



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



CNC projekt

Ing. Ladislav Fojtl, Ph.D.

*„Tento výstup lze užít v souladu s licenčními podmínkami Creative Commons BY 4.0 International
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>).“*



Obsah

Obsah	2
Úvod.....	3
1 Více-osé frézování	4
1.1 Popis pracovního stroje – DMG MORI DMU 50 (3. generace)	4
1.2 Vzorový návod – 5-osé obrábění součásti	5
2 Soustružnicko/Frézovací obrábění	10
2.1 Popis pracovního stroje – DMG MORI NTX 1000 (2. generace)	10
2.2 Vzorový návod – obrábění součásti pomocí kombinovaného soustružnicko/frézovacího centra.....	11
3 Volba nástrojů a řezných podmínek	18
4 Obecný postup při CNC obrábění dílců v praxi	21
5 Zadání projektů pro laboratorní cvičení	24
Literatura.....	25
Symboly a zkratky	26
Seznam obrázků.....	27
Seznam tabulek	28

Úvod

Laboratorní cvičení z předmětu CNC projekt, jak již název napovídá, slouží k praktické výrobě součástí pomocí technologie CNC obrábění. Hlavním úkolem je aplikace znalostí získaných v předmětech zaměřených na technické kreslení, 3D CAD modelování, strojírenské technologie a samotné CAM programování v softwaru Siemens NX do konkrétních projektů. Předmět rozvíjí technické myšlení studentů, jejich samostatnost a představivost a umožňuje jim tak ovládání moderních počítačem řízených center a obrábění součástí vytvořených z jejich návrhů a konstrukcí.

Text v tomto dokumentu je koncipován tak, aby studenta seznámil se znaky dané technologie obrábění, hlavními výhodami automatizované CNC výroby a ukázal vzory součástí, které mohou studentovi pomoci s návrhem svých vlastních součástí, jejichž vytvoření je požadavkem u obou zadávaných projektů. Další kapitolou je pak popis výrobního zařízení, se kterým má student pracovat a následně pod dozorem vyučujícího provést samotné obrábění. Student je seznámen pomocí ukázkového návodu s aspekty programování v softwaru Siemens NX12 pro oba dané typy obráběcích zařízení.

1 Více-osé frézování

Při obrábění (frézování) pomocí simultánních (kontinuálních) 5-os dochází k současnému pohybu lineárních i rotačních os obráběcího stroje. NC program tedy obsahuje mimo záznamu o poloze lineárních os X, Y, Z také polohy rotačních os B, a C. Tradiční zápis pohybu pro 5-osé obrábění do NC programu je popsán níže (Obrázek 1). (Smid, 2007)

Mezi hlavní výhody 5-osého obrábění patří úspora času a v řadě případů i zvýšení přesnosti či stupně automatizace a to zejména při obrábění složitých tvarových povrchů bez nutnosti měnit upnutí obrobku v obráběcím stroji nebo upravovat nulový bod programu. Polohu osy nástroje vůči obrobku je možné plynule měnit za účelem obrobení celého tvaru při zachování požadované kvality povrchu obrobku. Toto vyklonění, které provádí hlavní vřeteno nebo upínací pracovní stůl, umožňuje získat vyšší kvalitu povrchu a vede ke zvýšení samotné životnosti nástroje, například při obrábění jeho bokem. (Akademie CNC obrábění (82), 2012)

```
55 L X-17.838 Y-3.196 Z-2.810 B-15.098 C-58.923
```

Obrázek 1 Vzor zápisu dráhy do NC programu pro 5-osé obrábění (5-os souvisle, 2018)

Pěti-osé CNC frézování patří mezi nejvýznamnější výrobní technologie v leteckém a automobilovém průmyslu (Obrázek 2), přičemž díky zvyšujícím se požadavkům na přesnost a nutnosti automatizace dochází k jeho aplikaci ve zbrojním průmyslu, ale také například v plastikářském průmyslu při výrobě nástrojů; u vstřikovacích forem a elektrod pro elektroerozivní hloubení.



Obrázek 2 Příklady výrobků 5-osého obrábění; A-tělo pumpy, B-Nosný prvek z leteckého průmyslu, C-tělo frézy (DMU 50 3rd generation, 2018)

1.1 Popis pracovního stroje – DMG MORI DMU 50 (3. generace)

Stroj DMU 50 (Obrázek 3) je univerzální 5-osé vertikální obráběcí centrum se zásobníkem až na 30 nástrojů s upínáním typu HSK-A63. Hlavní vřeteno pracuje v rozmezí otáček od 20 do 20 000 min⁻¹ s rychlostí posuvu maximálně 42 m/min.

Rotační upínací stůl umožňuje upínání polotovarů do maximální velikosti 630 x 630 x 500 mm a hmotnosti 300 kg. Rychlost pohybu 4. (označované jako B) a 5. (označované jako C) osy je maximálně 30 min^{-1} s rozsahem vyklopení upínacího stolu do obou stran $-35^\circ / +110^\circ$ pro osu B a plných 360° pro osu C. Součástí stroje je také měřicí dotyková sonda s infra přenosem. (DMU 50 3rd generation, 2018)



Obrázek 3 Univerzální obráběcí stroj DMU 50 s detailem pracovního prostoru (DMU 50 3rd generation, 2018)

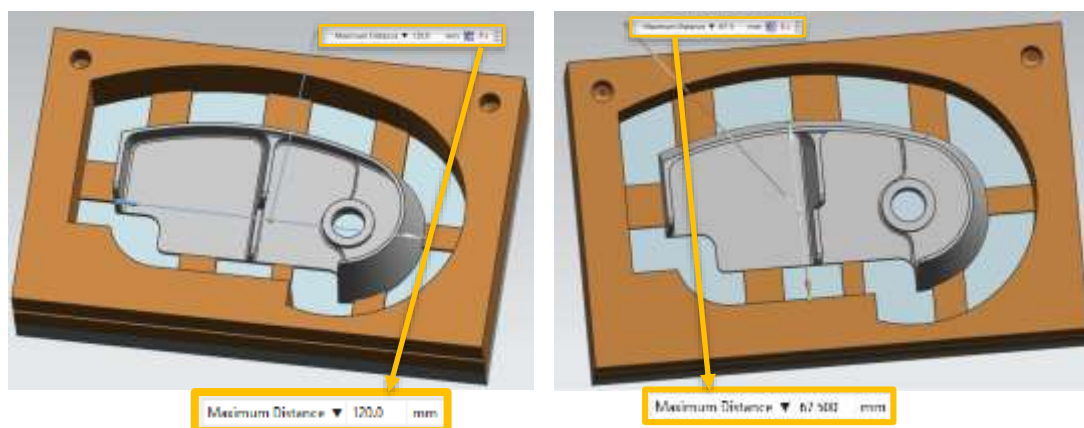
Obráběcí stroj DMU 50 je vybaven řídicím systémem SINUMERIK 840D sl Operate od společnosti Siemens s řízením CELOS. (SINUMERIK 840D sl Operate, 2018)

1.2 Vzorový návod – 5-osé obrábění součásti

Níže uvedený návod popisu programování frézovacích operací v pěti osