složka obrobek zvedá. Zub zabírá z nulové tloušťky třísky. V tomto případě způsobuje zaoblení ostří, že zub začne řezat až po dosažení určité tloušťky třísky, předtím dochází pouze k přechování materiálu a ke tření hřbetu o obrobek. Tím se zvyšuje opotřebení

břítu nástroje a zhoršuje se kvalita obrobenej plochy. Z toho hlediska je sousledné frézování výhodnější, vyžaduje však, vzhledem ke stejnému směru posuvu a vodorovné složce řezné síly F_z , vymezení vůle v posuvném mechanismu stroje. [5]

1.2 Frézky

Frézky patří mezi nejuniverzálnější obráběcí stroje na výrobu drážek, ozubení, závitů, nepravidelných tvarů, rovinných, tvarových a rotačních ploch. Vyrábějí se z rychlořezné oceli nebo ze slinutých karbidů. [4]

Frézovací stroje se vyskytují ve velkém počtu různých modifikací. Obvykle se rozdělují na: konzolové, rovinné a speciální. [5]

1.2.1 Konzolové frézky

Jsou nejrozšířenější, hlavní část tvoří konzola, která je výškově nastavitelná a svisle upevněna na vedení stojanu. Na konzole je umístěn pracovní stůl pro upínání obrobků, konzola umožňuje svislý pohyb stolu, stůl má příčný a podélný posuv. Všechny pohyby se vykonávají pomocí šroubů a matic a umožňují posuv obrobku ve 3 osách. Pohon posuvu, zajišťovaný obvykle samostatným motorem s převodovkou, je nezávislý na otáčkách vřetene. Konzolové frézky se rozdělují na tři základní druhy: vodorovné, svislé, univerzální. [5]

Hlavní části: stojan, konzola, příčné saně, podélný stůl, vřeteno, výsuvné a podpěrné rameno [4]

- **Vodorovné konzolové frézky** – mají vřeteno uloženo horizontálně, rovnoběžně s rovinou pracovního stolu. Obrábějí se na nich zejména drážky kotoučovými nebo tvarovými frézami, nebo složité tvary skládanými frézami. Lze na nich obrábět i drážky nebo rovinné plochy stopkovými frézami a frézovacími hlavami upnutých do vřetene frézky. [5]
- **Svislé konzolové frézky** – mají vertikální vřeteno s osou kolmo na plochu pracovního stolu frézky. Vřeteno je uloženo ve svislé hlavě, která může být otočná kolem vodorovné osy a lze ji natočit obvykle o 45°. Na svislých frézkách se obrábějí

zejména rovinné plochy a drážky čelními frézky, frézovacími hlavami a stopkovými frézami. [5]

- **Univerzální konzolové frézky** – jsou obdobné konstrukce jako vodorovné konzolové frézky, mají však pracovní stůl otočný o asi 45° . Tato úprava umožňuje frézování šroubovic pomocí univerzálního dělicího přístroje. Příslušenstvím univerzální frézky je i svislá nebo univerzální frézovací hlava, kterou lze nasadit na svislé vedení frézky. [5]
 - Mezi konzolové frézky patří i **nástrojařské frézky**. Ty umožňují frézovat plochy skloněné pod různými úhly a vytvářet tak složité obrobky, jako např. řezné nástroje, formy apod. Stůl těchto frézek se, kromě běžných pohybů, může otáčet kolem svislé a vodorovné osy. Vřeteník je uložen v posuvném rameni. Pracovní hlava s vřetenem se může natáčet kolem vodorovné osy. K těmto frézám se dodává bohaté příslušenství pro upínání nástrojů a různá přídatná zařízení. [5]
 - **Kopírovací frézky** slouží k obrábění složitých prostorových tvarů podle předem připraveného modelu. Mohou to být buď speciálně upravené běžné konzolové frézky, jejichž jeden nebo dva pracovní pohyby jsou ovládány kopírovacím zařízením, nebo jsou to frézky speciálně pro tento účel vyrobené. Význam kopírovacích frézek se snižuje, jsou nahrazovány frézky numerickým řízením NC. [5]

1.2.2 Rovinné frézky

Liší se od konzolových tím, že se pracovní stůl pohybuje pouze v podélném směru po pevném loži. Po svislém stojanu frézky se pomocí pohybového šroubu pohybuje vřeteník. Příčně se pohybuje nástroj vysouváním pinoly z vřeteníku. Rovinné frézky se vyrábějí s jedním vřeteníkem nebo mohou mít druhý stojan s vřeteníkem na opačné straně stolu. Vřeteníky jsou na sobě nezávislé a mají samostatnou převodovku i motor. [5]

Na rovinných frézách se obrábějí rovinné plochy větších součástí zejména frézovacími hlavami, čelními a kotoučovými frézky a skládanými frézami. [5]

Velké a těžké součásti se obrábějí na **rovinných portálových frézách**. Portálová frézka má oba stojany spojeny s příčnickem se svislým posuvem. Na něm je jeden nebo dva samostatné vřeteníky. Obrobek se upíná na pracovní stůl s podélným posuvem. Portálové

frézky patří mezi nejvýkonnější frézovací stroje. Jako nástrojů se většinou užívá velkých frézovacích hlav. [5]

1.2.3 Speciální frézky

Tvoří rozsáhlou řadu typů, určených pro různé speciální frézovací operace. Patří sem např. frézky na ozubení, na závity, na drážky, na vačky, pantografické frézky apod. [5]

- **Frézky na drážky** – mají vřeteník posuvný ve vedení rovnoběžném s podélným posuvem stolu a umožňují posuvem vřeteníku frézovat drážky a pera do hřídelů [5]
- **Frézy na vačky** – frézují tvary vaček nebo drážek v křivkových bubnech podle šablon neb modelů. [5]
- **Pantografické frézky** – slouží obvykle k frézování písmen, číslic neútvárových ploch podle šablon. [5]
- **Frézky NC a CNC** – číslicově řízené obráběcí frézky jsou stroje, které opracovávají součásti frézováním a jejich činnosti jsou řízeny automaticky zadáváním povelů v číselné (hodnotové) podobě z počítačového programu. Obrábění na těchto frézkách je obdobné a je i obdobný sled činností jako u ostatních druhů frézek. [5]

1.3 Frézy

Jsou to několikabřité rotační nástroje. Každý břit je jednoduchý soustružnický nůž, který je po určitou dobu ve styku s obráběným materiálem. Břity mohou být umístěny na kuželové, válcové nebo jiné tvarové ploše. [4]

Frézy dělíme z různých hledisek – zejména podle umístění břitů, tvaru zubů, průběhu ostří, upínání a konstrukce. [5]

- Podle toho, zda jsou umístěny břity fréz na válcové, rovinné, kuželové, kulové nebo tvarové ploše, se dělí frézy na:
 - **Válcové** – s břity na válcové ploše
 - **Čelní** – s břity na válcové a čelní ploše
 - **Kotoučové** – s břity na válcové a obou čelních plochách
 - **Kuželové** – s břity na jedné nebo dvou kuželových plochách

- **Tvarové** – s břity na tvarových plochách, např.: zaoblovací frézy, frézy na závit, frézy na ozubení (odvalovací a modulové) apod. [5]
- Podle tvaru zubů jsou frézy:
 - **S frézovanými zuby** – zubové mezery se frézují kuželovými frézami
 - **S podsoustruženými zuby** – hřbety zubů těchto fréz se obrábějí na tzv. podtáčecích soustruzích a mají tvar Archimédovy spirály; používají se zejména u tvarových fréz. [5]
- Podle průběhu ostří zubů frézy:
 - **S přímými zuby** – mají zuby rovnoběžné s osou
 - **Se zuby do šroubovice** – pravotočivé nebo levotočivé. [5]
- Podle upínání dělíme frézy na:
 - **Stopkové** – s kuželovou stopkou (kužel Morse nebo ISO) nebo s válcovou stopkou
 - **Nástrčné.** [5]
- Podle konstrukce rozeznáváme frézy:
 - **Celistvé (monolitní)**
 - **S výměnnými břitovými destičkami** – se zuby z rychlořezných ocelí, slitinutých karbidů, příp. i z řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru
 - **Skládané** z více samostatných fréz – slouží pro frézování složitých tvarů. [5]

1.3.1 Nástroje využívané pro CNC obrábění

Frézy se vyrábí z klasických rychlořezných ocelí, kam patří HSS, HSSCo5, HSSCo8 a HSSE-PM. Pro zvýšení užité hodnoty fréz se povlakují, např. TiAlN. Frézy odpovídají normám DIN a ČSN, popř. PN. [17]

Výrobní sortiment zahrnuje širokou nabídku nejen stopkových fréz (válcové, drážkovací, kopírovací), ale i frézy s Morse kuzelem, strmým kuzelem, frézy tvarové se stopkou i s otvorem, kotoučové frézy a v neposlední řadě též frézy speciální dle požadavků zákazníka lze vyrobit frézu na míru. [17]

Frézy mohou být:

- Válcové čelní,
- pro drážky,
- tvarové,
- válcové čelní – Morse kužel,
- kopírovací,
- válcové čelní nástrčné,
- kotoučové,
- tvarové s otvorem. [17]

Charakteristika ocelí:

- **HSS** - Rychlořezná ocel středního výkonu, vhodná z hlediska houževnatosti na frézy menších průměrů a frézování materiálů do pevnosti 900 MPa. [17]
- **HSSE** - Litá, vysoce výkonná rychlořezná ocel s dobrou houževnatostí, vhodná především pro nástroje větších průměrů a kotoučové frézy. [17]
- **HSS Co5** - Vysoce výkonná rychlořezná ocel s dobrou houževnatostí pro frézy a pro frézování materiálů do pevnosti 1200 MPa. [17]
- **HSS Co8** - Vysoce výkonná ocel s dobrou houževnatostí a výbornou teplotní odolností. Vhodná především pro frézování vysoce pevných materiálů, austenitických ocelí, ocelí pro tváření za tepla atd. [17]
- **HSSE-PM** - Vysoce výkonná ocel vyrobená pomocí práškové metalurgie. Má homogenní strukturu, která se projevuje vyšší rozměrovou stálostí a trvanlivostí ostří nástroje. Vhodná pro obrábění vysoce pevných a těžce obrobitelných materiálů jako např. titanu a jeho slitin. Frézy z této oceli se standardně dodávají s povlakem AlTiN. [17]

1.3.2 Nástrojové materiály

Celistvé frézy se vyrábějí z rychlořezných ocelí buď obráběním, nebo přesným litím, frézy menších rozměrů se vyrábějí jako celistvé ze slinutých karbidů. [5]

Frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami mají zuby tvořené vyměnitelnými destičkami z rychlořezné oceli, slinutého karbidu, řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru. Těleso frézy je vyrobeno z konstrukčních ocelí vyšší pevnosti.

Břítové destičky mohou být k tělesu připájeny nebo různými způsoby mechanicky upnuty. [5]

Pro obrábění litiny se někdy používají frézy s mechanicky upínanými keramickými břitovými destičkami. Pro obrábění kalených ocelí lze použít frézy s destičkami z polykrystalického nitridu boru. [5]

1.3.3 Povlakované nástroje

Hlavním přínosem PVD povlaků je zvýšení životnosti a produktivity fréz při třískovém obrábění. Povlaky se vyznačují:

- vysokou povrchovou tvrdostí,
- vysokou odolností vůči otěru,
- snížením koeficientu tření,
- snížením přenosu tepla do nástroje. [17]

Zjednodušeně řečeno je možné zvýšit standardní řeznou rychlost nepovlakovaného nástroje 1,3 x (u TiN), 1,4 x (u TiCN) a 1,5 x (u TiAlN, AlTiN). Tyto hodnoty jsou pouze orientační, protože záleží na mnoha dalších faktorech, jako je chlazení, vhodný stroj, správná volba povlaku pro obráběný materiál atd. [17]

Pro nanášení tvrdých otěruvzdorných povlaků na nástroje se používá technologie katodového obloukového napařování, která je nejpoužívanější ve světě. Povlakování je realizováno na švýcarské technologii Platin. [17]

Dodavatelem povlaků je společnost LISS a.s (www.liss.cz). [17]

1.3.3.1 Charakteristika vybraných povlaků:

- **TiN** - základní povlak. Používá se pro obrábění nízkými řeznými rychlostmi a obrábění ocelí s nízkou pevností. Má výbornou odolnost vůči adhezivnímu opotřebení. Ve srovnání s nepovlakovanými nástroji vykazuje o 30-40% větší trvanlivost ostří. [17]
- **TiCN** - povlaky s vysokou odolností vůči otěru a s velmi nízkým koeficientem tření. Povlak je vhodný pro frézování ocelí se středním obsahem uhlíku, s nižší až

střední pevností. Ideální povlak pro frézování šedé litiny. Povlak vykazuje vysokou tvrdost a současně dobrou houževnatost. Důležitým faktorem pro efektivní obrábění u tohoto povlaku je kvalitní chlazení. [17]

- **TiAlN** - univerzální povlak pro obrábění celé škály materiálů středních a vyšších pevností středními a vyššími řeznými rychlostmi. Má výborný poměr tvrdosti a houževnatosti díky multivrstvé struktuře. Díky vyšší oxidační odolnosti a tvrdosti za vysokých teplot, nevyžaduje dokonalé chlazení. [17]
- **AlTiN** - povlak s velmi vysokou oxidační odolností vhodný pro náročné aplikace jako jsou frézování vysokými řeznými rychlostmi, popřípadě frézování bez chlazení. Povlak je vhodný například tvárné litiny, oceli vysokých pevností, případně ocelí pro kování. [17]
- **AlTiCrN** - povlak pro náročné frézování materiálů s vysokou odolností proti otěru za tepla. [17]
- **nACRo** - nová generace nanokompozitního povlaku s vysokou tvrdostí a oxidační odolností. Vhodné pro obrábění těžko obrobitelných materiálů jako jsou slitiny titanu a teplotně odolné slitiny. [17]
- **CrN** - speciální povlak pro obrábění čistých nezelezných kovů jako jsou hliník a měď. Povlak zabraňuje lepení obráběného materiálu na nástroj. [17]

1.3.4 Trendy ve vývoji fréz

Některé typy fréz z rychlořezných ocelí, zejména válcové a čelní frézy větších průměrů, se v poslední době již v podstatě nepoužívají. Tyto frézy jsou nahrazeny frézovacími hlavami s vyměnitelnými břitovými destičkami. Vysoce výkonné čelní frézy až do průměru kolem 25 mm se vyrábějí jako celistvé, ze slinutých karbidů nebo stelitů, metodami práškové metalurgie. [5]

Pro snížení náchylnosti ke vzniku chvění se některé frézy vyrábějí s nepravidelnou roztečí zubů nebo se zuby ve šroubovici. [5]

Velké frézovací hlavy a čelní válcové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami vyžadují značně tuhé obráběcí stroje vysokých výkonů. Do frézovací hlavy lze též upnout jednu tzv. hladicí destičku (má velmi malý úhel nastavení vedlejšího ostří), čímž se dosáhne i při hrubování poměrně velmi kvalitního povrchu. [5]

1.3.5 Ostření fréz

Celistvé frézy a frézy s pájenými břity je třeba po otupení přeastřit. Pro ostření fréz z rychlořezných ocelí se používají buď klasické brousící kotouče z oxidu hlinitého, zrnitosti 32 až 25, nebo moderní brousící kotouče z kubického nitridu boru. Pro ostření fréz ze slinutých karbidů se používají kotouče z karbidu křemíku, zrnitosti 40 až 25, nebo moderní diamantové brousící kotouče (DIA kotouče). [5]

Frézy s podsoustruženými zuby se ostří na hřbetě zubu hrncovým nebo miskovým brousícím kotoučem. Zub se při tom opírá o opěrku, která je níže než osa frézy. Výškou opěrky se nastaví velikost úhlu hřbetu. Při ostření se fréza posouvá ve směru osy podél stojící opěrky a zub se k opěrce přitlačuje. Tak lze ostřit i zuby ve šroubovici. [5]

Frézy s podsoustruženými zuby se ostří na čele zubu; tím se zachová tvar profilu frézy. Ostří se talířovým brousícím kotoučem, u přímých zubů plochou stranou a u zubů do šroubovice kuželovou stranou kotouče. [5]

U moderních ostřících strojů s řízením CNC se používají obvykle kotouče PKBN nebo DIA, které mají vysoký výkon zejména velkou trvanlivost. Na těchto přístrojích je ostření ploch řízeno programem. [5]

1.3.6 Upínání nástrojů a obrobků

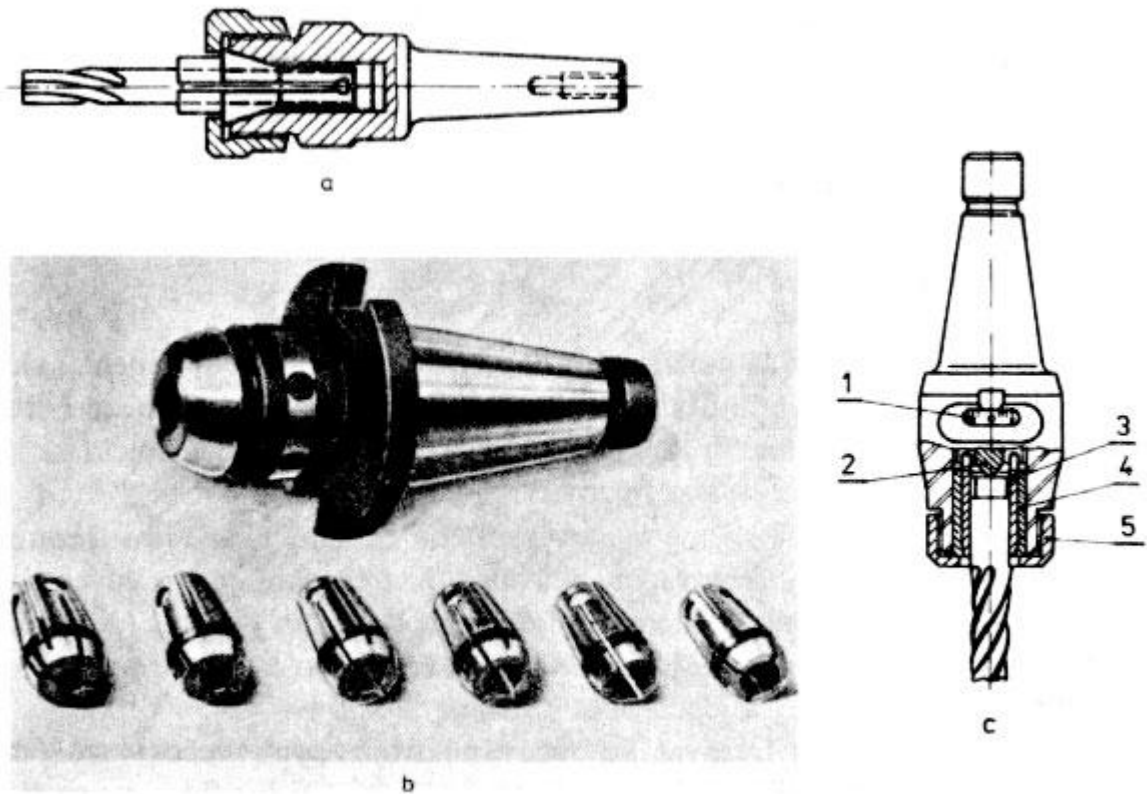
Důležitou podmínkou kvalitního frézování je minimální axiální a radiální házení frézy. To je u ostřených fréz dáno házením trnu a nepřesnostmi upnutí a ostření, u fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami kromě nepřesností upnutí i výrobními tolerancemi tělesa frézy a destiček. Axiální a radiální házení by se mělo pohybovat v setinách milimetrů. Upnutí nástroje musí zaručit maximální tuhost a minimální radiální a axiální házení nástroje. [5]

1.3.6.1 Upínání fréz:

- Frézy s válcovou stopkou se upínají do sklíčidla s upínací kleštinou. [5]
- Frézy s kuželovou stopkou ISO se upínají buď přímo, nebo s redukcí do vřetene frézky. Upnutí je jištěno šroubem, procházejícím vrtáním vřetene. Točivý moment se přenáší třením a unášecími kameny. [5]

- Frézy se stopkou Morse se upínají do vřetene přímo nebo pomocí redukce a jistí se stejně jako frézy se stopkou ISO. Točivý moment se přenáší pouze třením. [5]

Upínání fréz s válcovou stopkou



a – fréz upínací hlavičkou, b – upínací hlavička se sadou vyměnitelných pouzder, c – upínací hlavička pro NC frézky, 1 – axiální zabezpečení, 2 – středící hrot, 3, 4 – pouzdro, 5 – matice

Obr. 2. Upínání fréz [16]

1.3.6.2 Upínání obrobků:

Obrobek se upíná na pracovní stůl frézky. Upínání obrobků musí být dostatečně tuhé, aby zaručilo nehybnost obrobku a odolnost proti vzniku chvění. Obrobek však nesmí být upínací silou deformován. [5]

K upínání se používají:

- Strojní svěráky ovládané ručně, pneumaticky nebo hydraulicky. [5]
- Upínky se šrouby a opěrkami. [5]
- Jednoúčelové upínací přípravky. [5]
- Stavebnicové upínací přípravky. [5]

Při navrhování upnutí obrobku je třeba uvažovat předpokládaný směr působení řezné síly, její velikost a proměnlivost. [5]

1.3.7 Řezné podmínky

Stejně jako při soustružení je volba řezných podmínek závislá na vlastnostech nástroje, stroje, obrobku i prostředí a na požadovaných parametrech frézovaných ploch obrobku. Je proto vhodné se řídit doporučeními výrobce nástrojů, uváděnými v katalogích a příručkách. [5]

Řezné podmínky při frézování s orientačními hodnotami jsou uvedeny v tab. 1.. Hodnoty jsou stanovena pro středně těžké obrábění s hloubkou řezu 4 až 6 mm. Při hrubování se může hloubka řezu pohybovat od 10 do 20 mm i více, při obrábění načisto 0,5 až 2 mm. [5]

Posuv na zub by neměl klesnout pod 0,05 mm – pak už se začíná projevovat vliv poloměru ostří břítu nástroje; to platí zejména pro nástroje s břitzy z povlakovaných karbidů. [5]

Na frézce se volí otáčky vřetene a rychlost posuvu stolu, ostatní požadované hodnoty je nutné vypočítat. [5]

Tab. 1. Řezné podmínky při frézování

Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Materiál nástroje	Frézovací hlavy		Čelní válčové frézy		Kotoučové frézy		Tvarové frézy		Chlazení
			v_c (m.min ⁻¹)	s_z (mm)	v_c (m.min ⁻¹)	s_z (mm)	v_c (m.min ⁻¹)	s_z (mm)	v_c (m.min ⁻¹)	s_z (mm)	
Ocel 500 až 800 MPa	13 až 14b	RO	30	0,1 až 0,3	26	0,1 až 0,25	25	0,15 až 0,3	25	0,05 až 0,15	ano
		SK	200	0,1 až 0,3	180	0,1 až 0,25	170	0,1 až 0,25			ne
Ocel 800 až 1 000 MPa	11 až 12b	RO	20	1,1 až 0,2	18	0,1 až 0,2	20	0,1 až 0,2	22	0,03 až 0,1	ano
		SK	160	0,1 až 0,3	150	0,1 až 0,3	150	0,1 až 0,3			ne
Šedá litina HB 200	11a	RO	35	0,1 až 0,25	30	0,1 až 0,25	30	0,1 až 0,2	25	0,05 až 0,15	ne
		SK	150	0,1 až 0,35	130	0,1 až 0,3	130	0,1 až 0,3			ne
Slitiny mědi HB 90		RO	50	0,2 až 0,4	40	0,1 až 0,25	60	0,1 až 0,3	50	0,05 až 0,2	ne
		SK	280	0,1 až 0,35	250	0,1 až 0,35	250	0,1 až 0,35			ne
Slitiny hliníku HB 100		RO	220	0,1 až 0,3	250	0,1 až 0,3	120	0,1 až 0,2	160	0,05 až 0,2	ne
		SK	550	0,15 až 0,4	450	0,1 až 0,35	450	0,1 až 0,35			ano

Velikost řezné rychlosti v_c , tedy obvodové rychlosti frézy,

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

kde D je průměr frézy (mm), n – otáčky vřetene (min^{-1}). [5]

Rychlost posuvu stolu frézky v_f se udává v $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Z hlediska záběru zubů je důležitější hodnota posuvu na zub f_z :

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (\text{mm}), \quad (2)$$

kde z je počet zubů frézy. [5]

Posuv na otáčku f představuje dráhu, kterou urazí obrobek za jednu otáčku frézy:

$$f = f_z \cdot z \quad (\text{mm}). \quad (3)$$

Průřez třísky, odebírané jedním zubem frézy, je

$$f_z = a \cdot b \quad (\text{mm}^2), \quad (4)$$

kde a je tloušťka třísky (mm), b – šířka třísky (mm). [5]

Maximální průřez třísky odebírá zub frézy v okamžiku, kdy je tloušťka třísky maximální:

$$f_{z \max} = a_{\max} \cdot b. \quad (5)$$

Průřez třísky odebíraný jedním zubem válcové nebo kotoučové frézy s přímými zuby. Pro obecnou polohu zubu, danou úhlem φ_1 , je tloušťka třísky:

$$a_1 = f_z \cdot \sin \varphi_1 \quad (\text{mm}) \quad (6)$$

a plocha průřezu třísky odebrané jedním zubem:

$$s_1 = a_1 \cdot B \quad (\text{mm}^2). \quad (7)$$

U čelní frézy určíme plochu průřezu třísky obdobně:

$$s_1 = a_1 \cdot h \quad (\text{mm}^2). \quad (8)$$

Řezné síly působící na zub frézy. Hlavní složkou řezné síly F_{ci} , působící na jeden zub frézy, vypočteme z měrného řezného odporu p a plochy průřezu S odebírané třísky:

$$F_{ci} = p \cdot S \quad (\text{N}). \quad (9)$$

Točivý moment M_k na fríze:

$$M_k = \frac{d_f}{2} \sum_1^{z'} F_{ci} \quad (\text{m} \cdot \text{N}), \quad (10)$$

kde z' je počet zubů frézky v záběru, d_f – průměr frézy. [5]

Počet zubů frézy v záběru

$$z' = \frac{\varphi_{max}}{\frac{2\pi}{z}}, \quad (11)$$

kde φ_{max} je záběrový úhel frézy, z – počet zubů frézy. [5]

Efektivní výkon potřebný pro frézování

$$P_{ef} = v_c \cdot \sum_1^{z'} F_{ci} \quad (\text{W}). \quad [5] \quad (12)$$

Efektivní výkon dráhy, kterou musí obrobek přejet při frézování válcovou frézou, se určí ze vztahu:

$$l_{th} = \sqrt{h \cdot (d_f - h)} + l. \quad [5] \quad (13)$$

Při hrubování čelní frézou je nutná teoretická dráha:

$$l_{th} = l + 0,5d_f - 0,5 \sqrt{d_f^2 - (B + 2e)^2}. \quad [5] \quad (14)$$

Při obrábění načisto, kdy záleží na vzhledu obrobenej plochy, se přejíždí celá délka obrobku, pak je délka teoretické dráhy:

$$l_{th} = l + d_f. \quad [5] \quad (15)$$

1.3.8 Dosahované parametry

Velký sortiment nástrojů a řada způsobů frézování umožňují dosáhnout široké škály jakosti obrobenej plochy. Kromě geometrie nástroje a způsobu frézování je přesnost rozměrů a tvaru i jakost obrobenej povrchu ovlivněna mnoha dalšími parametry, jako jsou řezné podmínky, přesnost seřízení nebo naostření nástroje, tuhost stroje atd. [5]

V následující tabulce jsou uvedeny některé orientační hodnoty dosahované přesnosti a drsnosti. Použitím speciálních úprav geometrie břitu (např. nulovým úhlem nastavení vedlejšího ostří) lze docílit i podstatně lepších hodnot drsnosti povrchu. Drsnost povrchu závisí výrazně i na velikosti posuvu a řezné rychlosti, na poloměru špičky břitu nástroje apod. dosažitelná přesnost záleží významně na tuhosti a přesnosti obráběcího stroje. [5]

Tab. 2. Dosažitelné přesnosti v závislosti na způsobu frézování

Způsob frézování	Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra (μm)
Válcovou frézou RO		
hrubování	10 až 13	6,3 až 25
načisto	8 až 11	1,6 až 6,3
Čelní frézou RO		
hrubování	10 až 13	6,3 až 25
načisto	6 až 11	1,6 až 3,2
Frézovací hlavou s břity SK	7 až 11	1,6 až 6,3

2 CA.. TECHNOLOGIE V NAVRHOVÁNÍ A VÝROBĚ (CAD/CAM)

Jedná se o implementaci výpočetní techniky a programového vybavení v procesu navrhování výrobku. [6]

2.1 Důležitost CA.. technologií v současné praxi

Současný vývoj návrhu a výroby tvarových součástí ve spotřebním, automobilovém a leteckém průmyslu je silně podporován 3D CAD systémy. Tyto systémy umožňují vytvářet 3D objemové modely, které dále slouží jako základ pro generování NC dat (CAM) nebo další analýzu (CAA). Počítačový 3D model se dnes stává nutností v procesu návrhu, analýzy a výroby součástek. [6]

Z historického pohledu je nasazení 2D a 3D systémů diametrálně odlišné. Zatímco 2D systémy měly nahradit rýsovací desku elektronickým archem papíru, čímž se usnadnilo jednodušší změnové řízení a úspornější archivace dat, v 3D systémech se 2D „stalo jen“ modulem pro generování výkresové dokumentace, resp. rozkreslením sestavy do 2D. [6]

Smyslem 3D modelu se stává návrh součástí, který je možné vizualizovat, podrobit analýze nebo vygenerovat z něj data pro numericky řízený stroj (NC). 3D model je nutností v procesu návrhu, analýzy a výroby součástí; je to vlastně základ veškerého návrhu. Při používání těchto systémů je snaha odbourávat výkresovou dokumentaci v procesu výroby. Vyrábí se nikoliv na základě vygenerované výkresové dokumentace, kterou následně musí analyzovat v nástrojárně a v mnoha případech na základě řezů vyrábět šablony a tak realizovat výrobu tvaru. Trend je vyrábět přímo na základě vygenerovaných NC dat z počítačového modelu. Některé náročné tvary se klasicky obrobí ani nedají, resp. velmi dlouhou a náročnou cestou. [7]

Z uvedeného vyplývá, že znalost 3D CAD systémů se dnes stává nutností pro absolventa, který se chce uplatnit v praxi. Možnosti uplatnění jsou v koncernech ŠKODA, TOYOTA, HYUNDAI v Čechách a VW, KIA na Slovensku, z čehož vyplývá i potřeba subdodavatelů pro tyto koncerny. [6]

2.2 Smysl použití a způsob práce v CAD systémech

Na začátku je většinou myšlenka, která se za pomoci tužky dává na papír. V minulosti se takto „položená myšlenka“ na papír – skica, tvořila na rýsovací desce, čímž vznikla výkresová dokumentace pro zajištění výroby produktu. [6]

Později se kreslilo na počítači ve 2D – vektorově, kde bylo rýsovací prkno nahrazeno elektronickým „archem papíru“. Ušetřila se práce, která vznikla při chybě, změně tvaru nebo rozměru takto definované součástky. 2D systémy tento problém odstranily, změna se uskutečnila na monitoru počítače a výkres se znovu vyplotoval. [6]

Později se objevily parametrické 3D CAD systémy. V 3D velkých CAD systémech se nejdříve vytvoří 3D model součástky, případně sestava celého výrobku. Další výhodou je, že na stejném projektu může pracovat několik lidí současně. Vytvořený model je možné vizualizovat, analyzovat pevnost pomocí (FEM) a následně generovat buď výkresovou dokumentaci, nebo NC data pro jeho výrobu. [6]

Návrh a fotorealistické ztvárnění výrobku umožní výrobcí udělat průzkum, zda výrobek má požadovaný tvar, kterým zaujme a také otestovat vhodnost povrchových úprav a barevných řešení. Kromě fotorealistické vizualizace je možné z CAD dat za pomoci rapid prototyping vyrobit i „hmatatelný“ model. Toto se děje ještě v době, kdy potencionální zájemce o produkt netuší, že se jedná jen o „virtuální“ realitu. Za pomoci komentářů, nebo výhrad k tvaru a estetice výrobku se provedou úpravy na virtuálním modelu a může se začít s výrobou nástrojů pro sériovou výrobu. Vzhledem k tomu, že toto vše probíhá v CA.. systémech, za pomoci CAM modulů, data pro výrobu nástrojů a přípravků jsou jimi generované. Většinou jde o výrobu tvarů forem pro lisování plechů nebo tvarů dutin a vložek do forem pro vstřikování plastů. [6]

3D model se vytvoří přidáváním nebo odebráním objemu – prvků, které se nám zobrazují v tzv. stromu produktu. Tento strom můžeme nazvat i stromem součásti nebo stromem posloupnosti tvorby modelu. [6]

Kromě toho, že většinou je vždy několik způsobů-přístupů, kterými můžeme získat konečný tvar 3D model, rovněž je vždy několik způsobů, jak můžeme vytvořit jednotlivé prvky, které 3D model tvoří. Variabilita tvorby jednotlivých prvků však nemá na další používání vytvořeného 3D modelu žádný vliv. [6]

2.3 CA.. přístupy v procesu návrhu a výroby součástí

Při návrhu a výrobě dílů jak ve spotřebním tak i automobilovém průmyslu je důležitá nejen správná funkčnost, ale i jejich estetická podoba.

2.3.1 Implementace CA.. technologií v procesu návrhu a výroby automobilů

Výrobky automobilového a spotřebního průmyslu jsou charakteristické využitím estetického tvarování. V praxi to znamená, že na vytváření jejich tvarů se nevyužívají formální parametry, ale působení na lidské pocity. K hlavním kritériím při konečném schvalování výrobku patří vizuální posouzení výsledného tvaru. Nositelem tvaru jsou většinou plechové a plastové díly automobilů. Z tohoto faktu vyplývají stále větší nároky na technologie tvarování plechů a zpracování plastů. Návrh, konstrukce, analýza a výroba komponentů v těchto průmyslových odvětvích je nemyslitelná bez využití CA.. technologií a s nimi souvisejícími CA.. přístupy navrhování a výroby pomocí CNC. [6]

2.3.2 Nástroje pro výrobu výlisků

Výroba finálního tvaru v technologiích vstřikování plastů se děje za pomoci nástroje, který nazýváme formou. Při výrobě dílů z plechu se využívají lisovací nástroje. Jedna část nástroje má negativní tvar (negativní část formy), při čemž druhá část nástroje má tvar pozitivní (pozitivní část formy), zmenšený o tloušťku zpracovávaného materiálu. Formu zpravidla vyrábíme frézováním z počítačového modelu pomocí CNC techniky. [6]

2.3.3 Návrh a výroba v současnosti

S nástupem CA.. technologií nastal desénový a konstrukční boom, promítající se i do procesů návrhů a výroby v automobilovém průmyslu. To současně s nástupem výkonné CNC techniky a progresivních technologií zpracování materiálů, umožňuje hromadně vyrábět součástky, které byly klasickou cestou za přijatelných nákladů nevyrobitelné. [6]

Tvar výrobků se získává vytvořením počítačového modelu v grafickém prostředí CAD systému. Modely vytváří přímo zadaný CAD designér nebo CA modelář na základě skic a návrhů designéra. [6]

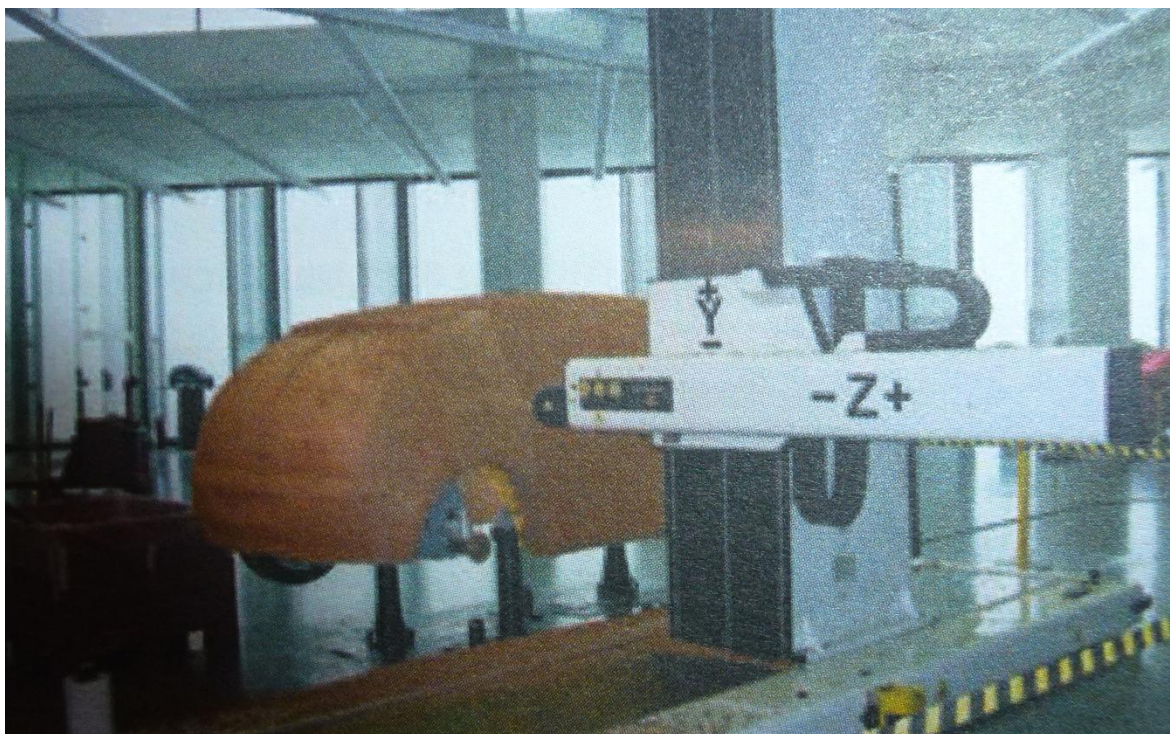
2.3.3.1 Kopírování na bázi virtuálního modelu: CAD/CAM – CNC

Z tvarů získaných v CAD systému se za pomoci modelů CAM systémů generují data pro NC výrobní techniku. Tímto postupem lze přenést tvary výchozího modelu do nástrojů – forem pro vstřikování plastů, lisovacích nástrojů, elektrod pro elektroerozivní obrábění apod. [6]

Výroba nástrojů pro výrobu tvarů se dnes převážně vyrábí na základě virtuálního modelu získaného buď přímým modelováním, nebo pomocí *reverse engineeringu*. [6]

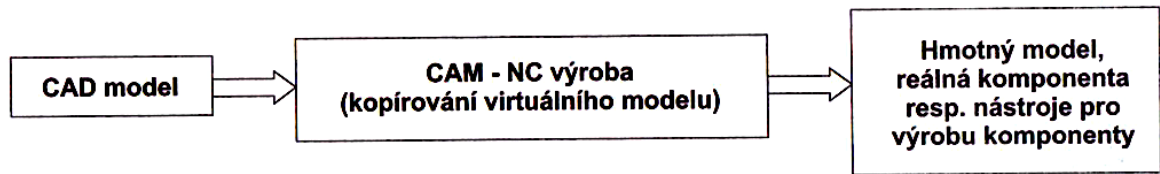
Na základě CAD modelu jsou CAM systémem generována NC data, která jsou popisem souřadnic povrchu modelu, po kterém musí nástroj přejít, aby požadovaný tvar obrobil. Nejedná se o mechanické, elektro-mechanické nebo hydraulické systémy kopírovacích frézek, přenášejících tvar šablony do tvaru nástroje. Jde o moderní CNC frézovací centra, která na základě digitálních údajů požadovaný tvar činných částí nástroje vyrobí. Šablonou pro ně je již zmíněný CAD model, po jehož „povrchu“ je veden nástroj CNC stroje. [6]

Ukázka produkce modelu 1:1.



Obr. 3. Výroba makety 1:1 na CNC obráběcím stroji ve vývojovém centru PSA

[13]



Obr. 4. Schéma procesu výroby modelu a nástrojů na bázi CAD/CAM [6]

2.3.3.2 Hmotné modely

Přes masové nasazení CAD systémů designéři své první nápady vyjadřují formou skic. Na jejich vytváření se kromě tužky a papíru používají i dvojdimenzionální nástroje počítačové grafiky. Navzdory zavádění prostředků virtuální reality jsou stále využívány a oblíbené hmotné modely. Zhotovují se ručně z moderních modelovacích materiálů v různých měřítcích anebo se využívají možnosti CAM systémů v propojení a NC výrobní stroje. [6]



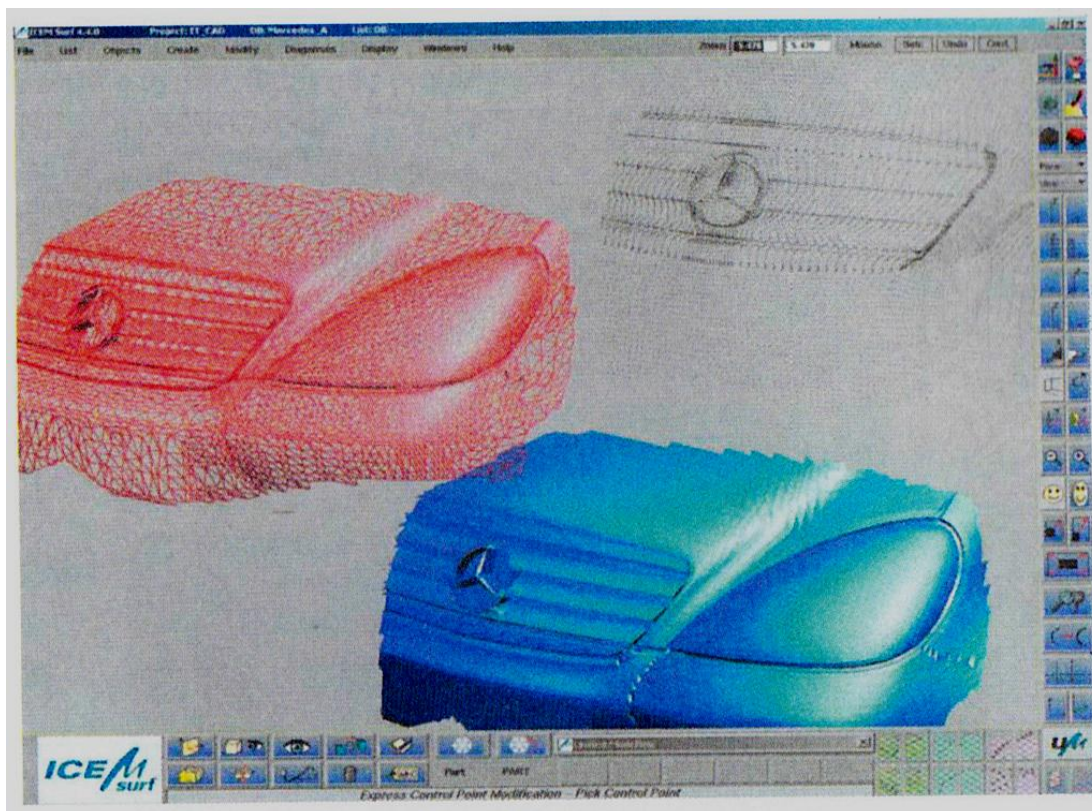
Obr. 5. Vytvoření hliněného modelu na základě skic [14]

2.3.3.3 Zpětné inženýrství – „Reverse Engineering“

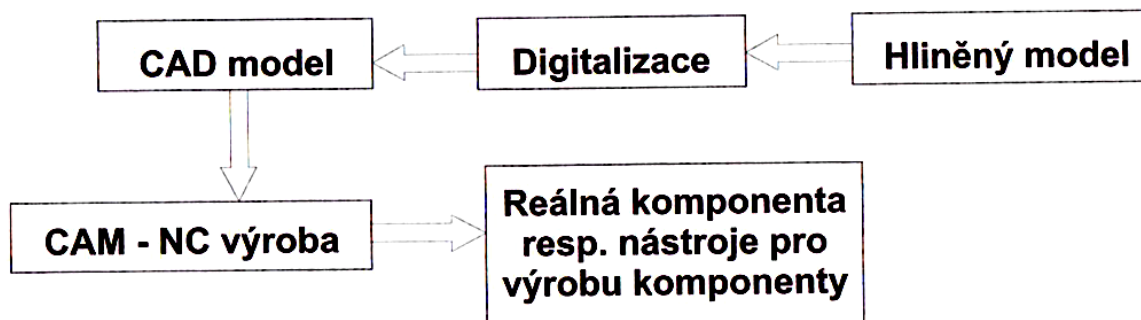
Ručně vytvořený model se později digitalizuje, aby se na základě CAD modelu vygenerovaly NC programy, pro výrobu nástrojů. V počítači také mohou probíhat různé analýzy budoucího automobilu. Proces tvorby nebo úpravy elektronické technické úpravy dokumentace na základě stávajících hmotných modelů (součástek) je označován jako zpětné inženýrství (reverse engineering). [6]

2.3.3.4 Digitalizace hmotného modelu

3D souřadnice se získávají nasnímáním souřadnic bodů hmotného modelu pomocí prostorového snímače souřadnic-skeneru. Pro potřeby „reverse engineeringu“ je v současnosti využíván princip bezdotykového snímání optickými nebo laserovými 3D skenery. Výsledkem měření je vysoký počet bodů s X, Y, Z souřadnicemi – tzv. „Mračno bodů“ (viz následující obrázek), obvykle exportovaných v datovém formátu STL k následnému zpracování. V další fázi je naměřený STL model převeden do plošných CAD dat. [6]



Obr. 6. „Mračno bodů“, triangulační síť a vyhlazený povrchový model [15]



Obr. 7. Schéma procesu reverse engineering s následnou výrobou nástrojů na bázi digitalizovaného modelu [6]

Kromě uvedeného výrazného rozšíření možností při výrobě prototypů přináší metoda digitalizace i možnost kontroly přesnosti samotné výroby. Naměřené souřadnice stanovených kontrolních bodů na součástce jsou srovnány s elektronickým modelem a v případě odchylek jsou potřebné korekce přeneseny do řídicího systému stroje, za účelem zvýšení přesnosti výroby. [6]

2.3.3.5 Modifikace – inovace

Mnohokrát návrháři modely dále ručně upravují. Upravené části modelu jsou za pomoci digitalizace zpětně „tahané“ do virtuálního prostředí CAD, aby se za pomoci CAM dala generovat data pro výrobu nástrojů na CNC strojích. Tento cyklus se ve skutečnosti může několikrát opakovat, dokud se nedospěje ke konečnému tvaru automobilu, resp. jeho dílu. [6]

Paralelně s tímto procesem se rozbíhají přípravy pro výrobu nástrojů a přípravků pro sériovou výrobu a montáž automobilu. [6]

Snahou této části bylo ve zhuťné a zjednodušené formě poukázat na principy CA.. přístupů při navrhování a výrobě tvarových součástí automobilu. Odborníci budou určitě namítat, že proces je mnohem složitější, nebo že probíhá trochu jinak. Každá automobilka má své know-how v této oblasti a navíc je tato problematika příliš obsáhlá pro rozsah jedné kapitoly. [6]

2.4 CA.. technologie obrábění pomoci CNC techniky

CAD/CAM systémy způsobily revoluci v oblasti návrhu a výroby forem v automobilovém i spotřebním průmyslu. Mnoho tvarů vložek lisovacích nástrojů není možné vyrobit klasickou cestou: model – kopírovací frézka. Zde je prostor pro použití CAD/CAM systémů pro vytvoření virtuálního modelu a vygenerování dat pro CNC obráběcí centra. [6]

Základy CNC řízení strojů sahají do druhé poloviny 50. let minulého století jako odpověď na výzvu amerického leteckého průmyslu. Jednalo se však o přímé programování řídicích systémů NC strojů. [6]

První veřejné představení NC stroje, řízeného za pomoci dat z CAD/CAM, se pravděpodobně konalo v roce 1972 na výstavě Machine Tool Exhibition v Olympii v New Yorku. [6]

2.4.1 Základní teorie NC řízení strojů

Princip CNC stroje spočívá v tom, že nástroj je veden na základě souřadnic z počítačového modelu, čímž se přenáší tvar modelu do polotovaru. Děje se tak na základě NC dat vygenerovaných CAM modulem na základě virtuálního CAD modelu. [6]

Dále bude stručně popsána základní teorie řízení NC resp. CNC strojů. [6]

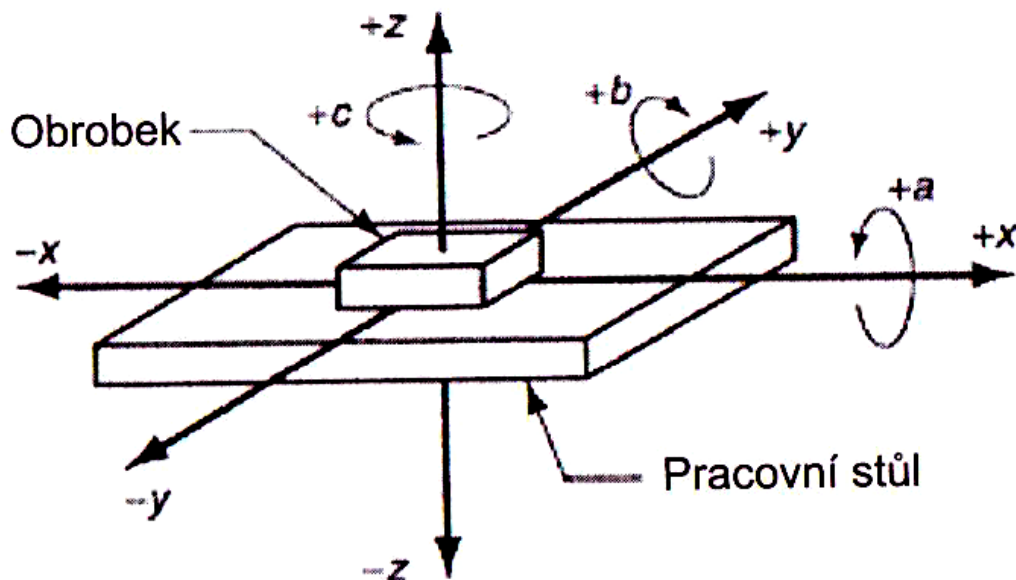
2.4.1.1 Numerický řídicí systém

Numerický řídicí (NC) systém je metoda řízení pohybu komponentů obráběcího stroje kódovanými instrukcemi ve formě alfanumerických dat. Řídicí systém stroje automaticky interpretuje tato data a převádí je do výstupních signálů. Tyto signály řídí jednotlivé komponenty stroje, jako jsou otáčky vřetena, výměna nástrojů, pohyb obrobku nebo nástroje po určené dráze, zapnutí nebo vypnutí chlazení nástroje emulzí. [8]

Tato data generuje většinou CAM systém ve tvaru APT. Je to všeobecný programovací jazyk NC strojů, kterými jsou popsány jednotlivé strojové instrukce jednoduchými

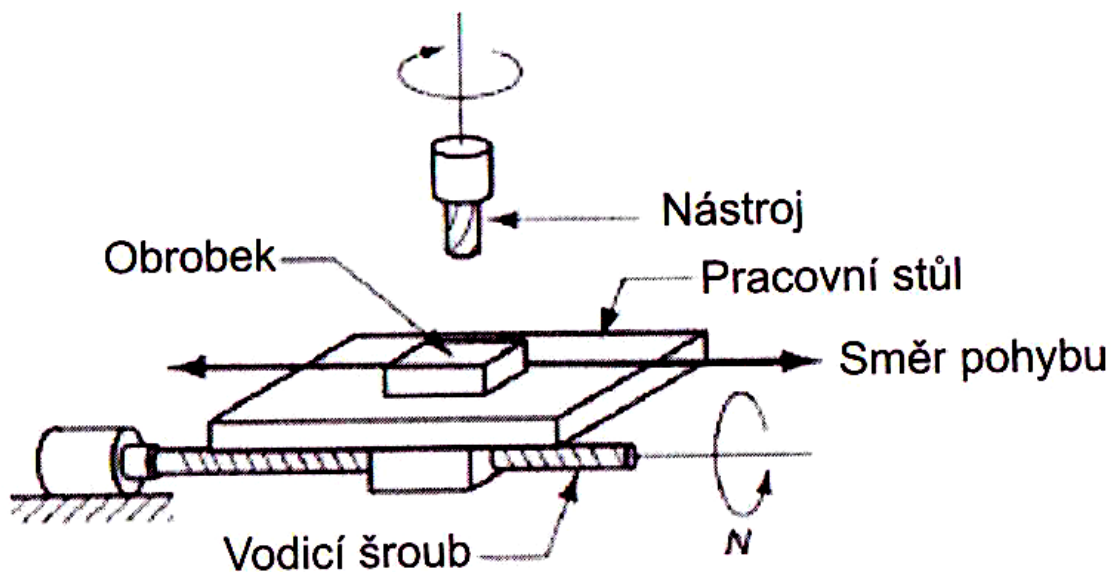
příkazy. Tento programovací jazyk vznikl v roce 1958 jako výsledek výzkumu v leteckém průmyslu v USA. [9]

Základem správné komunikace je vzájemná koordinace souřadnic souřadnicového systému CAD/CAM se souřadnicovým systémem obráběcího stroje. [9]



Obr. 8. Souřadnicový systém používaný v NC řízení [9]

Schéma NC polohovacího systému je na následujícím obrázku. [9]



Obr 9. Schéma polohovacího systému v NC řízení [9]

2.4.1.2 Základní data NC řízení

Základní data numerického řízení by se dala rozdělit takto:

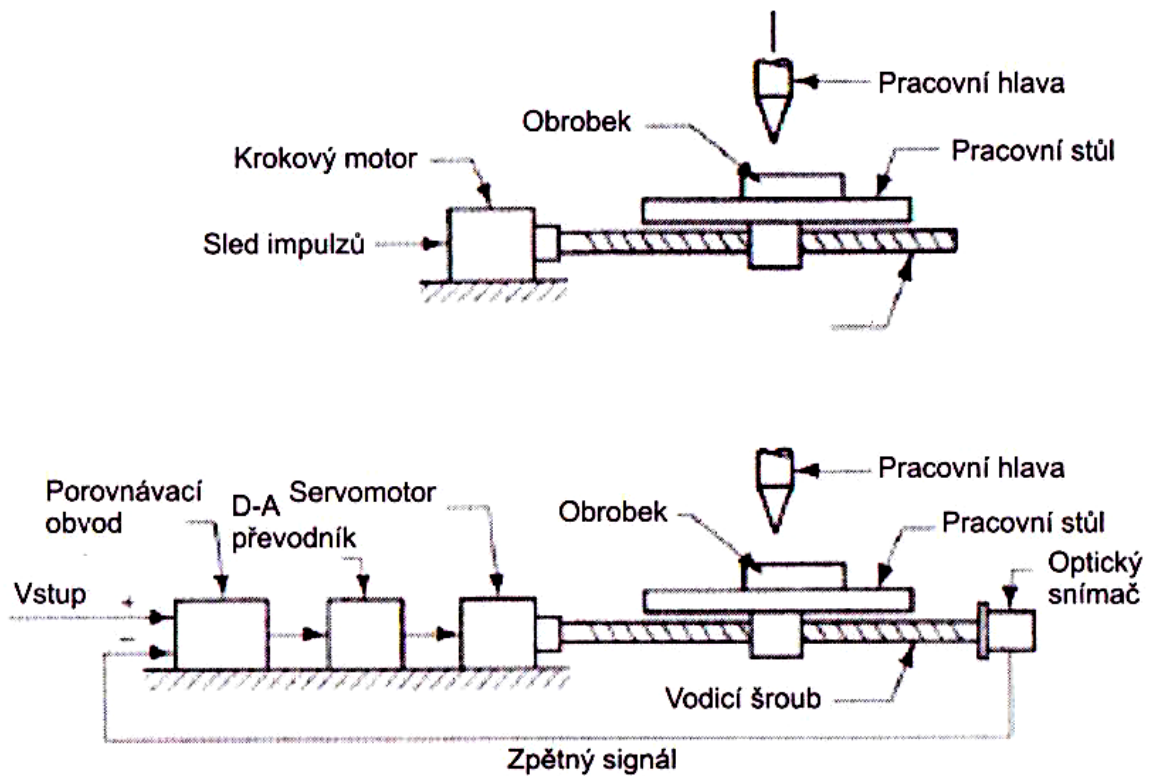
- **Vstupní data** – Numerické informace vygenerované CAD/CAM systémem, uložené na paměťovém médiu nebo přímo v paměti počítače. [6]
- **Procesní** – Řídící data načtená do řídicího systému stroje za účelem jejich zpracování. [6]
- **Výstupní data** – tyto informace jsou přeloženy do impulsních signál pro řízení pohonů stroje. Pohony řídí polohu pracovního stolu s obrobkem vzhledem k vřetenu stroje, roztáčí vřeteno s nástrojem, atd. [6]

2.4.1.3 Typy řídicích obvodů

Numericky řízené stroje mohou být řízeny dvěma typy řídicích obvodů: otevřeným obvodem nebo uzavřeným obvodem. [9]

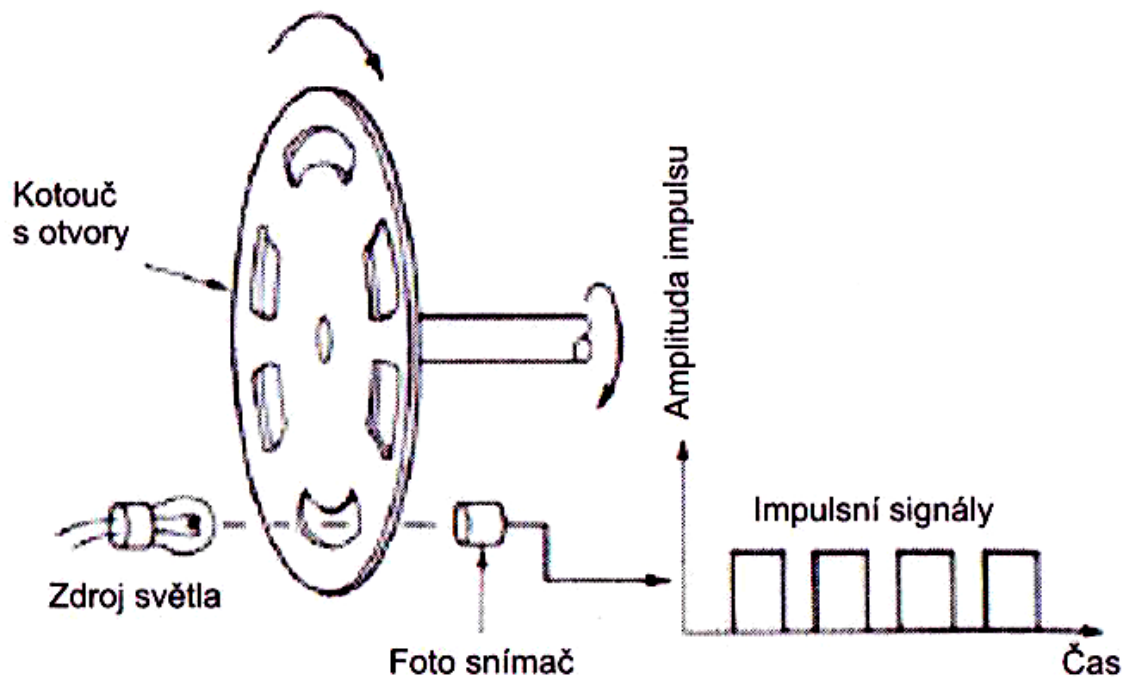
U systému řízení otevřeným obvodem signály k servomotoru posílá procesor, ale pohyb a cílová poloha pracovního stolu není kontrolována na přesnost. [9]

System řízení uzavřeným obvodem je vybaven různými měniči, snímači a počítačily, které přesně měří polohu. Skrze zpětnou kontrolu je poloha porovnána s vysílanými signály. Pohyb stolu je ukončen, když je dosaženo požadované polohy. Uzavřený systém řízení je však složitější a dražší oproti otevřenému systému. [9]



Obr. 10. Schéma otevřeného a uzavřeného obvodu řízeného pohybu [9]

Tyto systémy používají různé snímače založené na magnetickém nebo fotoelektrickém principu. [8]



Obr. 11. Princip práce fotoelektrického snímače [8]

2.4.1.4 Systémy řízení pohybu

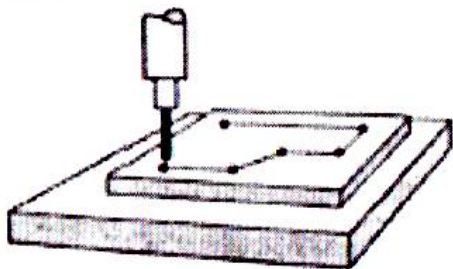
Systém řízení pohybu při NC se dá rozdělit na 2 typy:

- Systém z bodu do bodu. [6]
- Systém spojitě kontinuální dráhy. [6]

Při polohování systémem z bodu do bodu je pohyb nástroje nebo pracovního stolu realizovaný přemístěním do požadované polohy, neuvažujíc dráhu pohybu k dosažení požadované pozice. Když je pohyb do dané pozice ukončen, provede se obráběcí operace, nejčastěji vrtání. Jde vlastně o polohování nástroje do bodu, v němž se operace provádí. Většinou se provádí pohyb pouze v jedné ose, nikdy není pohyb ve dvou osách najednou. [8]

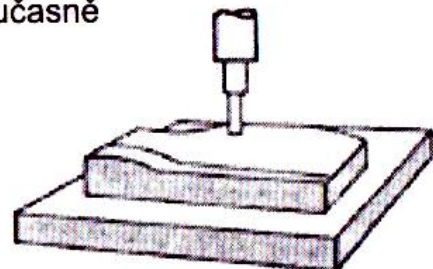
Při polohování systémem kontinuální dráhy se provádí pohyb ve více než jedné ose najednou. Tento systém umožňuje nástroji obrábět dvojdimenzionální křivky nebo trojrozměrné kontury. Takový systém se využívá hlavně při soustružení, frézování, broušení a řezání plamenem. [8]

pohyb z bodu
do bodu



vrtání, vyvrtávání

kontinuální pohyb
ve více osách
současně



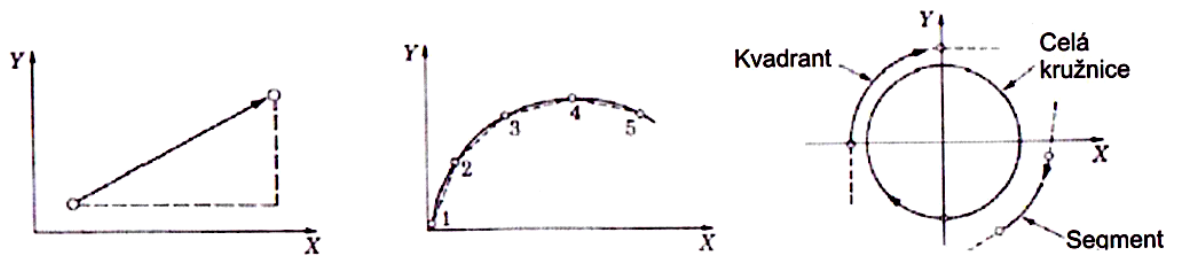
2D a 3D frézování

Obr. 12. Schematické ukázky systémů řízení pohybu [8]

Pohyb podél dráhy nebo interpolace se provádí inkrementálně, jednou z několika základních metod. [6]

Při lineární interpolaci se nástroj pohybuje po přímé dráze od startovacího bodu po koncový bod dráhy ve dvou nebo třech osách najednou. Teoreticky všechny typy profilů mohou být opracovány tímto druhem interpolace, tím, že zvolíme malou hodnotu vzdálenosti mezi dvěma body. Každá dráha může být aproximovaná krátkými úsečkami. [6]

Při kruhové interpolaci je nutné zadat souřadnice koncových bodů oblouku, střed kružnice, rádius kružnice a orientaci pohybu nástroje podél oblouku. [8]

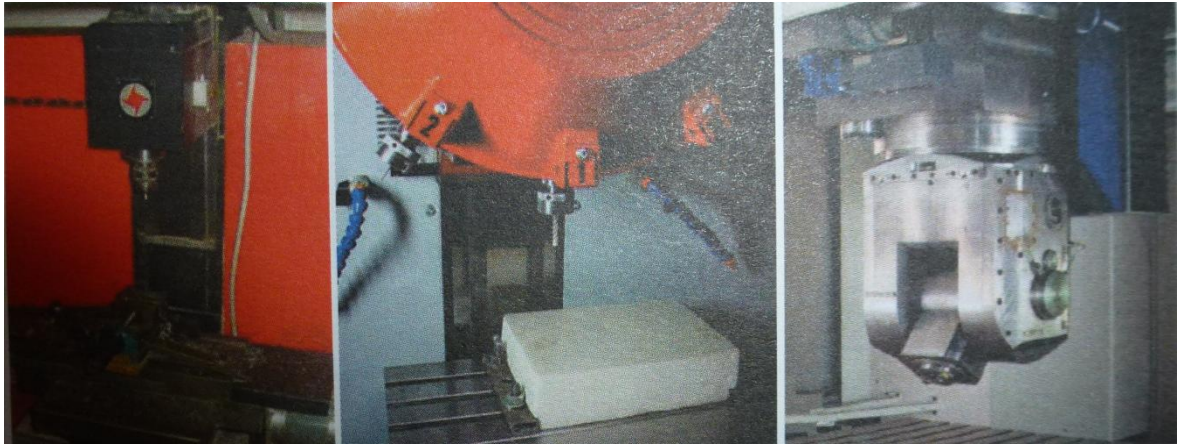


Obr. 13. Typy interpolace: lineární, kontinuální dráha aproximovaná úsečkami, kruhová [8]

Na následujícím obrázku je znázorněna 3D frézka EMCO Concept MILL 155 a na dalším je znázorněna pracovní hlava 3D a 5D frézky. [6]



Obr. 14. 3D frézky EMCO MILL 155 a ovládací panel stroje [6]



Obr. 15. Jednoduchá pracovní hlava 3D frézky, karuselová hlava 3D frézky a hlava 5D frézky [6]

2.4.1.5 CAM – generování dat pro CNC obrábění na základě virtuálního modelu

Následně se budeme zabývat generováním NC dat na základě CAD modelu: [6]

Pojem Computer Aided Manufacturing by se dal stručně charakterizovat takto: je to použití počítačů a počítačových technologií, které asistují ve všech fázích výroby produktu. [6]

Pomocí geometrie modelu, který byl vytvořený v CAD systému použitím CAM, umíme vygenerovat data pro jeho výrobu. V podstatě v CAM systému definujeme dráhu nástroje obráběcího stroje, který bude kopírovat tvar povrchu modelu vytvořeného v CAD. [6]

Na základě povrchového modelu se generují s pomocí CAM modulu systému data pro CNC stroj. [6]

2.4.1.6 Sled činností při definování obrábění frézováním v CAM prostředí

- výběr obráběcího stroje, definování základních parametrů,
- sladění souřadnicového systému modelu se souřadnicovým systémem stroje,
- základní vymezení: polotovaru, obrobku, bezpečné roviny (rovina, v níž se bude nástroj přemisťovat mezi jednotlivými operacemi pro vyloučení nežádoucí kolize mezi nástrojem a obrokem),
- definování parametrů nástroje,

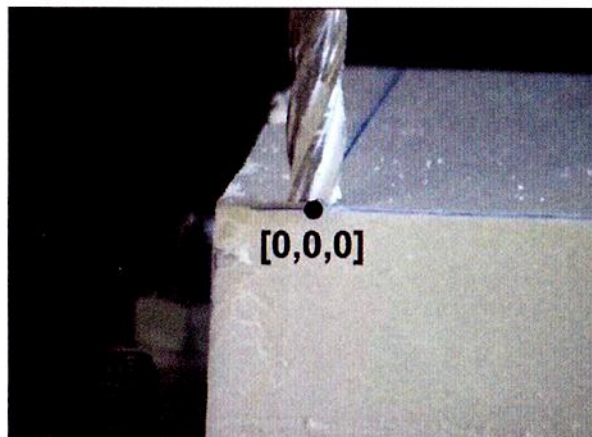
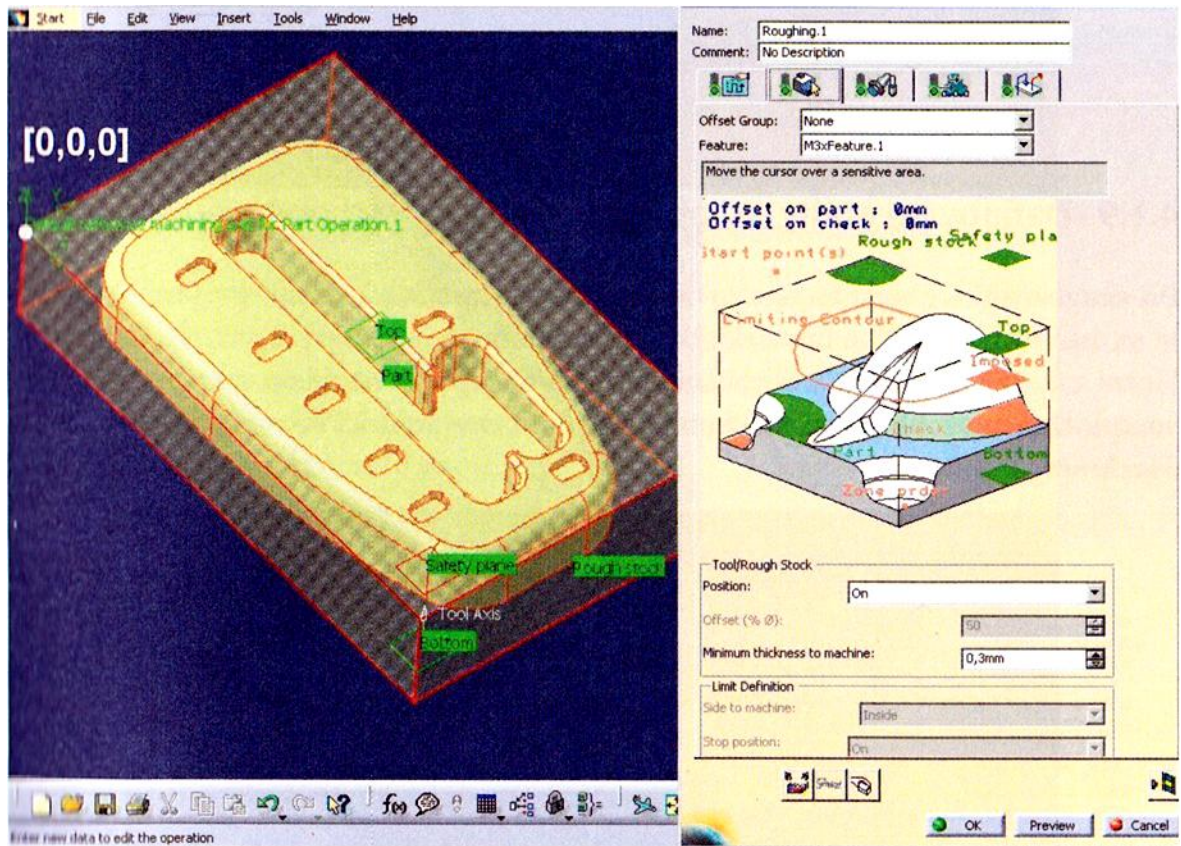
- definování částečných operací obrábění: výběr polotovaru, obrobku, bezpečné roviny, horní a spodní roviny, kontrolních kontur nebo ploch, přídavek na obrábění pro konkrétní operaci,
- volba strategie dráhy nástroje po jednotlivých površích součástky pro konkrétní operaci,
- definování řezných podmínek, nastavení parametrů ovlivňujících výslednou kvalitu obrábění povrchu,
- definování maker pro přísun nástroje do záběru a odsun nástroje ze záběru,
- vizualizace a verifikace korektnosti dráhy nástroje,
- generování NC kódu pro CNC stroj ve tvaru APT (Automatically Programmed Tool), CL File (Cutter Location File) případně přímo pro konkrétní řídicí systém CNC stroje. [6, 10]

2.4.1.7 Sladění počátků souřadnicových systémů

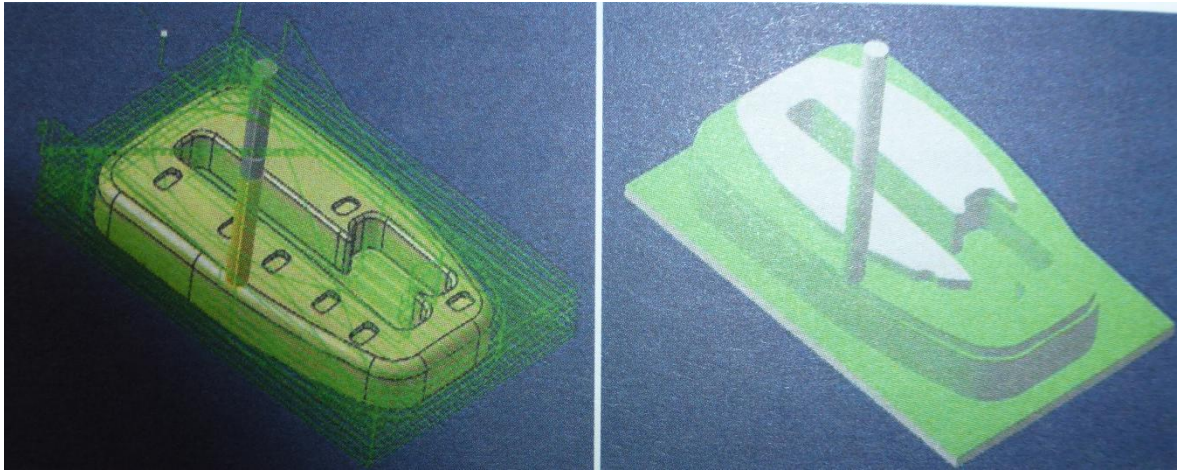
Základem správného přenesení tvaru virtuální předlohy po polotovaru je sladění souřadnicového systému CAD/CAM prostředí s počátkem souřadnicového systému stroje. Počátek, definovaný na polotovaru v CAD/CAM, se ztotožní s počátkem na fyzickém polotovaru upnutém na polohovacím stole stroje. Vzhledem k tomu, že reálný polotovar má ve směru delší strany přídavek na upnutí (v CAD/CAM je tento polotovar namodelovaný bez tohoto přídavek), počátek na polotovaru, upnutém ve stroji, nebude v rohu kvádrů, ale posunutý o tento přídavek. [10]

2.4.1.8 Definování dráhy nástroje pro operace obrábění na hrubo

V prvním kroku bude popsána základní strategie dráhy nástroje pro hrubování polotovaru **Roughing** na modelu kulisy řazení. Jde vlastně o rychlé odebrání přebytečného materiálu z polotovaru v několika paralelních rovinách. Dialog definice základních prvků je na následujícím obrázku. Vizualizace zpracování přibližného tvaru kulisy v šesti paralelních rovinách je znázorněn na dalších obrázcích. [10]



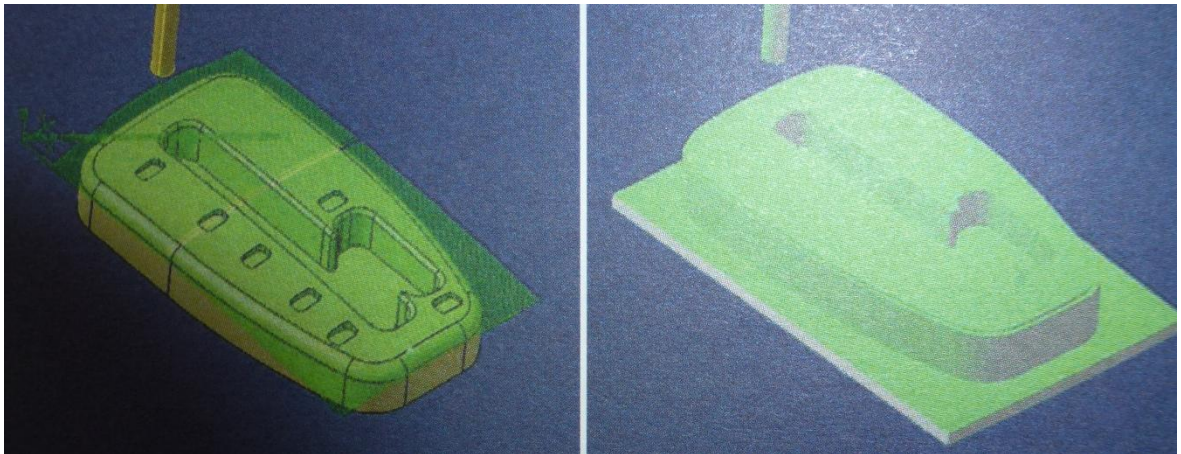
Obr. 16. Definování jednotlivých prvků pro obrábění nahrubo a sladění počátku souřadnicového systému CAD/CAM se souřadnicovým systémem stroje [10]



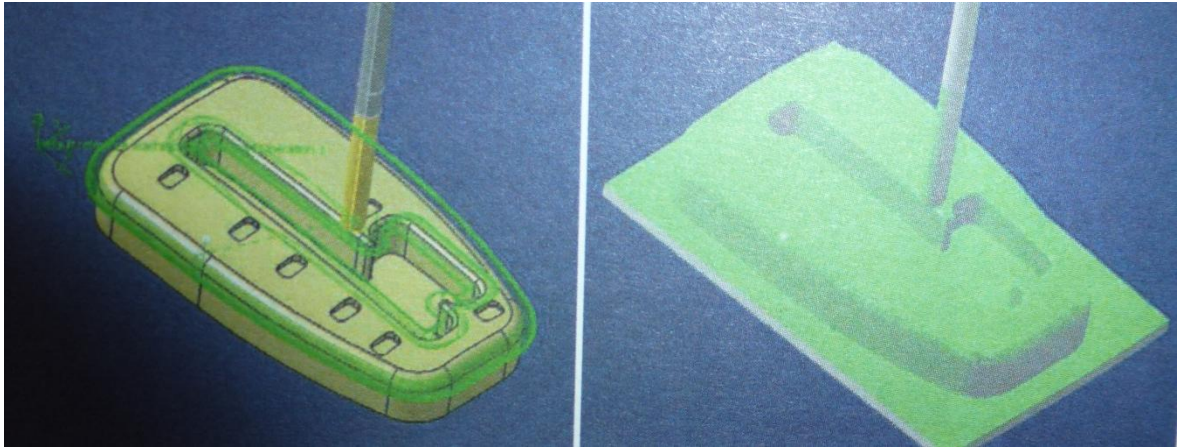
Obr. 17. Vizualizace dráhy nástroje a obrobení tvaru nahrubo [10]

2.4.1.9 Definování dráhy nástroje pro dokončovací operace obrábění

Při obrábění tvaru na čisto nástroj kopíruje tvar povrchu modelu. I v tomto případě je možné rozhodnout se pro několik strategií pohybu nástroje po povrchu součástky. Horní tvarová plocha byla obrobená strategií pohybu nástroje po povrchu součástky. Horní tvarová plocha byla obrobená strategií *Sweeping*. Zaoblení mezi horní a dolní tvarovou plochou a vertikálními plochami bylo obrobeno pomocí strategie *Isoparametric Machining*. [10]

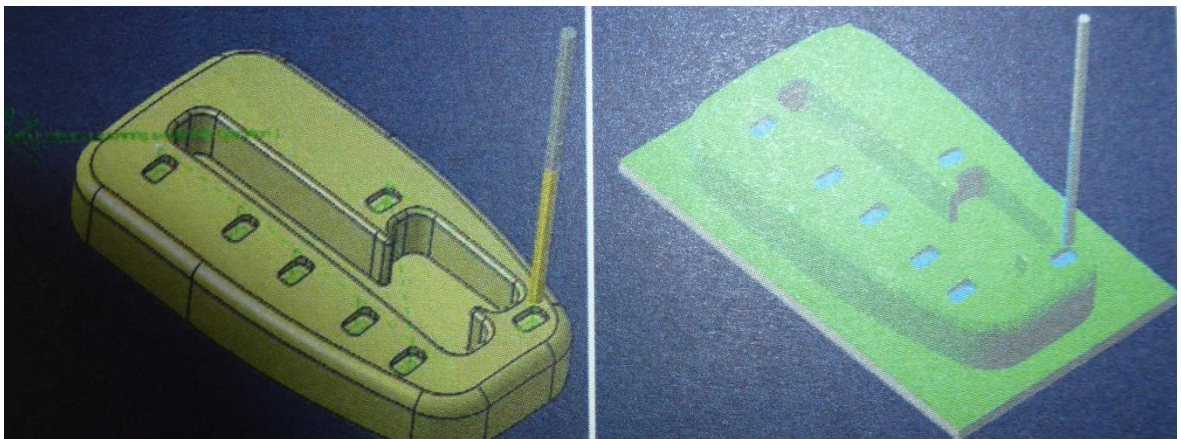


Obr. 18. Vizualizace dráhy nástroje a zpracování tvaru horní plochy načisto [10]



Obr. 19. Vizualizace dráhy nástroje a zpracování zaoblení [10]

Ukázka obrobení vybrání pro popis polohy vodiče a řazení převodovky strategií **Facing** je na následujícím obrázku. [10]



Obr. 20. Vizualizace obrobení vybrání pro popis polohy voličem řazení [10]

Na základě verifikace korektnosti dráhy nástroje na obrazovce se přistupuje ke generování dat pro CNC stroj. Jedná se o vygenerování souřadnic bodů povrchu modelu, po kterých musí nástroj projít, aby obrobil požadovaný tvar. CAM modul vygeneruje data ve tvaru APT, která jsou následně postprocesorem přeložena do formátu řídicího systému konkrétního stroje. [10]

```

FEDRAT/ 1250.0000
GOTO / .00000, .00000, 5.00000
PPRINT OPERATION NUMBER : 4
PPRINT *CRV603
PPRINT SIDE THICKNESS = .00000
PPRINT PART SURFACE THICKNESS = .50000
PPRINT MAXIMUM SCALLOP HEIGHT = .25000
RAPID
GOTO / 16.14935, 35.00028, 2.00000 PT 2
GOTO / 16.14935, 35.00028, -3.73859 PT 3
FEDRAT/ 1050.0000
GOTO / 16.51050, 38.67362, -3.73859 PT 4
GOTO / 17.58011, 42.20630, -3.73863 PT 5
GOTO / 18.96566, 44.91543, -3.73870 PT 6
GOTO / 18.96566, 26.85465, -3.70202 PT 7
GOTO / 18.96566, 25.08513, -3.73869 PT 8
NO001 M03 S2400
NO002 G01 X00 Y00 Z5.00000 F330
;PPRINT OPERATION NUMBER : 4
;PPRINT *CRV603
;PPRINT SIDE THICKNESS = .00000
;PPRINT PART SURFACE THICKNESS = .50000
;PPRINT MAXIMUM SCALLOP HEIGHT = .25000
;RAPID
NO003 G01 X16.14935 Y35.00028 Z2.00000 F1000
NO004 G01 X16.14935 Y35.00028 Z-3.73859 F1000
NO005 M03 S2400
NO006 G01 X16.51050 Y38.67362 Z-3.73859 F330
NO007 G01 X17.58011 Y42.20630 Z-3.73863 F330
NO008 G01 X18.96566 Y44.91543 Z-3.73870 F330
NO009 G01 X18.96566 Y26.85465 Z-3.70202 F330
NO010 G01 X18.96566 Y25.08513 Z-3.73869 F330

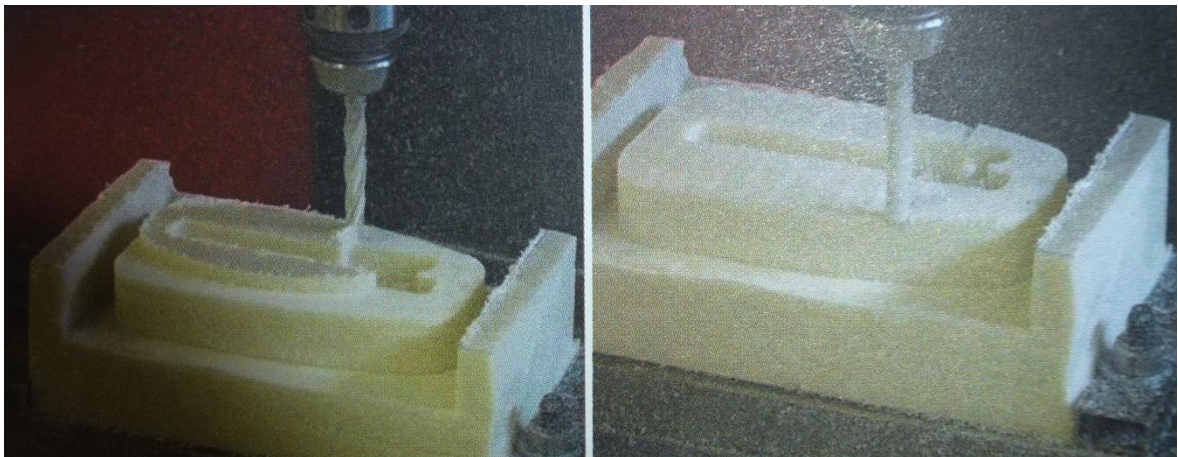
```

Obr. 21. Ukázka části NC programu ve formátu APT a ve formátu řídicího systému frézky FC 16 CNC [10]

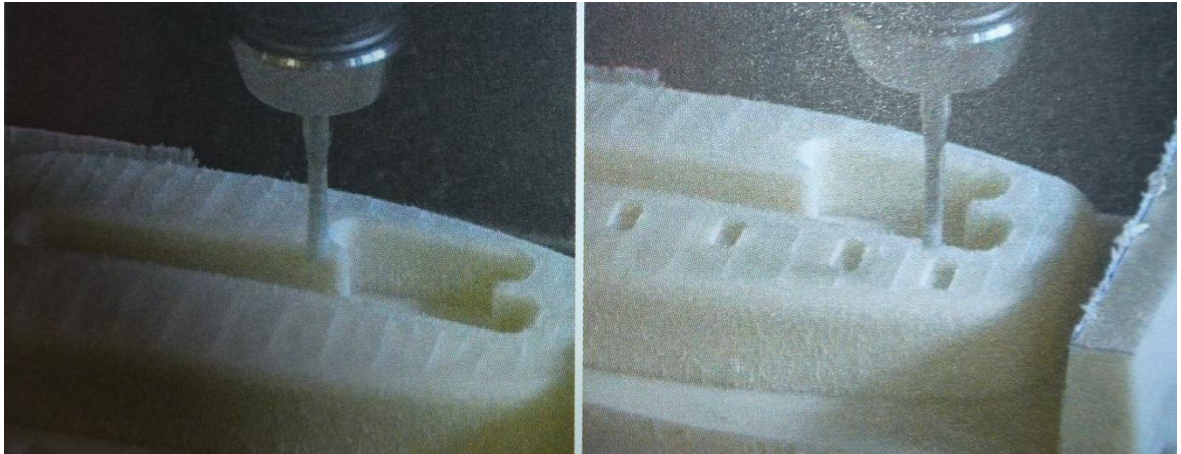
2.4.1.10 Výroba modelu na CNC frézce

Řídicí systém stroje zpracovává data vygenerovaná CAM modulem, následně přeložen postprocesorem a posílá signály pro jednotlivé pohony obráběcího stroje. Moderní CNC frézovací centra na základě takto vygenerovaných dat obrobí požadovaný tvar. [10]

Na následujících obrázcích jsou ukázky postupu obrábění jednotlivých ploch na CNC stroji. [10]



Obr 22. Hrubování polotovaru a obrábění horní tvarové plochy načisto [10]



Obr. 23. Obrábění zaoblení a vybrání pro popis polohy voliče [10]

2.4.1.11 Výhody návrhu součástky CA.. přístupu a výroby pomocí CNC techniky

- Možnost vizualizace modelu a posouzení kvality povrchu,
- možnost analýzy zakřivení povrchu a pevnostní analýzy modelu,
- možnosti analýzy dráhy nástroje při jednotlivých operacích obrábění,
- vyloučení lidského faktoru při obsluze stroje,
- přímé generování dat z modelu-bez ztráty přesnosti (oproti výrobě na základě výkresové dokumentace, kam vstupuje lidský faktor obráběče, resp. na kopírovacích frézkách, kde na přesnost nepříznivě působí vůle kopírovacího mechanismu)
- možnost volby různých strategií dráhy nástroje – paralelně k rovině, paralelně s křivkou po izoparametrech plochy atd.,
- při 5D CNC frézování je možné přistavit nástroj normálově k obráběné ploše,
- možnost výroby prototypu metodami rapid prototyping
- rychlá možnost úpravy modelu a jeho inovace,
- možnost využití reverse engineeringu pro výrobu nástrojů. [10]



Obr. 24. Ukázka vizualizace produktu a analýzy zakřivení povrchu [10]

2.4.1.12 Nezbytnost nasazení CAD/CAM→CNC

Nasazení CAD/CAM systémů a CNC techniky ve strojařské praxi se dnes stává nutností. Úroveň nasazení těchto systémů a techniky určují velké firmy, etablované v daném regionu. Týká se to zejména subdodavatelů, kteří musí komunikovat s odběratelskou firmou ve formátu, který používá. Díky sítím automobilek VW, PSA a KIA na Slovensku a ŠKODA, TOYOTA a HYUNDAI v Česku, je stále větší požadavek komunikace ve formátu softwaru CATIA, Pro/ENGINEER, NX a podobně. [6]

CAD/CAM systémů a CNC techniky je v dnešní době na trhu široká škála a záleží na firmě, pro jaký software se rozhodne a který jí nejlépe vyhovuje pro komunikaci se zákazníkem. Některý software zahrnuje všechna odvětví tedy CAD/CAM, CNC, proto stačí software od jednoho výrobce. Případně se software zaměřuje pouze na jednu část tohoto odvětví, tedy jen na CAD, CAM nebo CNC.

3 CNC TECHNOLOGIE

CNC technologie zahrnuje širokou oblast využití výpočetní techniky skloubenou s řízením strojů a programováním součástí pro následnou výrobu.

3.1 Všeobecné pojmy z oblasti CNC techniky

Tato kapitola nás seznámí s obecnými termíny z oblasti CNC techniky, terminologií pro programování, která je základem pro práci a ovládání CNC stroje.

3.1.1 Obecné termíny

- **Číslicové řízení (NC)** – automatické řízení procesu prostřednictvím zařízení, které využívá zavedená číselná data, zatímco činnost pokračuje. [18]
- **Číslicové řízení počítačem (CNC)** – realizace NC používající počítač k řízení funkcí stroje. [18]
- **Distribuované číslicové řízení (DNC)** – hierarchický systém pro distribuci dat mezi počítačem řízenou výrobou a NC. Pozn.: přímé číslicové řízení je zastaralý pojem, označující systém připojující více číslicově řízených strojů ke společné paměti pro uložení programu obrobku nebo programu pro obrábění, která na požádání zajišťuje distribuci dat do strojů. [18]
- **Procesor** – počítačový program, který provádí výpočty podle programu obrobku a připravuje data polohy řezného nástroje pro konkrétní obrobek. [18]
- **Postprocesor** – počítačový program, který upravuje výstup CAD dat na program pro obrábění (CAM data) pro zhotovení obrobku na konkrétní kombinaci obráběcího stroje a řídicího systému. [18]

3.2 CNC obráběcí stroj

Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) – jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají

bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součástí. [19]

Pojem CNC (Computer Numeric Control) značí: **počítačem (číslicově) řízený (stroj)**. [19]

Stroje jsou „pružné“, lze je rychle přizpůsobit jiné (obdobné) výrobě a pracují v automatizovaném cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením. Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (např. obráběcí, tvářecí, montážní, měřicí, atd.) a jejich typickými představiteli, které se používají pro výcvik programátorů a obsluhy, jsou soustruhy, frézky a obráběcí centra. [19]

3.2.1 Rozdělení programů

- **Geometrické** – popisují dráhy nástroje, které jsou dány rozměry obráběné součásti, způsoby jejího obrábění a popisují příjezd a odjezd nástroje k obrobku a od něho. Jde tedy o popis drah nástroje v kartézských souřadnicích, kdy pro tvorbu programu potřebujeme rozměry z výrobního výkresu. V programu je uveden popis v osách X, Z u soustruhu, v osách X, Y, Z u frézky (a často i v dalších osách dle konstrukce stroje a náročnosti výrobku), danými funkcemi, které stanoví norma ISO a také jednotliví výrobci řídicích systémů. [19]
- **Technologické** – stanovují technologii obrábění z hlediska řezných podmínek (zejména otáčky, řezná rychlost, posuv, případně hloubka třísky). [19]
- **Pomocné** – informace a povely pro stroj pro určité pomocné funkce (např. zapnutí čerpadla chladicí kapaliny, směr otáček vřetene, atd.). [19]

3.2.2 Pracovní celky CNC obráběcího stroje

- polohování nástroje (obrobku),
- vřeteno s vřeteníkem,
- zásobník a výměník nástrojů,
- zásobník (výměník) obrobků,
- přívody média,
- ochranné kryty. [18]

3.2.3 Rozdělení CNC obráběcích strojů

CNC obráběcí centra rozdělujeme dle šesti hledisek jako je např. jednoprofesní CNC frézka se sériovou kinematikou pro HSC obrábění. Pro tento druh CNC obráběcí stroj je charakteristické, že pro technologii třískového obrábění využívá převážně jeden druh operace, a to:

- frézování,
- soustružení,
- vrtání, zahlubování, vyhrubování, závitování,
- vyvrtávání,
- broušení,
- výroba ozubení. [18]

V poslední době se začínají objevovat jednoprofesní CNC stroje s automatickou výměnou nástrojů a obrobků. Jedná se o jednodušší obráběcí centra, kde převládají operace dle typu CNC stroje, a je konstruovaný dle přání zákazníka. Tím klesne i jeho cena. Obráběcím centrem rozumíme takový CNC stroj, který má tyto parametry:

- může provádět různé druhy operací,
- pracuje v automatickém cyklu,
- je vybaven automatickou výměnou nástrojů,
- je vybaven automatickou výměnou obrobků,
- může pracovat v bezobslužném provozu,
- je vybaven prvky diagnostiky a měření. [18]

3.3 Úloha CNC strojů ve strojírenství

Úloha strojírenství v ekonomice každého vyspělého státu je nezastupitelná. Na jeho rozvoj všech ostatních odvětví hospodářství té či oné země. Na každém předmětu, který se kolem nás vyskytuje, je vidět stopa výrobního stroje – ať už se jedná o automobil, televizi, telefon, turbínu, či jiné výrobky. [18]

Konstrukce obráběcích a tvářecích strojů je závislá na subdodávce z široké oblasti dalších průmyslových oborů a odvětví. Tím nabývá konstrukce výrobních strojů stále více

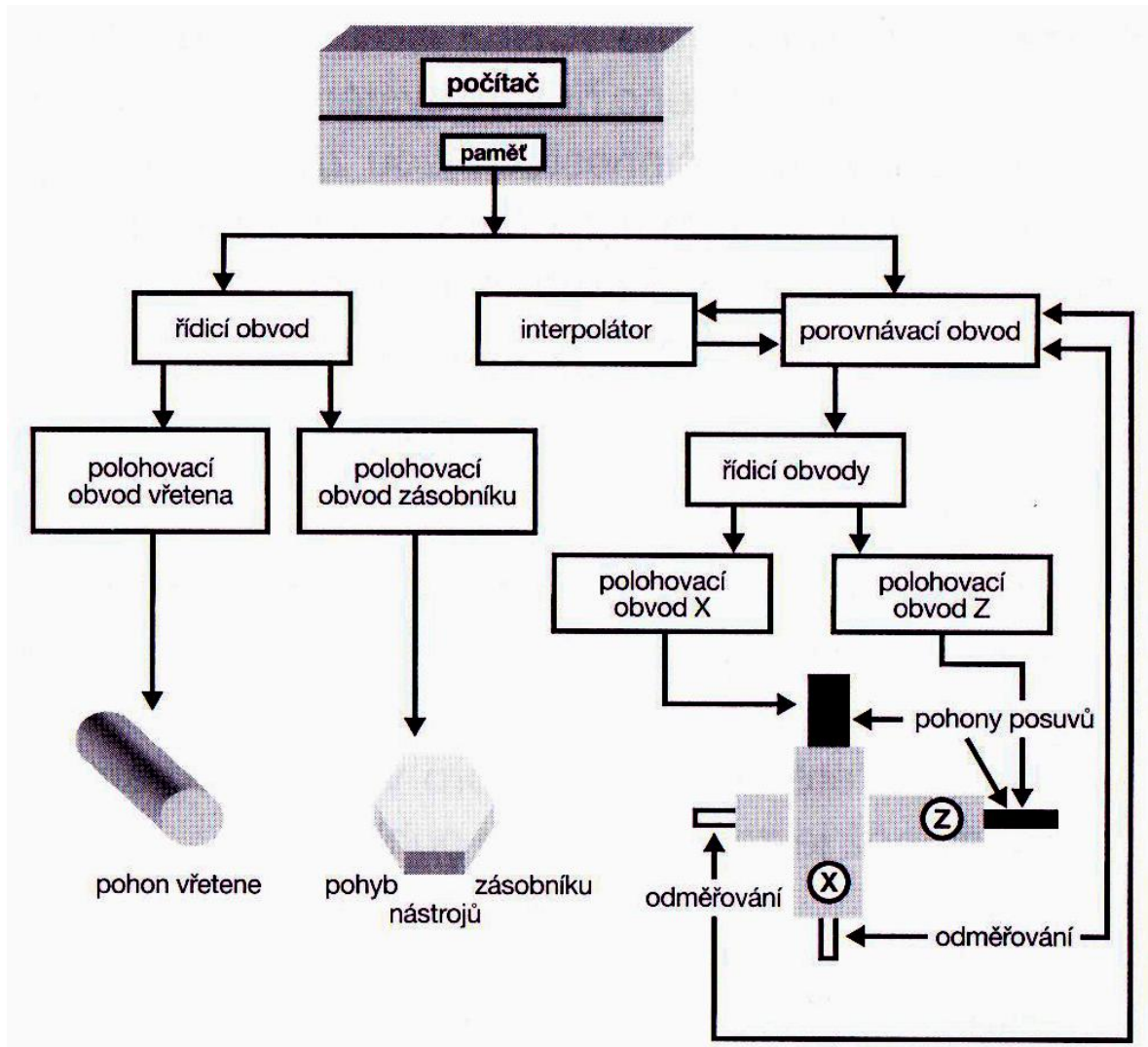
na významu. Automatizací se výrobci snaží udržet na světových trzích, aby mohli konkurovat ostatním výrobcům, vyrábět levněji, kvalitněji a rychleji. [18]

3.4 Požadavky kladené na CNC obráběcí stroje

- **Polohování nástroje (obrobku):**
 - **Rám s vodícími plochami, stůl:**
 - vysoká statická a dynamická tuhost,
 - dobrý odvod třísek,
 - efektivní výroba. [18]
 - **Posuvová soustava:**
 - vyvinutí dostatečně velké síly k překonání řezných, setrvačných a třecích sil v celém pracovním rozsahu,
 - dostatečný regulační rozsah,
 - zajištění plynulého pohybu v celém regulačním rozsahu pracovních rychlostí,
 - stabilita pohybu při působení vnějších rušivých vlivů,
 - minimální vůle v kinematickém řetězci,
 - maximální tuhost posuvového systému a případná diagnostika jeho poruch. [18]
- **Vřeteno s vřeteníkem:**
 - **Uložení vřetena:**
 - maximální tuhost,
 - přesnost chodu,
 - otáčková schopnost,
 - teplotní stabilita. [18]
 - **Upínací systém nástrojů:**
 - spolehlivé upnutí a uvolnění,
 - opakovaná přesnost upnutí,
 - spolehlivý přívod chladicí kapaliny. [18]
 - **Náhon vřetena:**
 - dostatečný regulační rozsah,
 - zabezpečení potřebné řezného výkonu,

- možnost regulace otáček,
 - rychlá reverzace a zabrzdění pohonu,
 - polohování vřetena,
 - diagnostika poruch. [18]
- **Zásobník (výměník) nástrojů:**
 - **Zásobník nástrojů:**
 - dostatečná kapacita nástrojů,
 - malé zástavbové rozměry a neomezování pracovního prostoru stroje,
 - spolehlivé odložení a vydání nástroje. [18]
 - **Výměník nástrojů:**
 - co nejkratší čas výměny,
 - vysoká spolehlivost a životnost,
 - jednoduchá konstrukce,
 - jednoduchý manipulační cyklus. [18]
- **zásobník (výměník) obrobků:**
 - **Technologická paleta a její zásobník:**
 - dostatečná tuhost palety,
 - možnost přesného upnutí obrobena paletu,
 - upnutí palety na pracovním stole musí být přesné a tuhé, odolné vnějšímu a teplotnímu zatížení. [18]
 - **Výměnný mechanismus palet:**
 - co nejkratší čas výměny palet,
 - jednoduchý manipulační cyklus,
 - vysoká spolehlivost a životnost,
 - možnost napojení na dopravu v automatizovaných výrobních soustavách. [18]
- **přívody médií a ochranné kyty:**
 - spolehlivost funkce,
 - těsnost a ekologičnost,
 - stavebnicová koncepce
 - co nejjednodušší konstrukce při respektování výše uvedených zásad,
 - navržení stroje „zákazníkovi na míru“. [18]

3.5 Schéma CNC obráběcího stroje a jeho řízení



Obr. 25. Blokové schéma CNC obráběcího stroje (zjednodušené) [19]

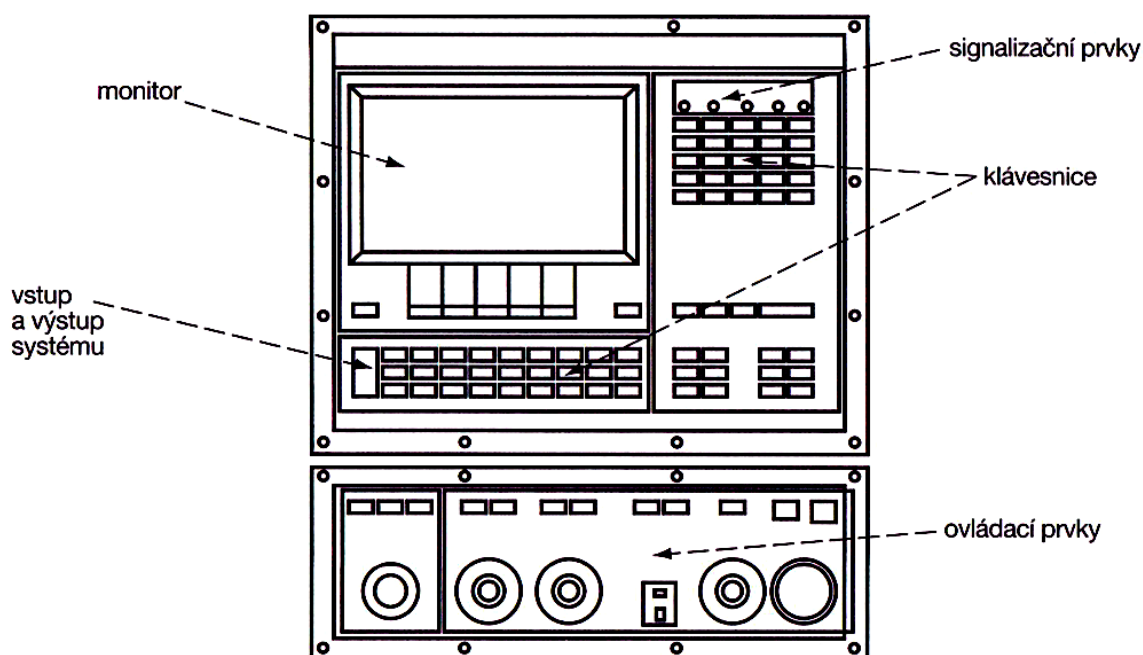
Popis obrázku „Blokové schéma CNC obráběcího stroje“:

- **Počítač** – jedná se o průmyslový počítač s nahaným řídicím systémem, který je součástí stroje. Z hlediska obsluhy je dán obrazovkou a ovládacím panelem. Pomocí ovládacího panelu lze provádět potřebné příkazy nutné při ruční obsluze, pro seřizování CNC obráběcího stroje a pro práce v dalších režimech stroje. Také umožňuje pomocí příslušného softwaru řídicího systému vytvářet požadovaný CNC program (většinou jednoduší, jako je např. zarovnání plochy). V současnosti se program vytváří mimo stroj na výkonných pracovních stanicích kvůli složitosti výrob-

ku a do jeho řídicího systému ho následně nahrajeme. Program se ukládá v paměti a pro vlastní práci se vyvolá příkazem. [19]

- **Řídicí obvody** – v těchto obvodech se logické signály převádějí na silnoproudé elektrické signály, kterými se přímo vládají jednotlivé části stroje – motory vřetene a posuvů, ventily, výměna nástrojů, atd. [19]
 - Řídí stroj pomocnými funkcemi. [19]
 - Řídí dráhu nástroje pohybovými funkcemi, které popisují geometrii pohybu v osách X a Z. [19]
- **Interpolátor** – řeší dráhu nástroje, která je zadaná geometrií, a výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje. Vypočítává tedy ekvidistantu pohybu bodu výměny nástroje, která je vzdálena o vypočítané korekce od požadovaného geometrického obrysu. Zaručuje geometrickou přesnost výrobku. [19]
- **Porovnávací obvod** – stroj musí být vybaven zpětnou vazbou (až na výjimky u jednotlivých CNC strojů určených většinou pro základní výcvik obsluhy), která přenáší informace o obsažených geometrických hodnotách suportů v souřadných osách, jednotlivých bodech dráhy pohybu. Tyto souřadnice se porovnávají s hodnotami, které jsou zadány programem (a upraveny v interpolátoru). Pokud je zjištěn rozdíl, pohony posuvů dostanou povel k dosažení požadovaných hodnot souřadnic. Stroj musí být vybaven odměřováním, např. pomocí pravítek umístěných na suportech, které slouží ke zjištění dosažených souřadnic. [19]
- **Řídicí panel** (viz následující obrázek) – se dělí na několik částí, lišících se svým významem a specifikací stroje:
 - **vstup dat** – část alfanumerická, pomocí níž se ručně zapisuje např. program, data o nástrojích, o seřízení stroje, strojní konstanty atd.,
 - **ovládání stroje** – část speciální, pomocí které se pohybuje nástrojem nebo obrobkem, spouští se otáčky vřetene, ovlivňuje se ručně velikost posuvů, otáček atd.,
 - **akvitace paměti** – vyvolání jednotlivých druhů paměti,
 - **akvitace testů** – vyvolání testů programů a testů stroje, simulací programů,
 - **obrazovka** – slouží ke kontrole prováděných činností,
 - **přenosný panel** – (je spojen kabelem s řídicím panelem) slouží k ovládání základních pohybových funkcí stroje tak, jako základní část klávesnice.

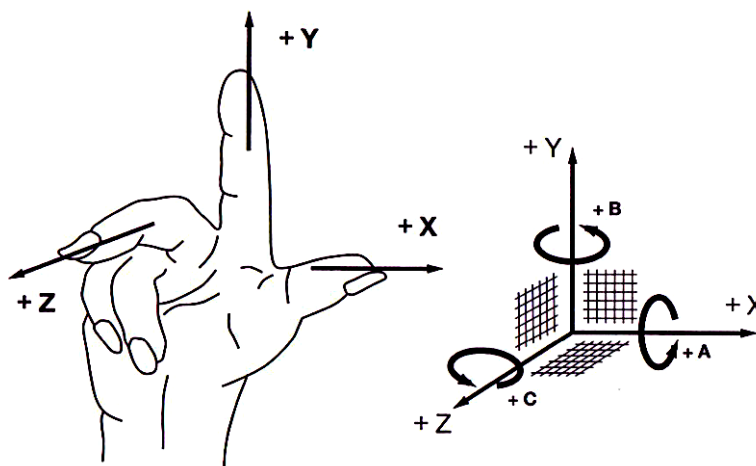
Umožňuje při seřizování a ovládání stroje přejít obsluze do míst, která poskytují dokonalejší možnost vizuální kontroly. [19]



Obr. 26. Řídicí panel CNC stroje (ukázka jednoho z mnoha provedení) [19]

3.6 Souřadnicový systém stroje

Výrobní stroje používají kartézský systém souřadnic. Definice je dána normou ČSN ISO Terminologie os a pohybu. Systém je pravotočivý, pravouhlý s osami X, Y, Z, otáčivé pohyby, jejichž osy jsou rovnoběžné s osami X, Y, Z, se označují jako A, B, C, viz následující obrázek. Platí, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, přičemž kladný smysl probíhá od obrobku k nástroji. Hodnoty se vyskytují i v záporném poli souřadnic. [19]



Obr. 27. Definování kartézských souřadnic, pravotočivá soustava [19]

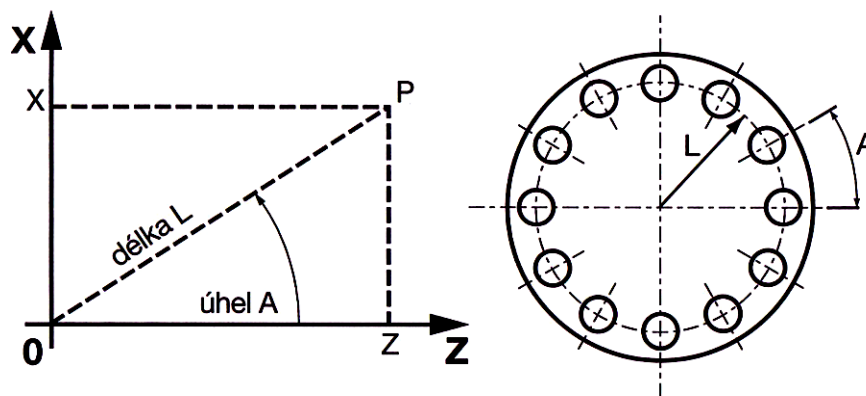
Kartézský systém souřadnic je nutný pro řízení stroje, nástroj se v něm pohybuje podle zadaných příkazů z řídicího panelu CNC stroje nebo dle příkazů uvedených ve spuštěném CNC programu. Je nutný pro měření nástrojů. Podle potřeby lze souřadnicový systém posouvat a otáčet. V případě měření nástrojů je umístěn v bodě výměny nástrojů nebo na špičce nástrojů. [19]

Programátor se s kartézským souřadnicovým systémem nejčastěji setkává při tvorbě programů. V osách souřadnic popisuje výrobek (viz obr. výše). Počátek souřadnic kartézského systému programátoři vkládají do nejvýhodnějšího místa na obrobku, který se nazývá **Nulový bod obrobku**. Nulový bod obrobku je výhodné umístit do takového místa, aby se co nejvíce zjednodušilo vyčítání jednotlivých geometrických bodů na obrobku. Konstruktor může napomoci technologovi – programátorovi, když bude respektovat zásady technologičnosti např. kótováním z jednoho místa, což je od měřicí základny tak, aby byly kóty přehledné. Tím ulehčí práci při programování a sníží se možnost vzniku chyb při výpočtu souřadnic z kót na výkrese. [19]

Řídicí systémy CNC strojů používají kartézské souřadnice pro tvorbu CNC programů v těchto případech:

- **Programování absolutní**
- **Programování přírůstkové** – osy kartézských souřadnic jsou vloženy na špičku nástroje (např. soustružnický nůž) nebo do osy rotace (vrták, fréza). [19]

- **Programování pomocí polárních souřadnic** – z bodu, do kterého vložíme kartézské souřadnice, se stanovuje délka a úhel (např. viz následující obrázek). [19]
- **Parametrické programování**



Obr 28. Definice bodu P pomocí úhlu a vzdálenosti (praktické použití pro vrtání otvorů na roztečné kružnici [19])

V programech CNC se v závislosti na technickém řešení použitého stroje CNC a náročnosti vyráběné součásti používá pro rozličné účely (normou) dané značení dalších os (doplňkových) souřadnicových systémů, přehled možností a použití uvádí následující tabulka:

Tab. 3. Dosažitelné přesnosti v závislosti na způsobu frézování

Souřadnicový systém CNC strojů – značení a použití jednotlivých os				
OSY – DRUHY	↓	↓	↓	URČENO PRO
Základní osy	X	Y	Z	Geometrie pohybu nástroje.
Rotační osy	A	B	C	Pokud konstrukce stroje umožňuje provádět přidavné rotační pohyby v osách, jsou tyto označeny jako A, B, C např. u soustruhu, který používá přidavné rotační nástroje, je využita „osa“ C pro nastavení polohy obrobku vůči nástroji.
Doplňkové osy	I	J	K	Parametry interpolace, které vyjadřují např. určení středu poloměru kontury oblouku na obrobku v souřadnicích. Stoupání závitu v jednotlivých osách.
Sekundární, terciální doplňkové osy	U	V	W	Přidavné pohyby v osách, např. hloubka třísky.
	P	Q	R	Většinou pro programování manipulátorů u strojů.

U obráběcích strojů s více osami, např. u vícevřetenového automatu, se osy indexují (např. Z_1 Z_2 nebo $Z'Z''$ atd.). Obdobné je, když se na jednom stroji používá více na sobě nezávislých suportů. [19]

Klasické CNC stroje:

- frézka používá tři osy: X, Y, Z – frézuje se ve 3 osách,
- soustruh používá dvě osy: X, Z – soustruží rozdílné průměry. [19]

3.7 Nulové a další vztažné body na CNC strojích

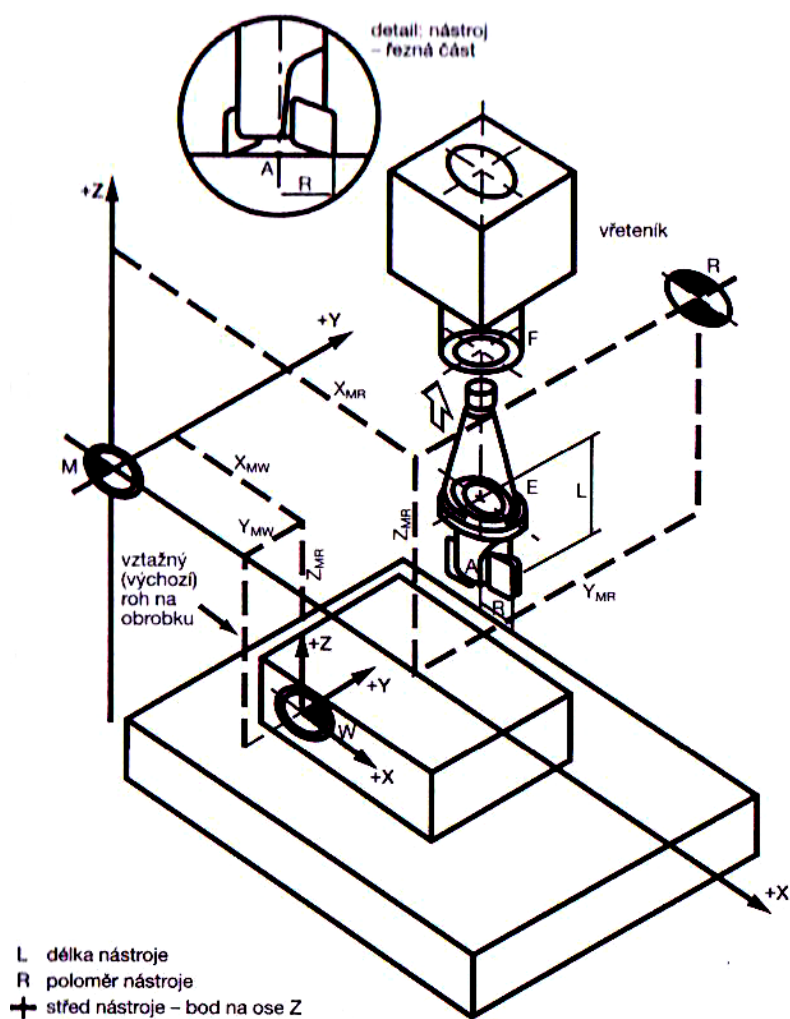
Řídicí systém CNC stroje po zapnutí stroje aktivuje souřadnicový systém ve vlastním stroji. Souřadnicový systém má svůj počátek, tj. nulový bod, který musí být přesně stanoven. Podle použití mají nulové body své názvy. Na CNC strojích jsou i další důležité body:

- **M – nulový bod stroje:** je stanoven výrobcem. Je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. U soustruhů je nulový bod stroje M umístěn v ose rotace obrobku v místě čela vřetene. U frézy, v místě krajní polohy stolu frézky v obou osách – obvykle z pohledu obsluhy je to vlevo, vpředu. [19]
- **W – nulový bod obrobku:** nastavení ho programátor pomocí dané funkce G v potřebném místě obrobku. Provádí se posunutím souřadnicového systému – funkcí G54 až G59 (absolutně, přírůstkově) z nulového bodu stroje. Indikuje se funkcí polohy nástroje – nástroj je definován v bodě souřadnicového systému, ze kterého vyplývá umístění nulového bodu. [19]

Umístění nulového bodu určuje programátor způsobem, který je závislý na použitém řídicím systému stroje a který vyplývá z možností stroje. [19]

- **R – referenční bod stroje:** je stanoven výrobcem a realizován koncovými spínači. Vzdálenosti nulového bodu stroje M a referenčního bodu stroje R jsou výrobcem přesně odměřeny v souřadnicové soustavě stroje a vloženy do paměti řídicího stroje jako strojní konstanty. [19]
- **P – bod špičky nástroje (soustruh):** je nutný pro stanovení délkové korekce a následně rádiusové korekce nástroje (tj. poloměru zaoblení špičky nástroje). Je to bod, jehož pohyb se teoreticky programuje (pokud se použijí rádiusové korekce). [19]

- **F – vztažný bod supportu nebo vřeteně** (pro vložení nástroje): bod výměny nástroje na revolverové hlavě u soustruhu, u frézky je umístěn na čele vřeteně a v ose její rotace. K bodu F se vztahuje délková korekce nástroje. [19]
- **E – bod nastavení nástroje:** bod na držáku nástroje, který se při upnutí ztotožní s bodem F (je nutný pro zjištění korekcí nástroje na přístroji mimo stroj). [19]



Obr. 29. Souřadnicový systém frézky a nulové body [19]

3.8 CNC frézovací stroje

Frézovací ssuje patří mezi nejrozšířenější a nejvýkonnější obráběcí stroje. Jsou určeny pro obrábění nejčastěji ploch rovinných, ale i rovných a zakřivených drážek, závitů, zubů, ozubených kol apod. [18]

Frézovací stroje rozdělení:

- **Konzolové:** svislá osa vřetena, vodorovná osa vřetena, univerzální. [18]
- **Stolové a ložové:** svislá osa vřetena, vodorovná osa vřetena, univerzální. [18]
- **Portálové (rovinné):** spodní gántry, dolní gántry, s pohyblivým stolem. [18]

4 CNC PROGRAMOVÁNÍ

Pro efektivní využití vícerých CNC strojů a obráběcích center je nutné sestavovat velmi náročné programy a mít možnost provést kontrolu správnosti jejich sestavení po odladění. Pro takovéto sestavení programu je nutné použití specializovaného software CAM, který splňuje všechny požadavky pro správné sestavení programu obrábění na CNC stroji. [19]

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. Např. poznámky, jako je název součásti atd. Poznámky lze uvést i za znakem v programu, ale je nutné je dát do závorky. Jsou řídicí systémy, které tento znak nepožadují, potřebné poznámky se obvykle uvádějí v programu např. funkcí G. [19]

Složení programu (v bloku):

Tab. 4. Obecný příklad [19]

Příklad				Název	Poznámka
N05 G 00 X 0 Y 0 Z 0				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
N05	G 00	X 0	Y 0	příkaz (slovo)	
N	G	X	Y	adresa	
5		00		významová část	
0		0		rozměrová část	

Tab. 5. Význam nejpoužívanějších adres [19]

Písmeno	Význam	Poznámka
X Y Z	Základní osy souřadnicového systému (pohyb v osách).	Některá z uvedených písmen abecedy jsou pro výrobce řídicích systémů závazná, některá doporučená. Neobsazená písmena abecedy jsou volná, výrobci je obsazují dle specifik svých řídicích systémů. Podle možností daných stroji pro které jsou především určena.
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.	
D	Paměť korekce nástrojů.	
G	Přípravná geometrická funkce.	
M	Pomocná funkce.	
N	Číslo bloku (věty).	
F	Posuv.	
S	Otáčky vřetene. Konstantní řezná rychlost.	
L	Volání podprogramu.	

Tab. 6. Význam funkcí [19]

Název a příklad	Užití
<p>Věta (blok)</p> <p>Věta musí začít písmenem N a číslem např. N 40</p> <p>Př. N 40 G 00 X 100 Z-50</p> <p>(obvyklé u výukových systémů, ale nemusí u většiny systémů ve výrobní praxi)</p>	<p>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.</p>
<p>Přípravné (hlavní) funkce</p> <p>G (Go)</p> <p>Př. G00; G01; G42</p> <p>Př. G0; G1; G42</p>	<p>Zpracovávají geometrické informace. Některé systémy připouštějí vložit i více G funkcí do jedné věty. Dvojmístné číslo se nemusí použít, pokud je první číslo 0.</p> <p>Některé systémy používají více než dvojmístná čísla G a také M.</p>
<p>Pomocné funkce</p> <p>M (Machine)</p> <p>Př. M04, také M4</p>	<p>Vyvolávají činnost mechanismu stroje.</p> <p>Některé se také týkají řídicího systému.</p>
<p>Informace o dráze</p> <p>Př. X20 Z-30</p>	<p>Jsou zadány cílovým bodem v souřadnicích absolutně - G90, nebo přírůstkem - G91.</p>
<p>Funkce nástroje T (Tool)</p> <p>Korekce nástroje D</p> <p>Př. T01 D01</p>	<p>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.</p>
<p>Posuvná funkce F (Feed)</p>	<p>Velikost posuvů je zadána v: mm za otáčku u soustruhu [mm.ot^{-1}]</p> <p>mm za minutu u frézky [mm.min^{-1}]</p>
<p>Otáčkové funkce S (Speed)</p>	<p>Velikost otáček je zadána za minutu [min^{-1}] rezné rychlosti [m.min^{-1}]</p>

4.2 Programování, použití nejdůležitějších funkcí G, M

Dle ČSN ISO (pouze výběr nejpoužívanějších s komentářem)

Tab. 7. Použití nejdůležitějších funkcí G, M [19]

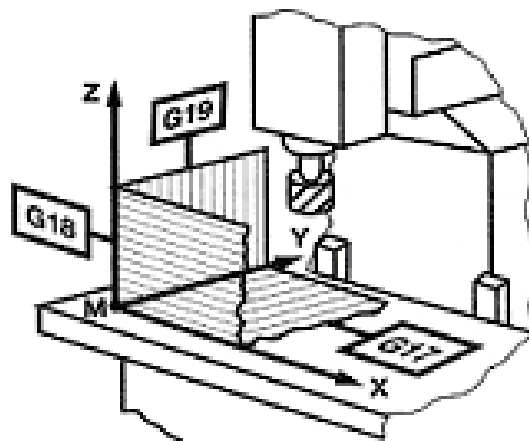
Označení funkce	Název funkce	Použití
G00	Lineární interpolace	Rychloposuvy
G01		Pracovní posuvy
G02	kruhová interpolace	Ve směru hodinových ručiček
G03	(zhotovení rádiusů)	Proti směru hodinových ručiček
		Programuje se v souřadnicích os. Uvádí se cílový bod v souřadnicích, případně další adresy.
Označení funkce	Název funkce	Použití
G17	Pracovní rovina	X - Y
G18		Z - X
G19		Y - Z
		Určení roviny, ve které se provádí pracovní posuvy a rychloposuvy.
G33	Řezání závitů	Určuje se proměnlivá hloubka třísky a počet hlazení bez přídávku.
G40	Zrušení korekcí	Vypnutí matematického aparátu výpočtu ekvidistanty.
G41	Zapnutí korekce rádiusů	Výpočet dráhy nástroje (její ekvidistanty).
G42		Ekvidistanta, nástroj vlevo od kontury. Ekvidistanta, nástroj vpravo od kontury.
G45, G46, G47	Nájezdy nástrojem	Realizují se po přímce, rádiusu, oblouku pokud se požaduje plynulý přechod nástroje do řezu nebo z řezu
G54 - G59	Posuvy nulového bodu	Posuvy absolutně i přírustkové, na začátku i v průběhu programu.
G99	Absolutní	Programování - popis drah nástroje v souřadnicové soustavě.
G91	Přírustkové	Programování - popis drah nástroje, o kolik se posune v osách.
G92 (G50)	Omezení otáček	Stanoví velikost otáček, které neohrozí bezpečný chod stroje.
M03	Otáčky vřetene	Ve směru hodinových ručiček
M04		Proti směru hodinových ručiček
		Při pohledu do vřetene stroje, nikoli ze strany obsluhy.
M05	Zastavení vřetene	
M06	Výměna nástroje	Do této funkce se doplňují délkové korekce
M07 - M08	Zapnutí čerpadla	Chlazení. Mazání obrobku při obrábění (možnost více čerpadel).
M09	Vypnutí čerpadla	
M17	Konec podprogramu	Vrací do hlavního programu
M30	Konec programu	Návrat na začátek hlavního programu.

Obrábění v rovinách:

Možné obrábění ploch v rovinách názorně ukazuje následující obrázek. Na frézkách je možné obrábět ve třech rovinách, zatímco soustruh obrábí pouze v jedné rovině. [19]

Tab. 8. Funkce G určená pracovními rovinám [19]

Funkce	Rovina obrábění	Rovina obrábění
G 17	X - Y	X - Y
G 18	Z - X	Z - X
G 19	Y - Z	Y - Z



*Obr. 30. Svislá frézka a roviny
obrábění [19]*

4.3 Možnosti obrábění při použití vyspělých CAD/CAM systémů

CAD/CAM systémy nabízejí vytváření různých strategií při obrábění, tyto snižují výrobní časy, zaručují kvalitu plochy a využívají možností moderních nástrojů. Zde jsou uvedeny strategie frézování. Tyto systémy také umožňují pracovat s již vytvořenými dráhami nástroje, tyto upravovat, spojovat a poskytují další možnosti. [19]

Vývoj nových nástrojů zasáhl do CNC obrábění – také výrobci software na toto reagovali vytvářením nových cyklů, které urychlují práci programátora, zaručují kvalitu práce při snížení času výroby a slučují operační úseky v jeden celek, v jeden nástroj. [19]

5 SHRNU TÍ A ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část je zaměřena na problematiku týkající se frézování, kde jsme se seznámili s historií a teorií frézování. Další kapitola je věnována CA.. technologiím v navrhování a výrobě, ze které se postupně dostáváme dále k problematice CNC technologií. Závěrečná kapitola je zaměřena na problematiku CNC programování.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části je příprava tří modelů pro programování, dále naprogramování těchto modelů pro CNC frézku. Dva modely naprogramuji ve 2 programech (SurfCam, NX) a porovnáám strojní časy součástí. Třetí model je naprogramován v jednom programu (SurfCam), který je následně vyroben na CNC frézce Jobs Jomach 16 s operačním systémem Heidenhain.

6.1 Frézovací systém SURFCAM

SURFCAM je software, který umožní vygenerovat na předloženém modelu dráhu nástroje podle našich představ a požadavků, a následně provést kontrolu správnosti pomocí verifikace, ale umožňuje i úpravy geometrie a ploch i s možností jejich zhotovení v CADu, který je jeho součástí. [20]

Také umožňuje načíst již zhotovený model v řadě formátů a touto nezanedbatelnou vlastností může spolupracovat s řadou používaných CADů. [20]

6.2 Frézovací systém Siemens NX

NX CAM je součástí komplexního CAD/CAM systému NX a umožňuje komplexní obrábění součástí. Kromě solid modelu lze také plošné modely, STL modely, 2D drátovou geometrii atd. 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. [21]

7 PROGRAMOVÁNÍ MODELŮ

Tyto modely jsem si vybral z důvodu simulování 3osého frézování na modelovací portálové frézce Jobs Jomach 16 se systémem Heidenhain.

Modely jsou ve formátu IGS, které poslal zákazník již vymodelované ve 3D, tudíž jsou připraveny k programování.

Ve všech případech programování je použito sousledné i nesousledné frézování z důvodu úspory času při výrobě

Použité materiály na polotovary modelů:

Model 1, model 2 – NECURON 651 = hnědý necuron - jedná se o syntetické dřevo, materiál, který je snadno obrobitelný. Neobsahuje žádná plnidla, která uvolňují při opracování nebezpečný prach.

Model auta – PE-SCHAUM – jedná se o syntetický pórovitý materiál, pěnu, která je velmi snadno obrobitelná.

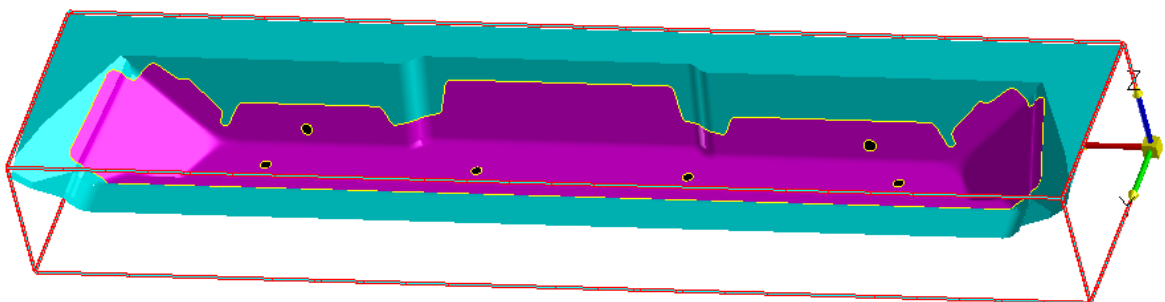
7.1 Model č. 1 – programováno v SURFCAM V4

Jedná se o model, který bude po vyrobení sloužit jako laminovací forma.

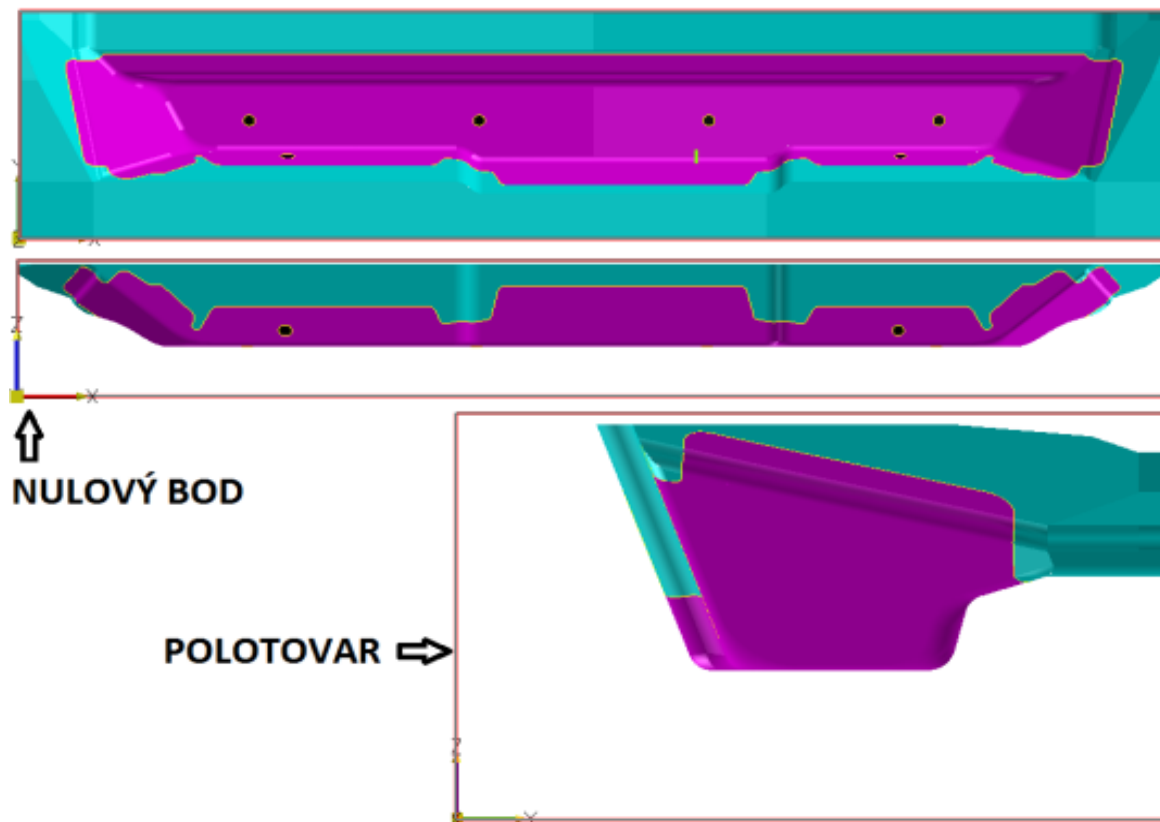
Rozměry polotovaru: 1200 x 150 x150 [mm]

Při každé operaci použito:

- Otáčky vřetene: 2200 [ot/min]
- Posuvová rychlost: 2000 [mm/min]



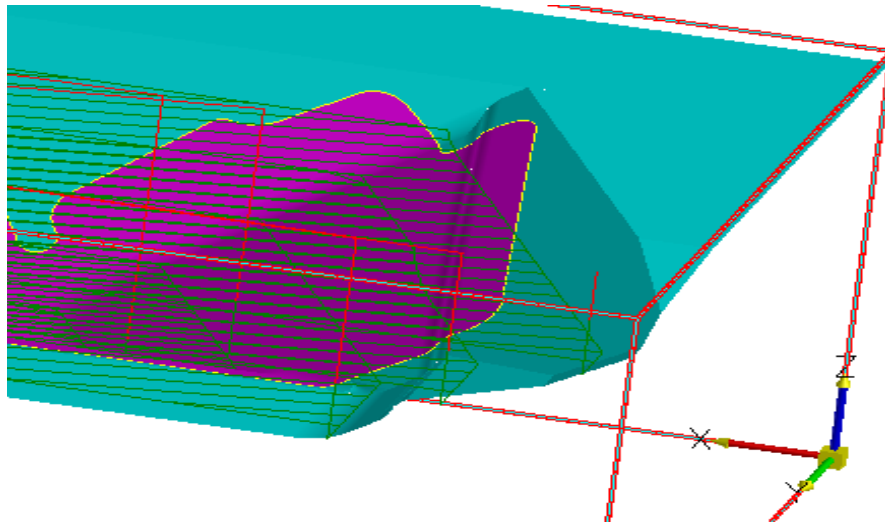
Obr. 31. Model formy



Obr. 32. Model formy – pohledy

Sled operací:

- hrubování
- na čisto
- zbytkové obrábění
- 3D kontura



Obr. 33. Operace hrubování

- **Operace hrubování** – použit příkaz Z hrub – operace, při které se z polotovaru odebrá přebytečný materiál frézou a ponechává se přídavek materiálu pro další operace.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 20$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - tolerance plochy: 0,25 [mm]
 - krok v Z: 18 [mm]
 - krok v X, Y: 9 [mm]
 - na obrázcích níže je znázorněn podrobný postup kroků při programování

SURFCAM Hrubování >>Z<< - Obnovit Dráhu Nástroje [?] [X]

Informace o Nástroji | Kontrola Obrábění | Nastavení Kapsování | 3 Osé Obrábění

Vybrat Nástroj: Vlastní 2139:20:0

Vybrat Materiál: St33 1.0035

Programovat Pro: Hrot Střed

Číslo Nástroje: 139

Délkový Ofset: 139

Průměrový Ofset: 139

Pracovní Ofset: 0

Vřeteno: Hlavní

Zásobník: Zadní

Měřená Z Délka: 0.0000

Měřená X Délka: 0.0000

Chlazení: Kapalina

Průměr Nástroje: 20.0000

Poloměr Hrotu: 10.0000

Počet Břitů: 2

Materiál Nástroje: Rychlořezná c

Řezná Rychlost: 30.0

Tříska: 0.102000

Výpočet Rychlostí Auto

Otáčky: 2200 CW

Posuv: 2000.0000 mm/min

Zavrt. Posuv: 2000.0000

Plynulý Průjezd: 0.0000

Řezná Rychlost: 138.2301

Tříska Při Posuvu: 0.4545

Tříska Při Zavrt.: 0.4545

Číslo Programu: 0

Vložit Příkazy Postprocesoru

Komentáře: Nic

Otevřít | Uložit | Uložit jako | OK | Storno | Nápověda

Obr. 34. Operace hrubování - informace o nástroji

SURFCAM Hrubování >>Z<< - Obnovit Dráhu Nástroje [?] [X]

Informace o Nástroji | **Kontrola Obrábění** | Nastavení Kapsování | 3 Osé Obrábění

Způsob Obrábění: Sousedné

Ponechat Přídavek: 0.7500

Rov.Rychlop: 170.0000

Maximální Hodnota Z: 150.0000

Minimální Hodnota Z: 0.0000

Tolerance Plochy: 0.2500

Velikost Kroku v Z: 18.0000

Velikost Kroku v XY: 9.0000


Bezpečná Vzdálenost: 2.0000

Výběr Zavrtávacího Bodu: Auto

Přídavek Po Straně: Nic 0.0000

Nájezd: Nic Typ Zavrtávání: Zavrtávání

Odjezd: Nic



Obr. 35. Operace hrubování - kontrola obrábění

SURFCAM Hrubování >>Z<< - Obnovit Dráhu Nástroje [?] [X]

Informace o Nástroji | **Kontrola Obrábění** | **Nastavení Kapsování** | 3 Osé Obrábění

Úhel Rohu (30-150): 135.0000 Oblouk

Odsazení Od Rohu: 0.0000 Konstantní

Boční Krok Při Hrubování: 0.8000 Poloměr Nástroje

Výškový Krok Při 0.8000 Poloměr Nástroje

Korekce Nástroje na Vrchu

Posuv Mezi Záběry: Posuv

Počáteční Hloubka

Způsob Obrábění Mater.: Cik Cak

Způsob Kapsování: Cik Cak

Zobrazit Změny Zavrtání

Přídavek Po Straně: 0.1000 Poloměr Nástroje

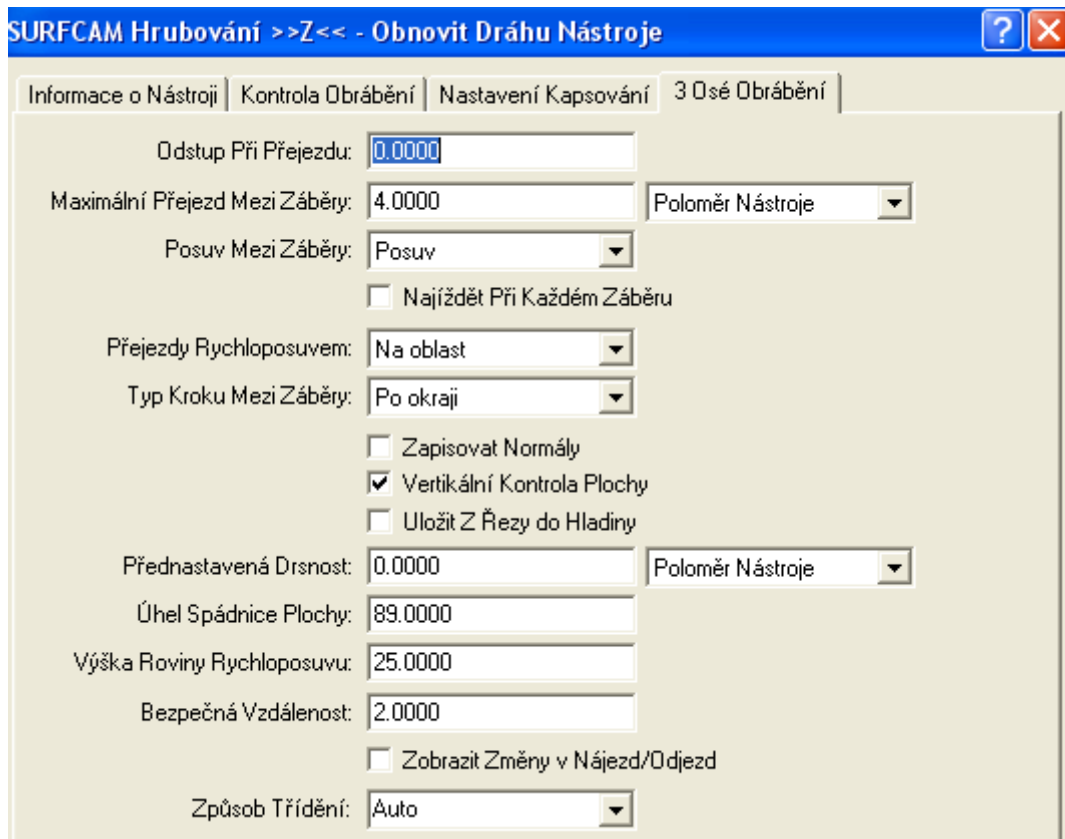
Přímé Zavrt. Na Ostrovech

Tolerance Úhlu Nájezdu: 5

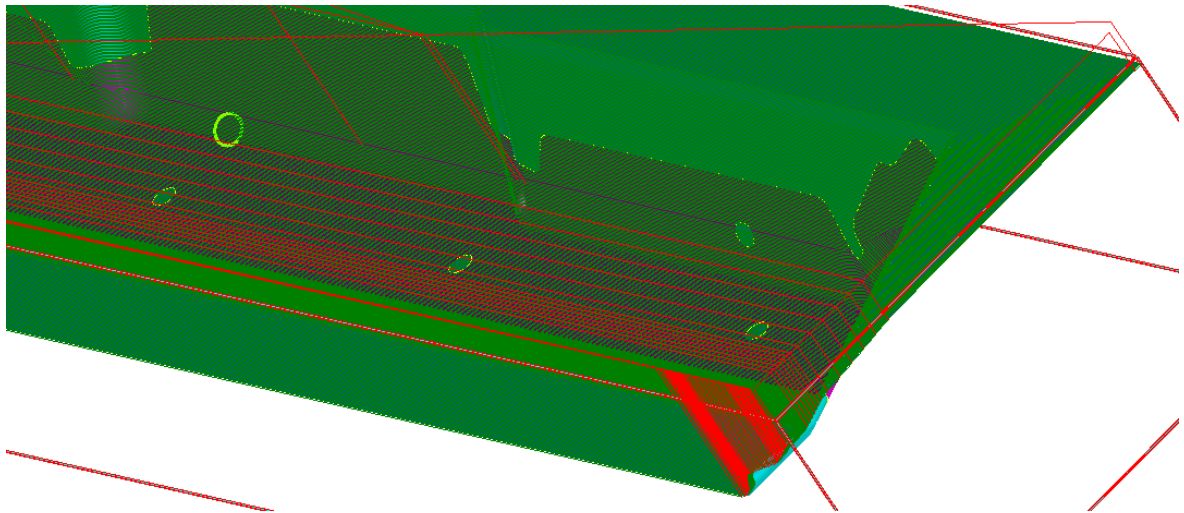
Kontrola Podřezání Najížděcího Pohybu

Zarovnat na Nejhlubší Místo

Obr. 36. Operace hrubování - nastavení kapsování



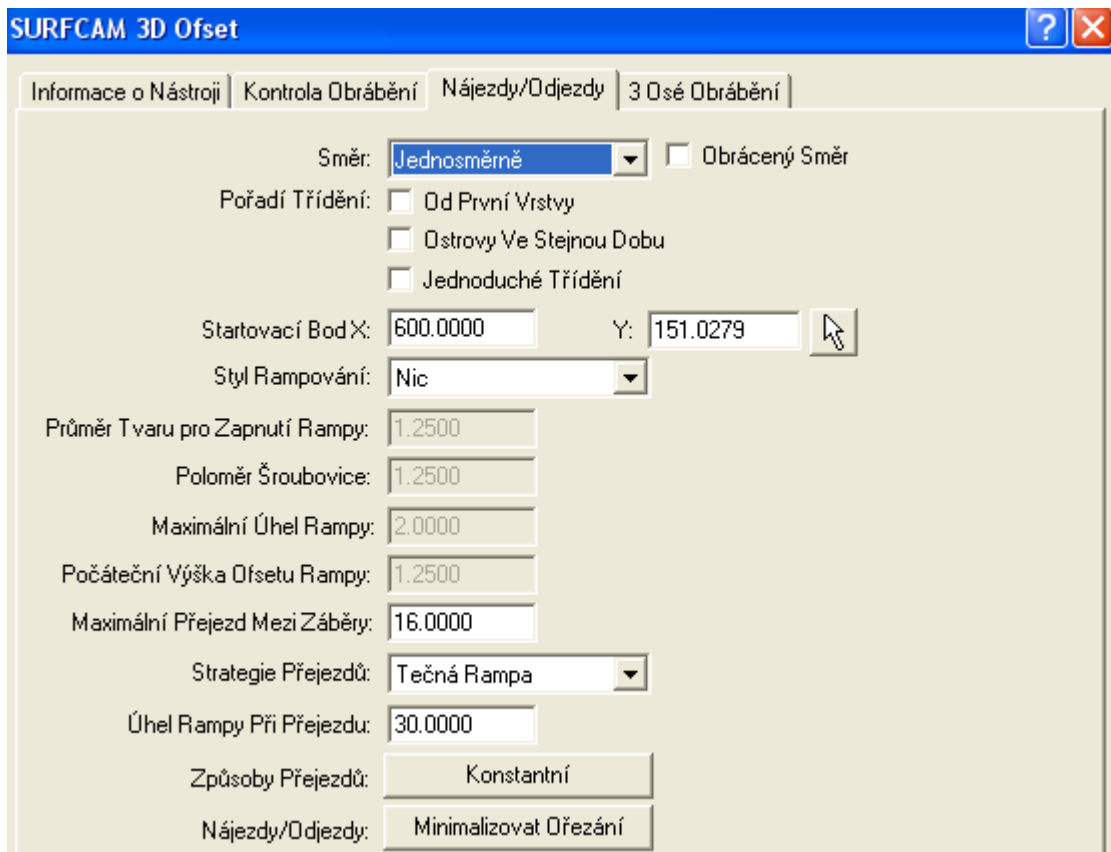
Obr. 37. Operace hrubování - 3osé obrábění



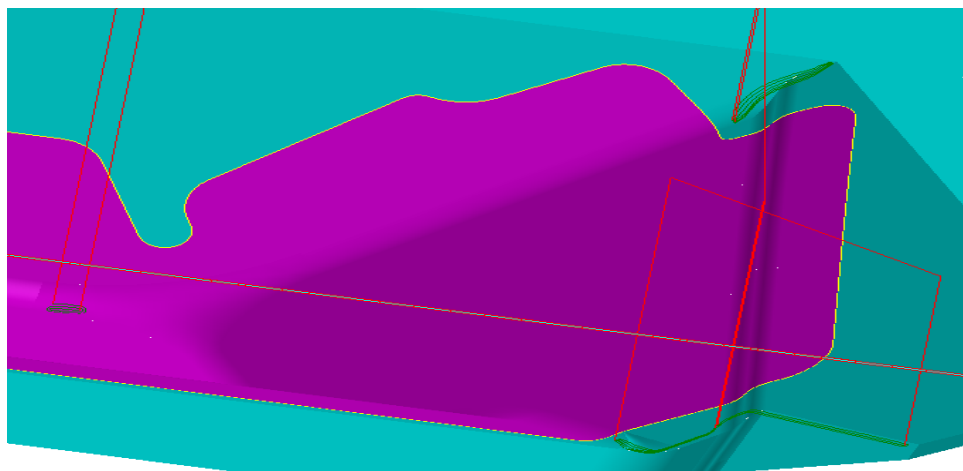
Obr. 38. Operace na čisto

- **Operace na čisto** – použit příkaz 3D ofset – operace, při které se z polotovaru po hrubování odebrá ponechaný přídavek materiálu již na požadovaný rozměr modelu.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 16$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]

- stranový krok: 0,8 [mm]
- postup kroků při programování je stejný jako při hrubování, kromě operace nastavení kapsování, která je nahrazena krokem nájezdy/odjezdy, viz obr. níže

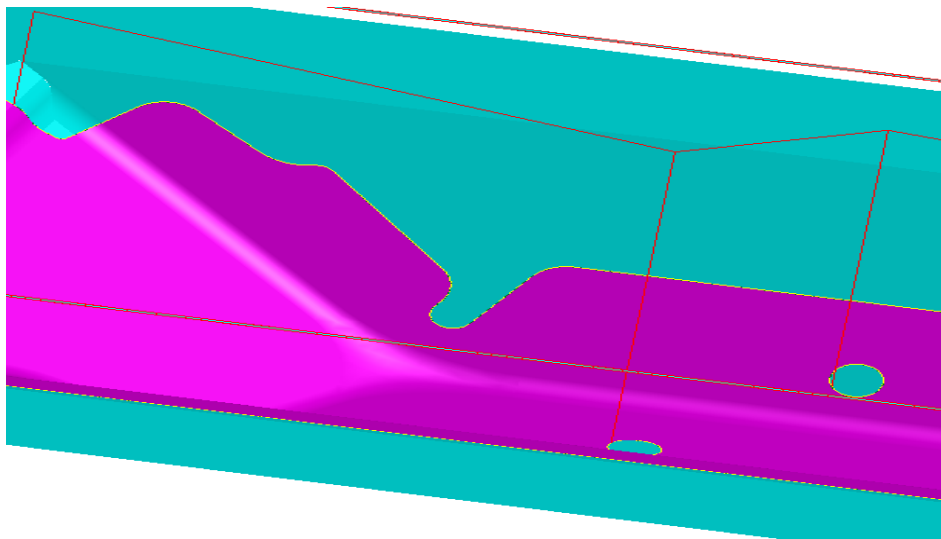


Obr. 39. Operace na čisto - nájezdy, odjezdy



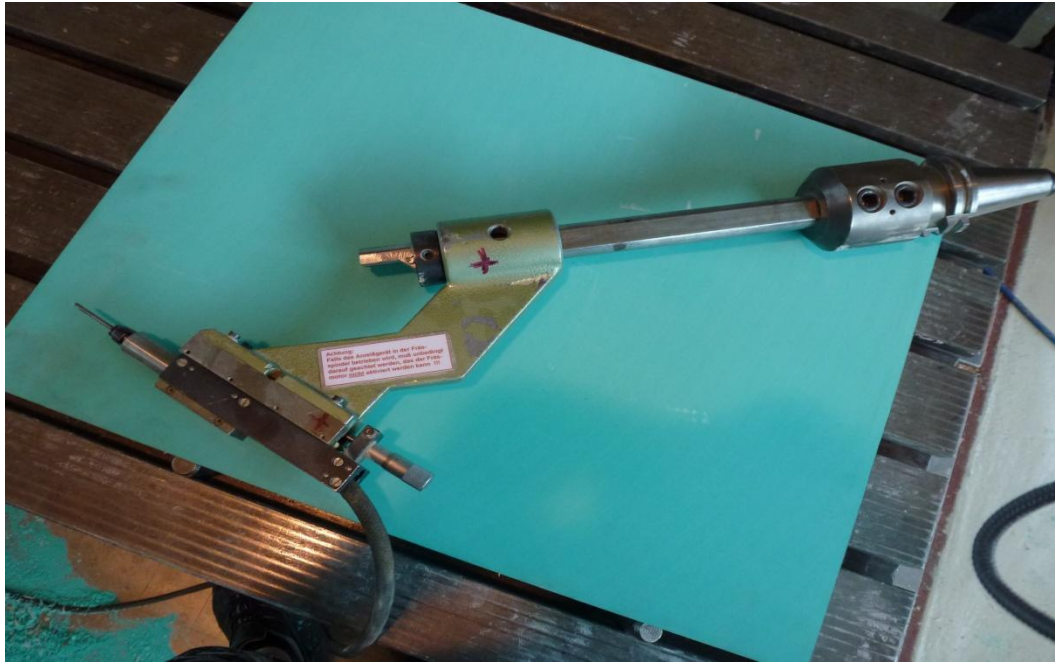
Obr. 40. Operace zbytkové obrábění

- **Operace zbytkové obrábění** – použit příkaz Zbytkové obrábění – operace, při které se po operaci na čisto odebírá zbytkový materiál, v místech, kde ho nebyl schopný odebrat nástroj s většími rozměry.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]
 - krok v Z: 0,8 [mm]
 - krok v X, Y: 0,8 [mm]
 - postup kroků při programování je stejný jako při obrábění na čisto



Obr. 41. Operace 3D kontura

- **Operace 3D kontura** – použit příkaz 3D kontura – operace, při které se pomocí speciálního nástroje (ořezávačky) provádí tzv. ořez po kontuře. Jedná se o vyřezání nepatrného vrypu do materiálu, který slouží jako hranice pro oříznutí laminátového výrobku vyjmutého z formy.
 - použit speciální nástroj – ořezávačka
 - postup kroků při programování je stejný jako při obrábění na čisto, odpadá krok nájezdy/odjezdy



Obr. 42. Ořezávačka

Tab. 9. Strojní časy frézování modelu 1

SURFCAM		OPERAČNÍ LIST		
Číslo nástroje	Operace	Rychlost posuvu	Otáčky vřetene	Celkový čas
139	3 Osé Z Hrubování	2000.00 mm/min	2200 ot/min	0:47:13
138	Na Čisto (3D Ofset)	2000.00 mm/min	2200 ot/min	4:10:58
10	Zbytkové Obrábění	2000.00 mm/min	2200 ot/min	0:3:48
111	3 Osé Obrábění Kontury	2000.00 mm/min	2200 ot/min	0:1:47
Celkově				5:04:48

7.2 Model č. 2 – programováno v SURFCAM V4

Jedná se o model, který bude po vyrobení sloužit jako laminovací forma.

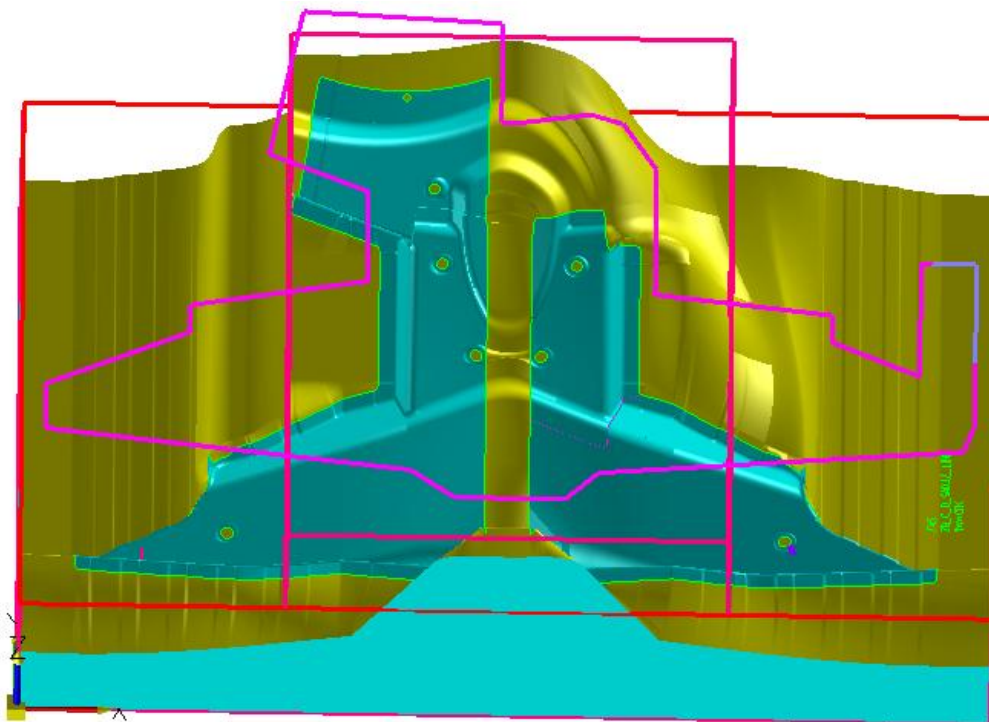
Rozměry polotovaru:

Spodní díl: 1100 x 700 x 200 [mm]

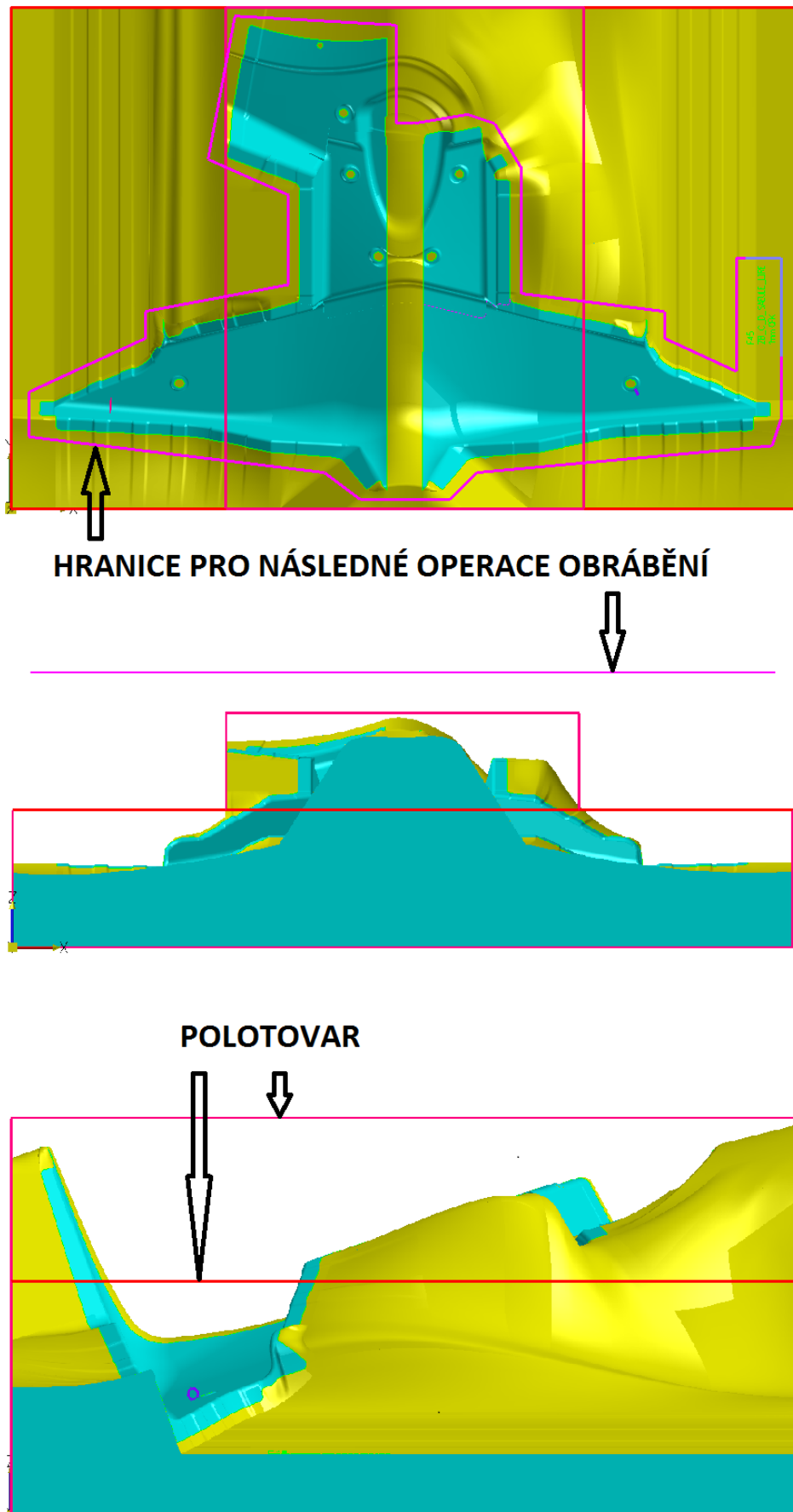
Horní díl: 500 x 200 x 140 [mm]

Při každé operaci použito:

- Otáčky vřetene: 2200 [ot/min]
- Posuvová rychlost: 2000 [mm/min]



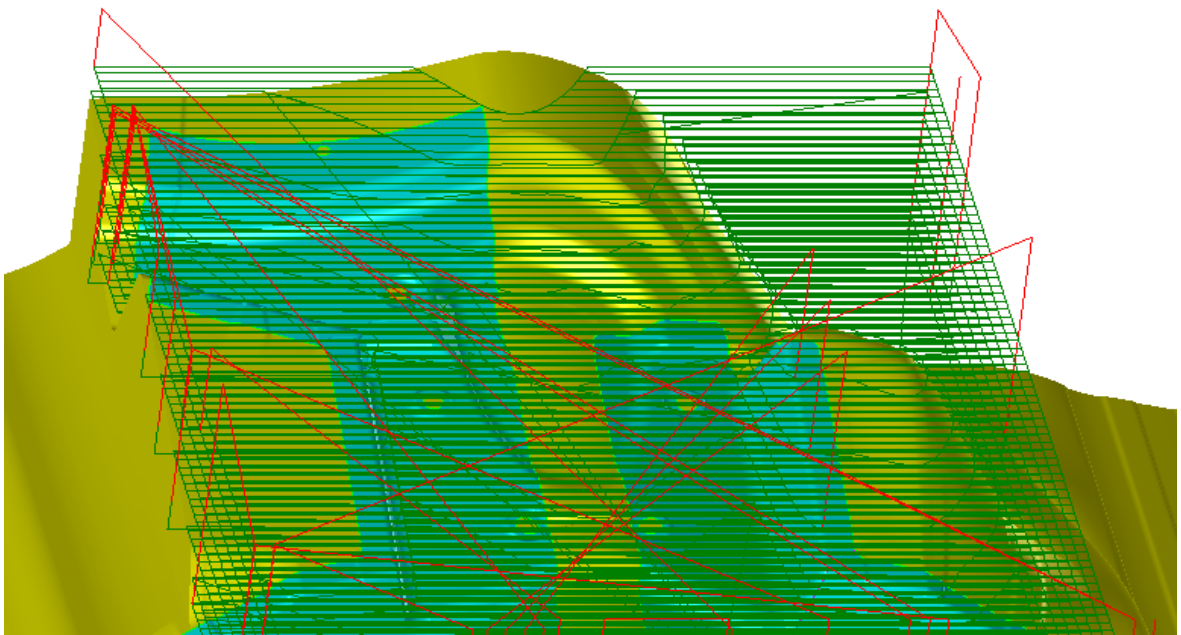
Obr. 43. Model formy



Obr. 44. Model formy – pohledy

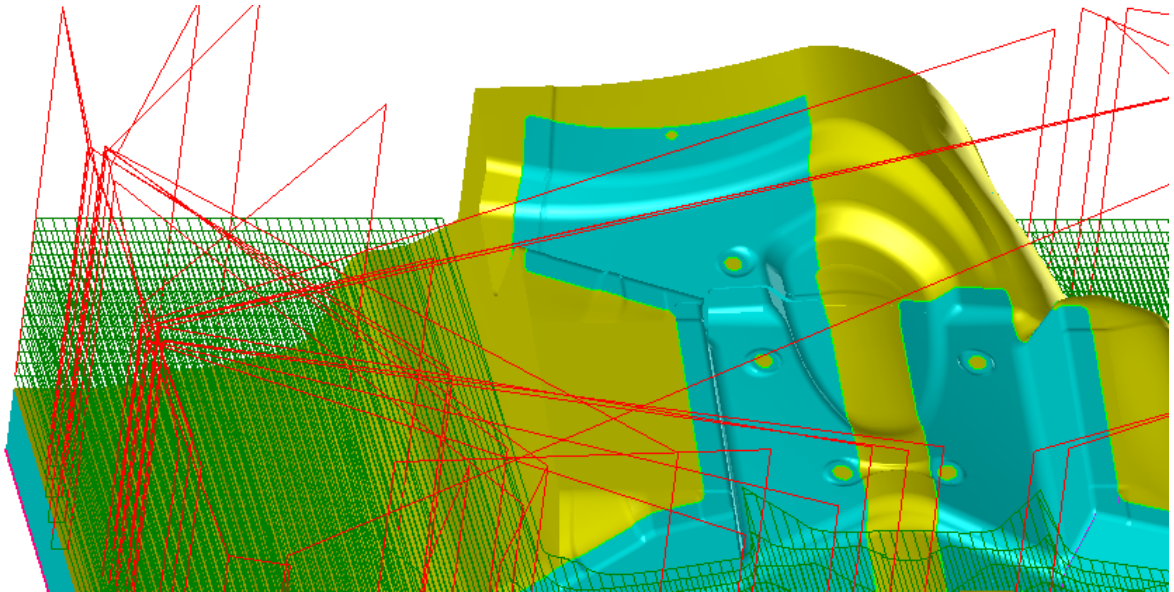
Sled operací:

- hrubování 1
- hrubování 2
- na čisto
- zbytkové obrábění 1
- zbytkové obrábění 2
- 3D kontura

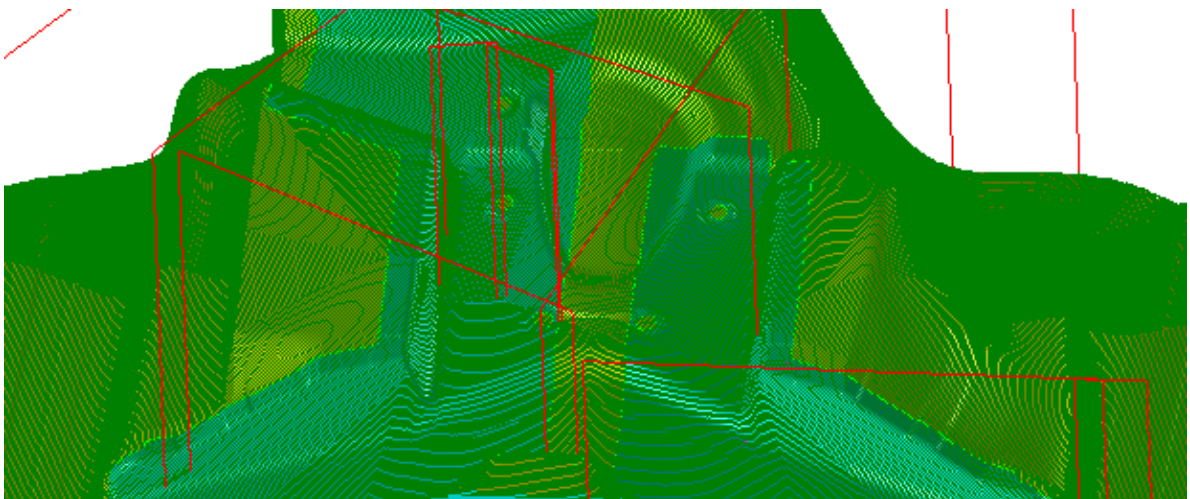


Obr. 45. Operace hrubování 1

- **Operace hrubování** – použit příkaz Z hrub - operace, při které se z polotovaru odebírá přebytečný materiál frézou a ponechává se přídavek materiálu pro další operace.
 - použito (u operace hrubování 1,2):
 - kulová fréza $\varnothing 20$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - tolerance plochy: 0,25 [mm]
 - krok v Z: 18 [mm]
 - krok v X, Y: 9 [mm]
 - postup kroků při programování je stejný jako u modelu 1

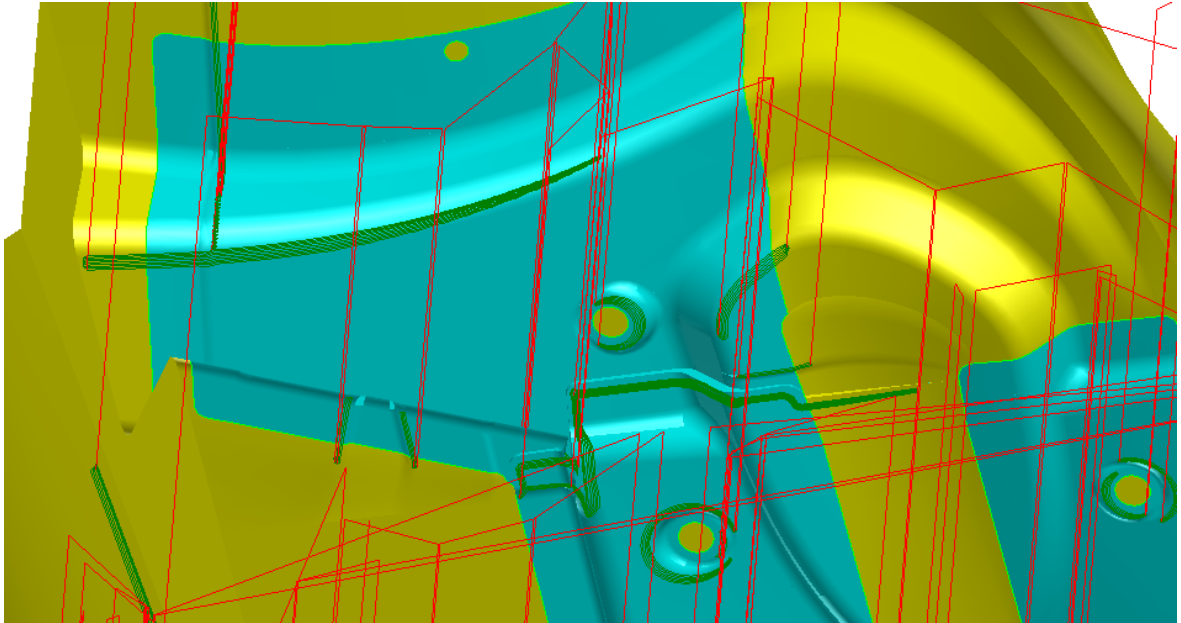


Obr. 46. Operace hrubování 2



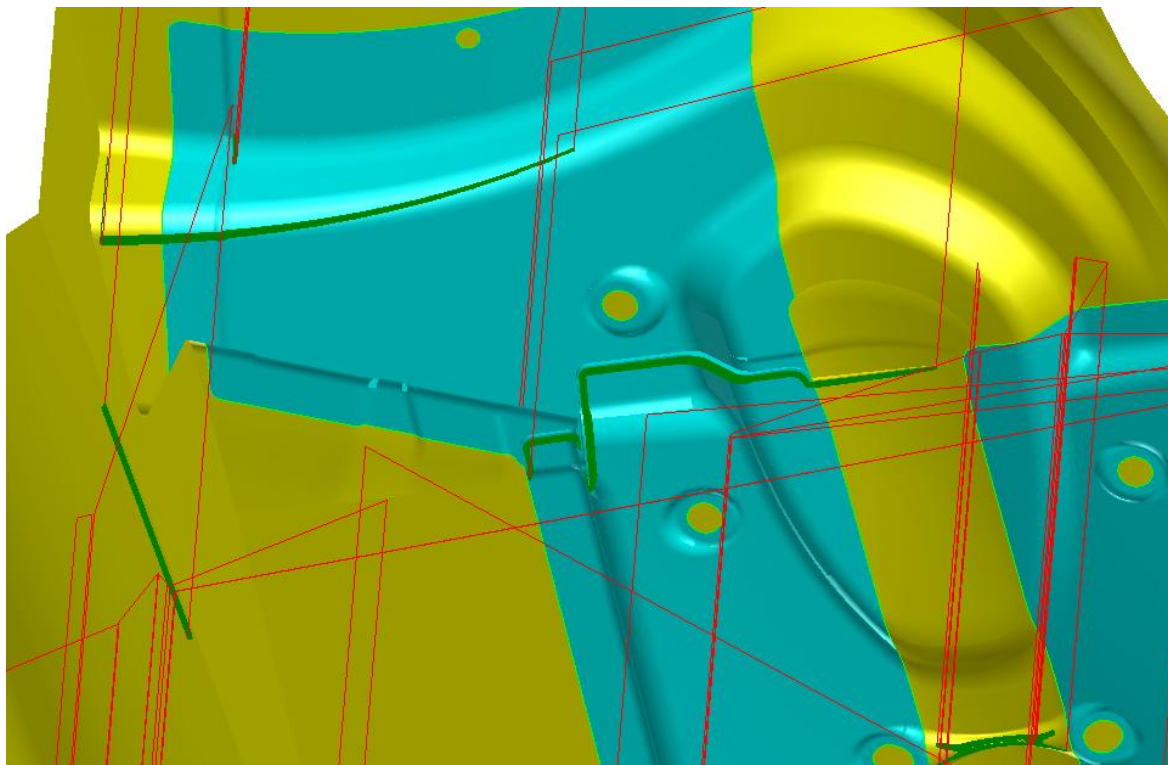
Obr. 47. Operace na čisto

- **Operace na čisto** – použit příkaz 3D ofset – operace, při které se z polotovaru po hrubování odebírá ponechaný přídavek materiálu již na požadovaný rozměr modelu.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 16$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]
 - stranový krok: 2 [mm]
 - postup kroků při programování je stejný jako u modelu 1



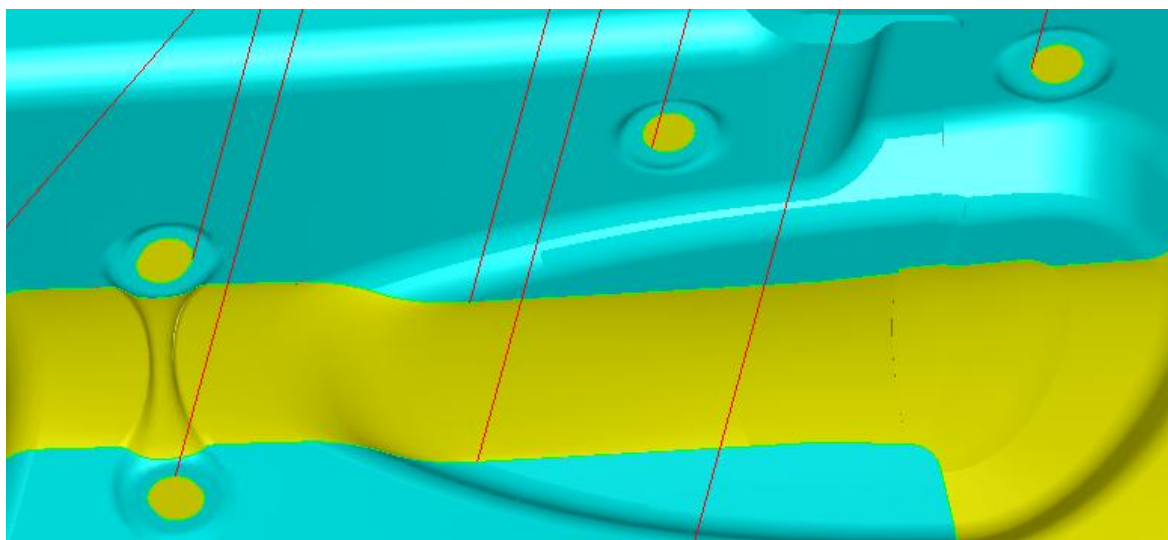
Obr. 48. Zbytkové obrábění 1

- **Operace zbytkové obrábění** – použit příkaz Zbytkové obrábění – operace, při které se po operaci na čisto odebrává zbytkový materiál, v místech, kde ho nebyl schopný odebrat nástroj s většími rozměry.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 8$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]
 - krok v Z: 0,8 [mm]
 - krok v X, Y: 0,8 [mm]
 - postup kroků při programování je stejný jako při zbytkovém obrábění u modelu 1



Obr. 49. Zbytkové obrábění 2

- použito:
 - kulová fréza $\varnothing 3$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]
 - krok v Z: 0,3 [mm]
 - krok v X, Y: 0,3 [mm]



Obr. 50. Operace 3D kontura

- **Operace 3D kontura** – použit příkaz Zbytkové obrábění – operace, při které se pomocí speciálního nástroje (ořezávačky) provádí tzv. ořez po kontuře. Jedná se o vyřezání nepatrného vrypu do materiálu, který slouží jako hranice pro oříznutí laminátového výrobku vyjmutého z formy.
 - použit speciální nástroj – ořezávačka
 - postup kroků při programování je stejný jako u modelu 1

Tab. 10. Strojní časy frézování modelu 2

SURFCAM		OPERAČNÍ LIST			
Číslo nástroje	Operace	Rychlost posuvu	Otáčky vřetene	Celkový čas	
139	3 Osé Z Hrubování 1	2000.00 mm/min	2200 ot/min	2:18:40	
139	3 Osé Z Hrubování 2	2000.00 mm/min	2200 ot/min	6:1:32	
138	Na Čisto (3D Ofset)	2000.00 mm/min	2200 ot/min	5:2:44	
9	Zbytkové obrábění 1	2000.00 mm/min	2200 ot/min	0:23:30	
5	Zbytkové obrábění 2	2000.00 mm/min	2200 ot/min	0:18:59	
111	3 Osé Obrábění Kontury	2000.00 mm/min	2200 ot/min	0:2:39	
Celkově				14:08:07	

7.3 Model 1 – programováno v Siemens NX8

Připravený model od zákazníka jsem nyní otevřel v programu NX. Podle ohraničení modelu jsem si připravil polotovár a nastavil počátek. Polotovár a model je totožný s modelem 1 programovaným v Surfcamu. Také použité nástroje a parametry při obrábění jsou stejné. Pouze použité operace se liší podle možností použitého software.

Rozměry polotovaru: 1200 x 150 x150 [mm]

Při každé operaci použito:

- Otáčky vřetene: 2200 [ot/min]
- Posuvová rychlost: 2000 [mm/min]

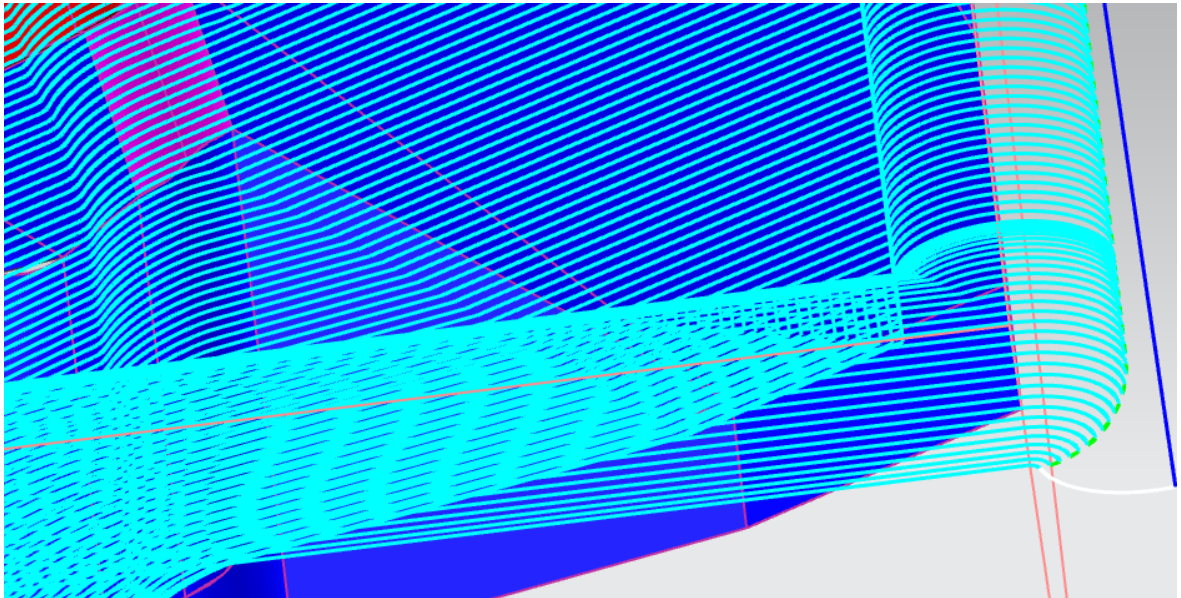
Sled operací:

- hrubování
- na čisto
- zbytkové obrábění
- 3D kontura

- **Operace hrubování** – použit příkaz CAVITY_MILL – operace, při které se z polotovaru odebírá přebytečný materiál frézou a ponechává se přídavek materiálu pro další operace.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 20$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - tolerance plochy: 0,25 [mm]
 - krok v Z: 18 [mm]
 - krok v X, Y: 9 [mm]

- **Operace na čisto** – použit příkaz CONTOUR_AREA – operace, při které se z polotovaru po hrubování odebírá ponechaný přídavek materiálu již na požadovaný rozměr modelu.

- použito:
 - kulová fréza $\varnothing 16$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]
 - stranový krok: 0,8 [mm]



Obr. 51. Operace na čisto

Při srovnání této operace se stejnou operací v programu Surfcam, je názorně vidět, že struktura vygenerovaných drah se od sebe liší, a tudíž je jiný i simulovaný čas.

- **Operace zbytkové obrábění** – použit příkaz FLOWCUT_REF_TOOL – operace, při které se po operaci na čisto odebírá zbytkový materiál, v místech, kde ho nebyl schopný odebrat nástroj s většími rozměry.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]
 - krok v Z: 0,8 [mm]
 - krok v X, Y: 0,8 [mm]
- **Operace 3D kontura** – použit příkaz PROFILE_3D – operace, při které se pomocí speciálního nástroje (ořezávačky) provádí tzv. ořez po kontuře. Jedná se o vyřezání

nepatrného vrypu do materiálu, který slouží jako hranice pro oříznutí laminátového výrobku vyjmutého z formy.

- použít speciální nástroj – ořezávačka

7.4 Model 2 – programováno v Siemens NX8

Připravený model od zákazníka jsem nyní otevřel v programu NX. Podle ohraničení modelu jsem si připravil polotovaru a nastavil počátek. Polotovaru a model je totožný s modelem 1 programovaným v Surfcamu. Také použité nástroje a parametry při obrábění jsou stejné. Pouze použité operace se liší podle možností použitého software.

Rozměry polotovaru:

Spodní díl: 1100 x 700 x 200 [mm]

Horní díl: 500 x 200 x 140 [mm]

Při každé operaci použito:

- Otáčky vřetene: 2200 [ot/min]
- Posuvová rychlost: 2000 [mm/min]

Sled operací:

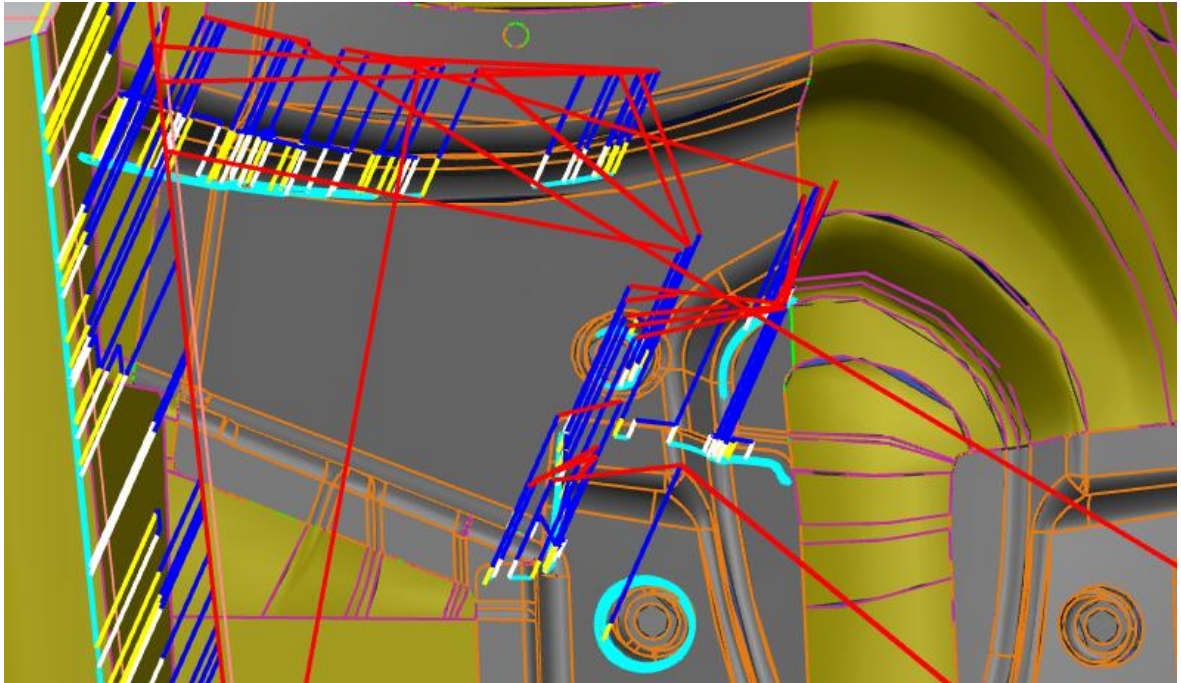
- hrubování
- na čisto
- zbytkové obrábění 1
- zbytkové obrábění 2
- 3D kontura

- **Operace hrubování** – příkaz CAVITY_MILL – operace popsána viz model 1.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 20$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - tolerance plochy: 0,25 [mm]

- krok v Z: 18 [mm]
- krok v X, Y: 9 [mm]

- **Operace na čisto** – příkaz CONTOUR_AREA – operace popsána viz model 1.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 16$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]
 - stranový krok: 2 [mm]

- **Operace zbytkové obrábění** – příkaz FLOWCUT_REF_TOOL – operace, popsána viz model 1.
 - použito (zbytkové obrábění 1):
 - kulová fréza $\varnothing 8$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]
 - krok v Z: 0,8 [mm]
 - krok v X, Y: 0,8 [mm]
 - použito (zbytkové obrábění 2):
 - kulová fréza $\varnothing 3$ [mm]
 - tolerance plochy: 0,02 [mm]
 - krok v Z: 0,3 [mm]
 - krok v X, Y: 0,3 [mm]



Obr. 52. Zbytkové obrábění 1

Při srovnání této operace se stejnou operací v programu Surfcam, je názorně vidět, že struktura vygenerovaných drah se od sebe liší, a tudíž je jiný i simulovaný čas.

- **Operace 3D kontura** – příkaz PROFILE_3D – operace popsána viz model 1.
 - použit speciální nástroj – ořezávačka

7.5 Porovnání strojních časů

Nyní porovnám strojní časy dosažené při programování modelů 1 a 2 v programech SURFCAM, Siemens NX a dosažené skutečné strojní časy.

Tab. 11. Porovnání dosažených strojních časů

Model 1 - SURFCAM		Model 1 - NX		Model 1 - skutečný strojní čas	
operace	strojní čas	operace	strojní čas	operace	strojní čas
hrubování	48 min	hrubování	54 min	hrubování	1 h 03 min
na čisto	4 h 11 min	na čisto	5 h 54 min	na čisto	4 h 17 min
zbyt. obr.	4 min	zbyt. obr.	14 min	zbyt. obr.	7 min
3D kontura	2 min	3D kontura	2 min	3D kontura	6 min
SOUČET	5 h 02 min	SOUČET	7 h 04 min	SOUČET	5 h 33 min

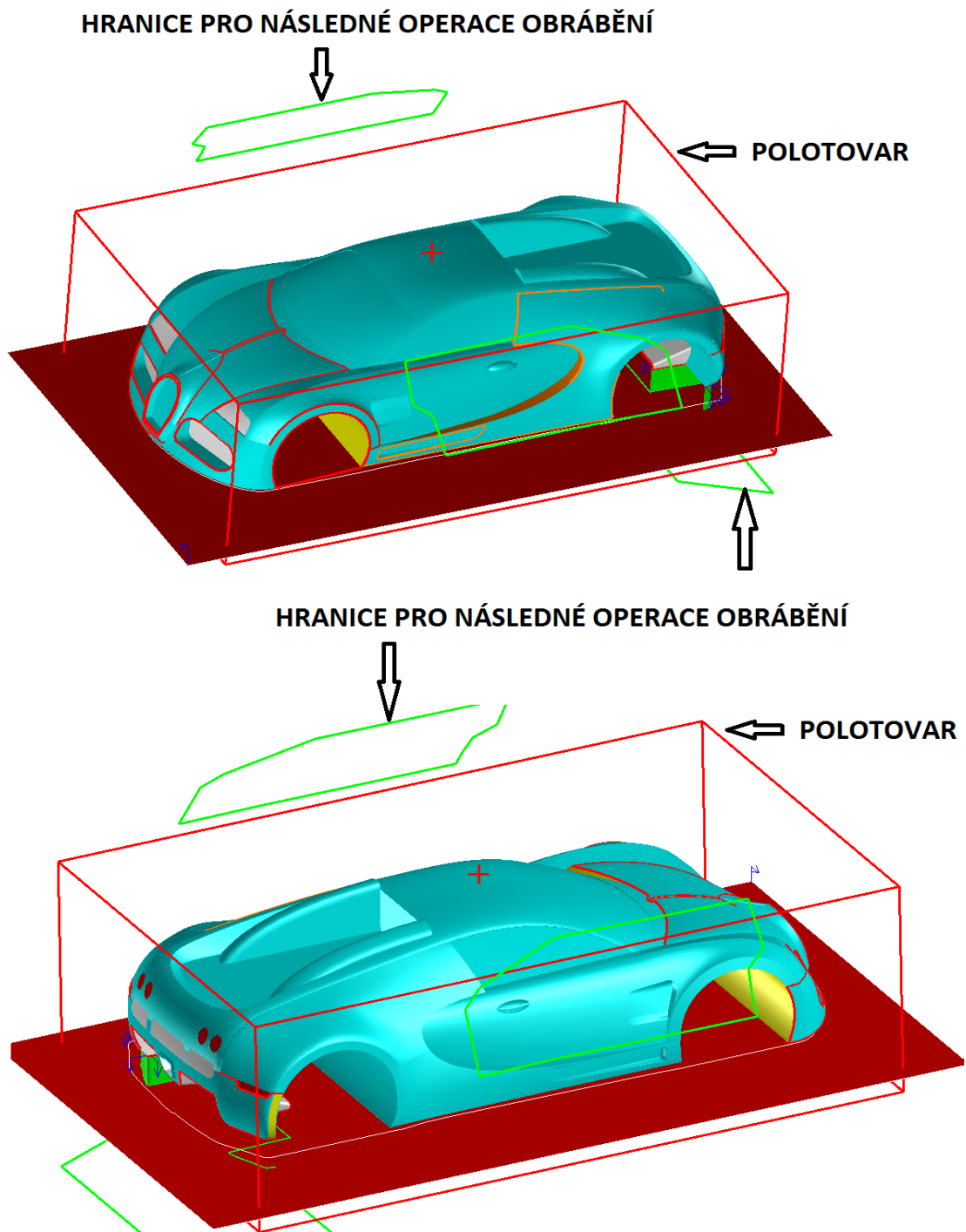
Model 2 SURFCAM		Model 2 - NX		Model 2 - skutečný strojní čas	
operace	strojní čas	operace	strojní čas	operace	strojní čas
hrubování 1	2 h 19 min	hrubování	5 h 20 min	hrubování 1	2 h 38 min
hrubování 2	6 h 02 min			hrubování 2	5 h 35 min
na čisto	5 h 03 min	na čisto	8 h 25 min	na čisto	6 h 43 min
zbyt. obr. 1	24 min	zbyt. obr. 1	1 h 45 min	zbyt. obr. 1	1 h 06 min
zbyt. obr. 2	19 min	zbyt. obr. 2	27 min	zbyt. obr. 2	36 min
3D kontura	3 min	3D kontura	4 min	3D kontura	43 min
SOUČET	14 h 10 min	SOUČET	16 h 01 min	SOUČET	17 h 21 min

7.6 Model 3 – programování v SURFCAM, a následná výroba

Nyní naprogramuji model auta v programu SURFCAM, který bude následně vyroben na portálové frézce Jobs Jomach 16 s operačním systémem HEINDENHAIN.

Tento model bude sloužit pro vakuové formování.

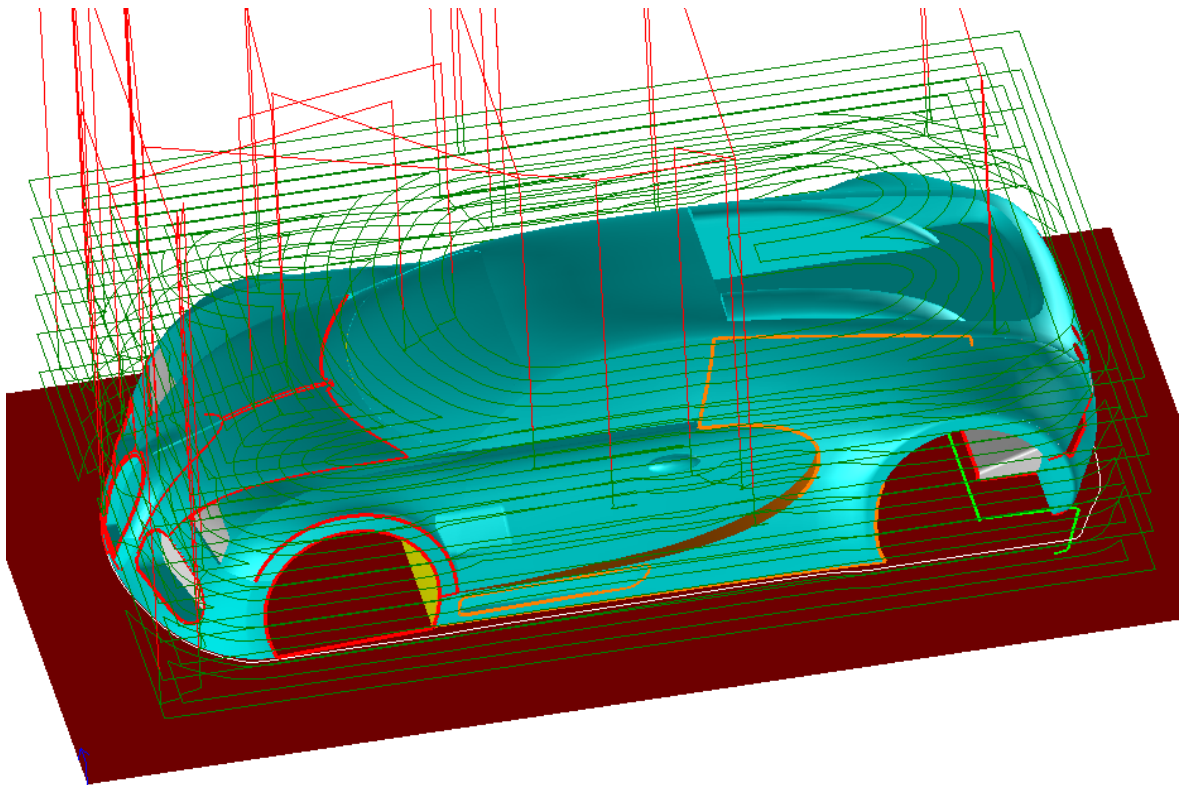
Rozměry polotovaru: 400 x 250 x 130 [mm]



Obr. 53. Model auta

Sled operací:

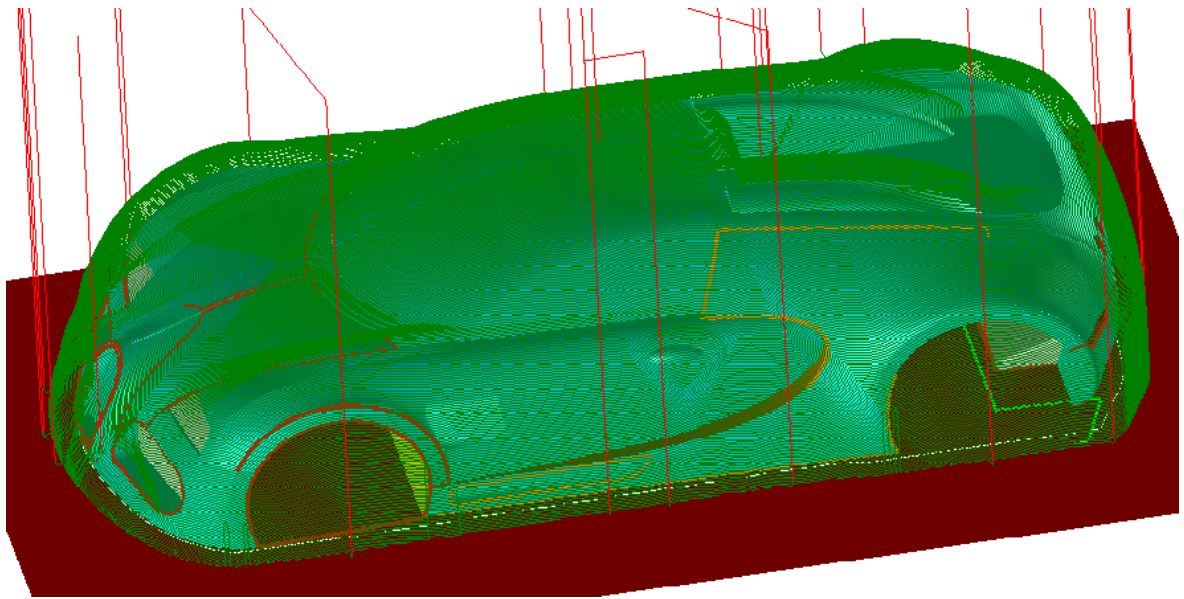
- hrubování
- na čisto
- zbytkové obrábění
- na čisto, zbytkové obrábění – přední část
- na čisto, zbytkové obrábění – levý bok
- na čisto, zbytkové obrábění – pravý bok
- na čisto, zbytkové obrábění – zadní část
- zarovnání



Obr. 54. Operace hrubování

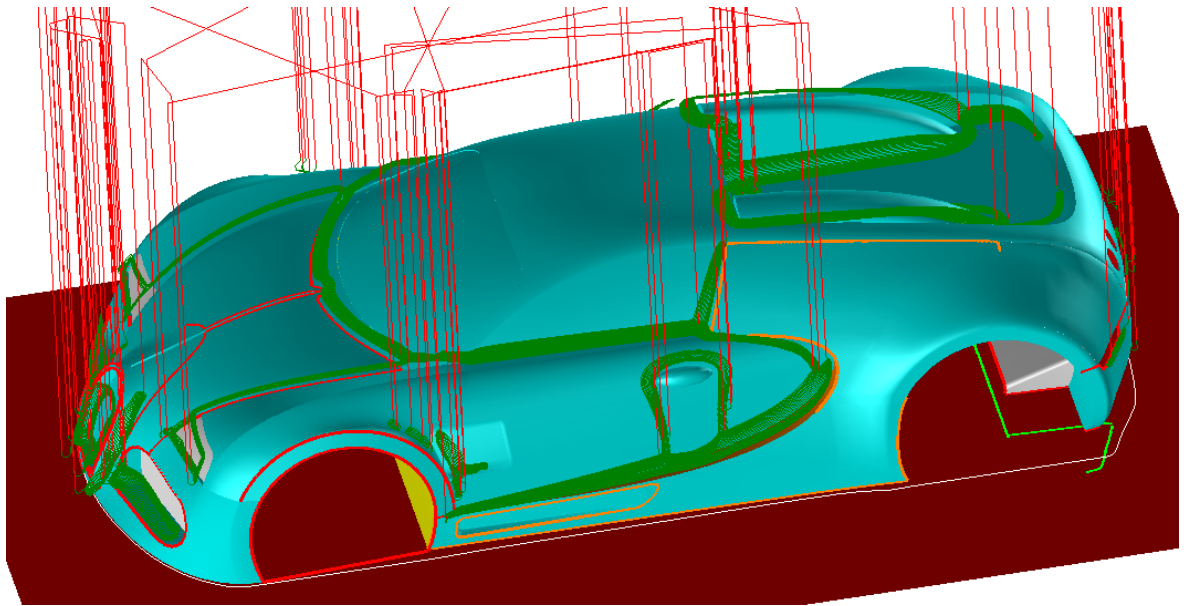
- **Operace hrubování** – operace, při které se z polotovaru odebrá přebytečný materiál frézou a ponechává se přídavek materiálu pro další operace.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 20$ [mm]
 - otáčky vřetene: 6000 [ot/min]
 - posuv: 8000 [mm/min]

- přídavek: 1 [mm]
- tolerance plochy: 0,2 [mm]
- krok v Z: 10 [mm]
- krok v X, Y: 9 [mm]
- postup kroků při programování je stejný jako při hrubování u modelu 1 a modelu 2



Obr. 55. Operace na čisto

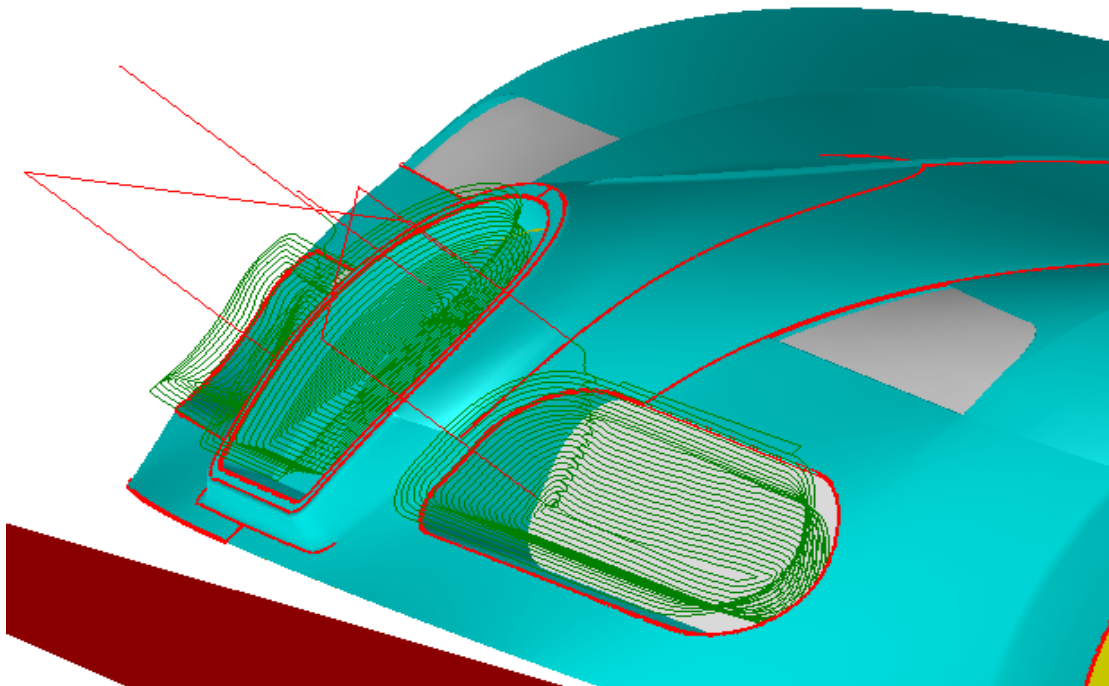
- **Operace na čisto** – operace, při které se z polotovaru po hrubování odebírá ponechaný přídavek materiálu již na požadovaný rozměr modelu.
 - použito:
 - kulová fréza $\varnothing 20$ [mm]
 - otáčky vřetene: 6000 [ot/min]
 - posuv: 8000 [mm/min]
 - tolerance plochy: 0,025 [mm]
 - stranový krok: 1 [mm]
 - postup kroků při programování je stejný jako při operace na čisto u modelu 1 a modelu 2



Obr. 56. Operace zbytkové obrábění

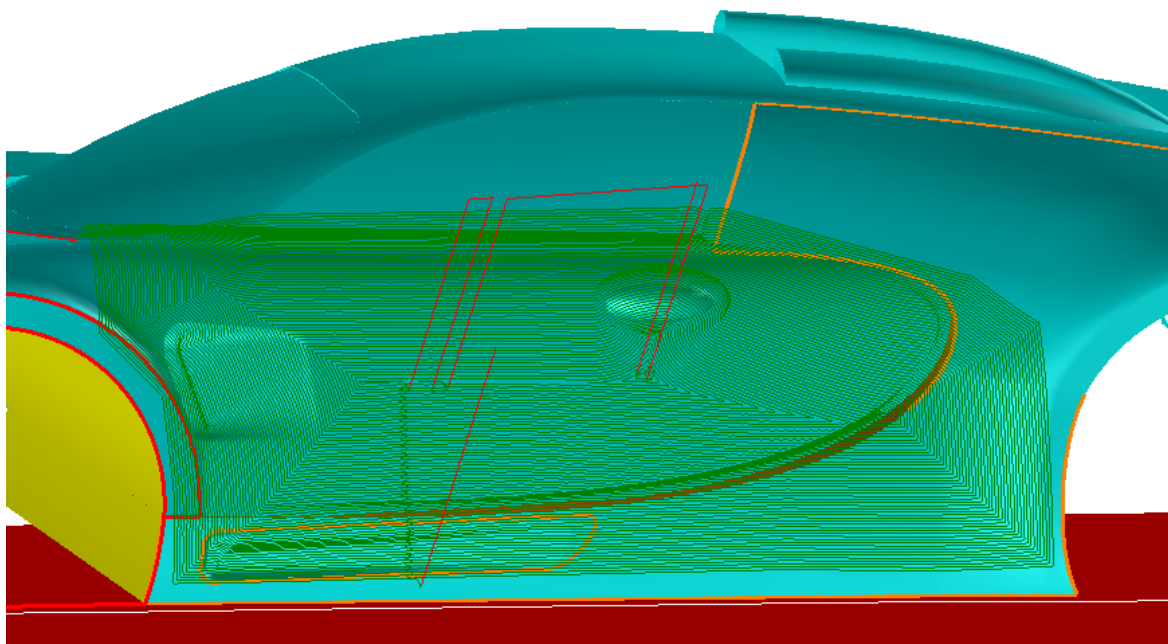
- **Operace zbytkové obrábění** – operace, při které se po operaci na čisto odebrává zbytkový materiál, v místech, kde ho nebyl schopný odebrat nástroj s většími rozměry.
 - použito (i u následujících operací – na čisto, zbytkové obrábění):
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]
 - otáčky vřetene: 7000 [ot/min]
 - posuv: 8000 [mm/min]
 - tolerance plochy: 0,025 [mm]
 - krok v Z: 0,6 [mm]
 - krok v X, Y: 0,6 [mm]
 - postup kroků při programování je stejný jako při operaci na čisto u modelu 1 a modelu 2

Na následujících obrázcích je použita metoda **Operace na čisto, zbytkové obrábění** – operace, která je totožná s metodou **Operace zbytkové obrábění**.



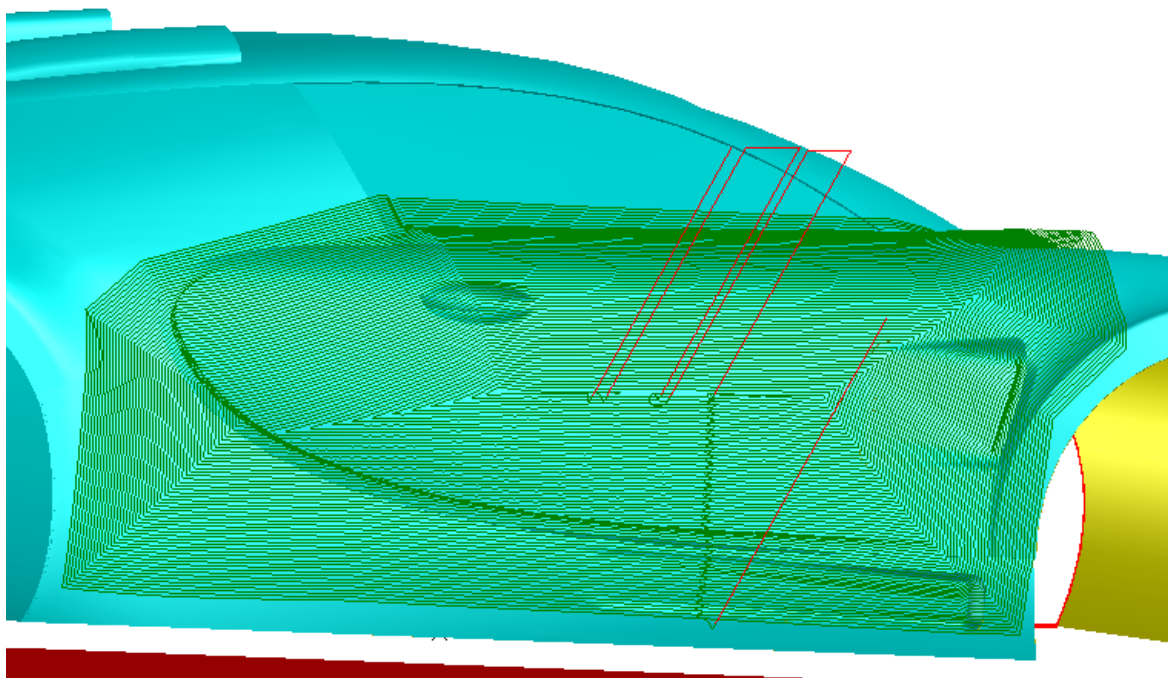
Obr. 57. Operace na čisto, zbytkové obrábění – přední část

- použita kulová fréza $\varnothing 6$ mm



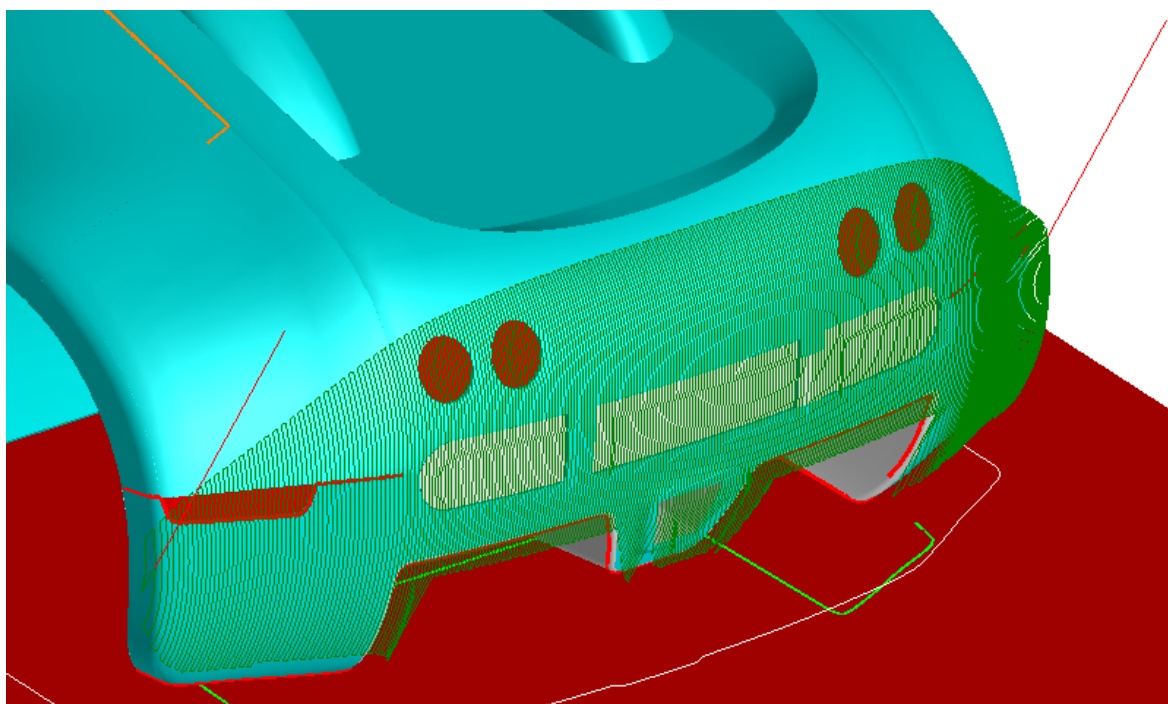
Obr. 58. Operace na čisto, zbytkové obrábění – levý bok

- použita kulová fréza $\varnothing 6$ mm



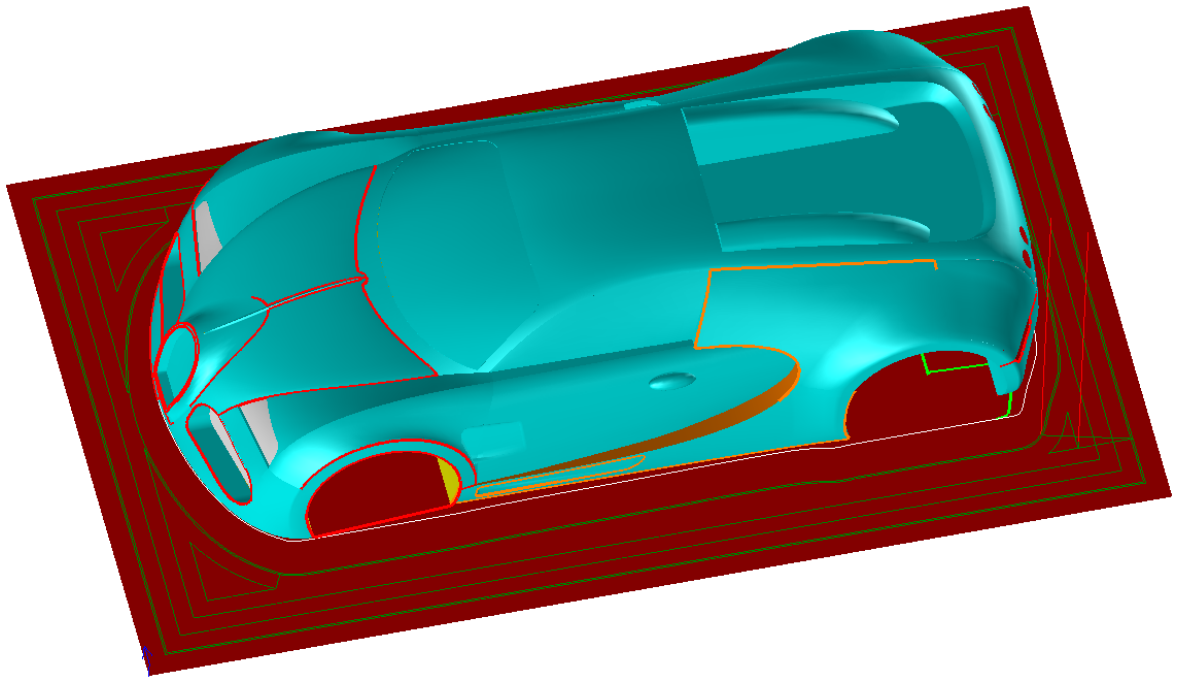
Obr. 59. Operace na čisto, zbytkové obrábění - pravý bok

- použita kulová fréza $\varnothing 6$ mm



Obr. 60. Operace na čisto, zbytkové obrábění – zadní část

- použita kulová fréza $\varnothing 6$ mm



Obr. 61. Operace zarovnání

- **Operace zarovnání** – operace, při které se po předchozích operacích zarovnají stopy zbylé po kulových frézách.
 - použito:
 - rovná fréza $\varnothing 20$ [mm]
 - otáčky vřetene: 5000 [ot/min]
 - posuv: 8000 [mm/min]
 - tolerance plochy: 0,025 [mm]
 - stranový krok: 8 [mm]
 - krok v Z: 8 [mm]
 - dokončovací stranový krok: 0,8 [mm]
 - dokončovací krok v Z: 0,8 [mm]

Tab. 12. Strojní časy frézování modelu auta

SURFCAM		OPERAČNÍ LIST		
Číslo nástroje	Operace	Rychlost posuvu	Otáčky vřetene	Celkový čas
4	Hrubování	8000.00 mm/min	6000 ot/min	0:5:13
4	Na Čisto (3D Ofset)	8000.00 mm/min	6000 ot/min	0:19:43
6	Zbytkové obrábění	8000.00 mm/min	7000 ot/min	0:9:28
6	Na čisto, zbytkové – předeek (3D Ofset)	8000.00 mm/min	7000 ot/min	0:0:59
6	Na čisto, zbytkové – levý bok (3D Ofset)	8000.00 mm/min	6000 ot/min	0:3:0
6	Na čisto, zbytkové – pravý bok (3D Ofset)	8000.00 mm/min	6000 ot/min	0:2:58
6	Na čisto, zbytkové – zadek (3 Osé Planární)	8000.00 mm/min	7000 ot/min	0:1:40
20	Zarovnání (2 Osé Kapsování)	8000.00 mm/min	5000 ot/min	0:1:3
Celkově				0:44:7

7.7 CNC modelovací frézka Jobs Jomach 16

CNC modelovací portálová frézka Jobs Jomach 16 s operačním systémem Heidenhain je vhodná především k obrábění měkkých materiálů jako je dřevo, plast, ale především syntetického dřeva (např. ureol, necuron atd.), případně se dá použít i pro obrábění hliníku.

Parametry stroje:

- Pracovní rozpětí os: $x = 6,5$ m, $y = 1,5$ m, $z = 3$ m.
- Rychloposuv: 1600 mm/min.
- Otáčky vřetene: 12000 ot/min.
- Přesnost: 0,03 mm.
- Výkon elektromotoru: 7 kW.
- Chlazení vřetene: kapalina.



Obr. 62. CNC frézka Jobs Jomach 16

ZÁVĚR

V praktické části diplomové práce bylo cílem naprogramovat dva modely ve dvou různých obráběcích programech (Surfcam, Siemens NX) a porovnat jejich simulované strojní časy. Dalším cílem bylo naprogramovat jeden model (auto) v programu Surfcam a jeho následnou výrobu na modelovací frézce Jobs Jomach 16.

Při programování v programech Surfcam a Siemens NX jsem se snažil použít podobné operace, aby byl výsledek v obou programech stejný. To ale na 100% nejde, protože každý ze zmíněných programů má nastaveny jiné parametry, podle kterých počítá dráhy obrábění.

Při srovnání simulovaných strojních časů je zřejmé, že se od sebe liší, jelikož je každý program počítá podle svých zásad. Když tyto časy srovnáme se skutečnými strojními časy dosaženými při výrobě, je zřejmé, že je musíme brát s rezervou, poněvadž se při výrobě manipuluje s výkonem stroje podle potřeby obrábění. Proto simulované strojní časy bereme pouze jako orientační dobu, za kterou může být daný kus vyroben.

V předposlední kapitole se věnuji programování modelu auta, který byl následně vyroben. Fotografie vyrobeného modelu se nacházejí v příloze.

Závěrem chci zhodnotit, že všechny vytvořené programy a postupy jsou správné, jelikož byly všechny modely reálně vyrobeny. Model 1 a model 2 byl zakázkou na přání zákazníka. Model 3 (auto) – byl vyroben pro názornou ukázkou a prezentaci výroby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DEJMEK, J. *Z historie vývoje fréz, frézovacích strojů a frézování*. Článek napsán r. 1950. Dostupné z: WWW: <http://www.tumlikovo.cz/z-historie-vyvoje-frez-frezovacich-stroju-a-frezovani/>
- [2] Frézování. Z Wikipedie: *Frézování*. Dostupné z WWW: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Frézování](http://cs.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD)
- [3] AB Sandvik Coromant. *Příručka obrábění, Kniha pro praktiky*. S-811 81 Sandviken, Švédsko. 1997 Sandvik Coromant. 1. české vydání 1997, Scientia. ISBN 91-9722-99-4-6.
- [4] Svět CNC strojů. Internetový text. Dostupný z WWW: <http://www.cnc.estranky.cz/clanky/trochu-teorie.html>
- [5] ŘASA, J; GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 – Metody, stroje a nástroje pro obrábění (1. Díl)*. Scientia, spol. s. r. o., pedagogické nakladatelství, Praha 2000. ISBN 80-7183-207-3
- [6] FABIAN, M.; SPIŠÁK, E. *Navrhování a výroba s pomocí CA.. technologií*. Editace vědecké a odborné literatury, Brno 2009. ISBN 978-80-85825-65-7
- [7] FABAN, M.; SPIŠÁK, E. *Výroba nástrojov pre výrobu tvarov za využitia CA.. technológií*. In: Acta Mechanica Slovaca, 2-B/2004, Košice 2004, ISSN 1335-2393
- [8] KALPAKJIAN, S. *Manufacturing Engineering and technology*. Addison-Wesley Publishing Company, New York 1990, ISBN 0-201-12849-7
- [9] GROOVER, P.M. *Fundamentals of Modern Manufacturing*. Second edition, J. Wiley & Sons, Inc., New York 2002, ISBN 0-471-40051-3
- [10] Centrum informatiky Sjf TU v Košiciach, CAD/CAM - modelovanie, NC obrábanie. Dostupné z WWW: <http://www.sjf.tuke.sk/ci/catia/index.html>
- [11] TUČEK J. *Kupé ÚVMV 1100GT – Elegán z Vysočan*. In: automobil revue 8/2000 Unipress Praha. ISSN 1211-9555
- [12] LÍKAŘ, O.; SEDLÁK, I. *Výroba automobilů a technický pokrok*. In: automobil 5/1977 SNTL Praha.
- [13] HYAN, T. *Továrna na nápady*. Zdroj: Automobil revue 12/2004.

- [14] Car design online, Clay modelling. Dostupné z WWW:
<http://cardesignonline.com/design/modelling/clay-modelling.php>
- [15] HENDRYCH, T. *Reverse engineering v automobilovom priemysle*. In: itCAD 6/2004, Brno2004, ISBN 0862-996x.
- [16] Strojírenství – Frézování. Dostupný z WWW:
<http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz/2011/03/>
- [17] ZPS frézovací nástroje. Dostupné z WWW:
http://www.zps-fn.cz/html/frezy.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=frezovaci-nastroje
- [18] MAREK, J. a kolektiv. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. MM publishing, s. r. o., 2010, 429Ss. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [19] ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-700-207-8.
- [20] KRONUS, P. *Učebnice SURFCAM*. 1. vyd. květen 2003. 3E Praha Engineering a.s.
- [21] HVĚZDA, P. *CNC výroba tvarové součásti*. Bakalářská práce 2011, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [22] ŠIMONÍK, J. *Pětiosé CNC frézování a tvorba programových modelů*. Diplomová práce 2011, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SW	Software
NX	Siemens NX – programovací software
CAD	Computer Aided Design – počítačem podporovaný návrh
CAM	Computer Aided Manufacturing – počítačem podporovaná výroba
CAE	Computer Aided Engineering – počítačem podporované inženýrství
PC	Personal Computer – osobní počítač
NC	Numeric Control – číslicové řízení
CNC	Computer Numeric kontrol – počítačem číslicové řízení
DNC	Direct Numerical Control – Distribuované (přímé) číslicové řízení
CA..	Computer Aided – počítačová podpora
F_z	Řezná síla
a	Tloušťka třísky
F	Fréza
O	Obrobek
n	Otáčení frézy
f	Posuv obrobku
f_z	Posuv na zub frézy
a_e	Hloubka frézování
z	Začátek záběru jednotlivých zubů frézy
ČSN	Česká technická norma
ISO	International Organization for Standardization - mezinárodní organizace pro Standardizaci
DIN	Deutsche Industrie-Norm – německá národní norma
PN	Polska Norma – polská norma.
HSS	Rychlořezná ocel, vysoce výkonná

HSSE	Rychlořezná ocel, vysoce výkonná
HSS Co5	Rychlořezná ocel, vysoce výkonná
HSS Co8	Rychlořezná ocel, vysoce výkonná
HSSE-PM	Rychlořezná ocel, vysoce výkonná
PVD	Physical Vapor Deposition – povlaky na nástroje
TiN	povlaky na nástroje
TiCN	povlaky na nástroje
TiAlN	povlaky na nástroje
AlTiN	povlaky na nástroje
AlTiCrN	povlaky na nástroje
AlTiCrO	povlaky na nástroje
CrN	povlaky na nástroje
PKBN	Výměnné destičky nástrojů
DIA	Diamantové řezné kotouče
CAA	Computer Aided Assembly - počítačová podpora montáže výrobků (analýza)
1D	1dimenze
2D	2 dimenze
3D	3 dimenze
5D	5 dimenzí
VŠ	Vysokoškolské vzdělání
VW	Volkswagen - automobilka
X, Y, Z	3osý souřadný systém - frézka
X, Z	2osý souřadný systém - soustruh
M	Nulový bod stroje
W	Nulový bod obrobku

G	Funkce
R	Referenční bod stroje
P	Bod špičky
F	Vztažný bod supportu nebo vřetene
E	Bod nastavení nástroje

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Typy frézování [16]</i>	14
<i>Obr. 2. Upínání fréz [16]</i>	23
<i>Obr. 3. Výroba makety 1:1 na CNC obráběcím stroji ve vývojovém centru PSA [13]</i>	31
<i>Obr. 4. Schéma procesu výroby modelu a nástrojů na bázi CAD/CAM [6]</i>	32
<i>Obr. 5. Vytvoření hliněného modelu na základě skic [14]</i>	32
<i>Obr. 6. „Mračno bodů“, triangulační síť a vyhlazený povrchový model [15]</i>	33
<i>Obr. 7. Schéma procesu reverse engineering s následnou výrobou nástrojů na bázi digitalizovaného modelu [6]</i>	34
<i>Obr. 8. Souřadnicový systém používaný v NC řízení [9]</i>	36
<i>Obr. 9. Schéma polohovacího systému v NC řízení [9]</i>	36
<i>Obr. 10. Schéma otevřeného a uzavřeného obvodu řízeného pohybu [9]</i>	38
<i>Obr. 11. Princip práce fotoelektrického snímače [8]</i>	38
<i>Obr. 12. Schematické ukázky systémů řízení pohybu [8]</i>	39
<i>Obr. 13. Typy interpolace: lineární, kontinuální dráha aproximovaná úsečkami, kruhová [8]</i>	40
<i>Obr. 14. 3D frézky EMCO MILL 155 a ovládací panel stroje [6]</i>	40
<i>Obr. 15. Jednoduchá pracovní hlava 3D frézky, karuselová hlava 3D frézky a hlava 5D frézky [6]</i>	41
<i>Obr. 16. Definování jednotlivých prvků pro obrábění nahrubo a sladění počátku souřadnicového systému CAD/CAM se souřadnicovým systémem stroje [10]</i>	43
<i>Obr. 17. Vizualizace dráhy nástroje a obrobení tvaru nahrubo [10]</i>	44
<i>Obr. 18. Vizualizace dráhy nástroje a zpracování tvaru horní plochy načisto [10]</i>	44
<i>Obr. 19. Vizualizace dráhy nástroje a zpracování zaoblení [10]</i>	45
<i>Obr. 20. Vizualizace obrobení vybrání pro popis polohy voličem řazení [10]</i>	45
<i>Obr. 21. Ukázka části NC programu ve formátu APT a ve formátu řídicího systému frézky FC 16 CNC [10]</i>	46
<i>Obr. 22. Hrubování polotovaru a obrábění horní tvarové plochy načisto [10]</i>	46
<i>Obr. 23. Obrábění zaoblení a vybrání pro popis polohy voliče [10]</i>	47
<i>Obr. 24. Ukázka vizualizace produktu a analýzy zakřivení povrchu [10]</i>	48
<i>Obr. 25. Blokové schéma CNC obráběcího stroje (zjednodušené) [19]</i>	54
<i>Obr. 26. Řídicí panel CNC stroje (ukázka jednoho z mnoha provedení) [19]</i>	56
<i>Obr. 27. Definování kartézských souřadnic, pravotočivá soustava [19]</i>	57

<i>Obr. 28. Definice bodu P pomocí úhlu a vzdálenosti (praktické použití pro vrtání otvorů na roztečné kružnici [19]</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 29. Souřadnicový systém frézky a nulové body [19]</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 30. Svislá frézka a roviny obrábění [19]</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 31. Model formy</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 32. Model formy – pohledy</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 33. Operace hrubování</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 34. Operace hrubování - informace o nástroji</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 35. Operace hrubování - kontrola obrábění</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 36. Operace hrubování - nastavení kapsování</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 37. Operace hrubování - 3osé obrábění</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 38. Operace na čisto</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 39. Operace na čisto - nájezdy, odjezdy</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 40. Operace zbytkové obrábění</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 41. Operace 3D kontura</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 42. Ořezávačka</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 43. Model formy</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 44. Model formy – pohledy</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 45. Operace hrubování 1</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 46. Operace hrubování 2</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 47. Operace na čisto</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 48. Zbytkové obrábění 1</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 49. Zbytkové obrábění 2</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 50. Operace 3D kontura</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 51. Operace na čisto</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 52. Zbytkové obrábění 1</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 53. Model auta</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 54. Operace hrubování</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 55. Operace na čisto</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 56. Operace zbytkové obrábění</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 57. Operace na čisto, zbytkové obrábění – přední část</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 58. Operace na čisto, zbytkové obrábění – levý bok</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 59. Operace na čisto, zbytkové obrábění - pravý bok</i>	<i>96</i>

<i>Obr. 60. Operace na čisto, zbytkové obrábění – zadní část</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 61. Operace zarovnání</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 62. CNC frézka Jobs Jomach 16.....</i>	<i>99</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Řezné podmínky při frézování.....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 2. Dosažitelné přesnosti v závislosti na způsobu frézování</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3. Dosažitelné přesnosti v závislosti na způsobu frézování</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 4. Obecný příklad [19]</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 5. Význam nepoužívanějších adres [19].....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 6. Význam funkcí [19]</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 7. Použití nejdůležitějších funkcí G, M [19]</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 8. Funkce G určená pracovním rovinám [19]</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 9. Strojní časy frézování modelu 1.....</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 10. Strojní časy frézování modelu 2</i>	<i>84</i>
<i>Tab. 11. Porovnání dosažených strojních časů.....</i>	<i>90</i>
<i>Tab. 12. Strojní časy frézování modelu auta</i>	<i>98</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I: FOTO AUTA – 1

P II: FOTO AUTA – 2

P III: Další přílohy jsou na CD, které je vloženo v diplomové práci. Naprogramované modely v SW Surfcam a NX jsou umístěny ve složce: „modely“.

PŘÍLOHA P I: FOTO AUTA – 1



PŘÍLOHA P II: FOTO AUTA – 2

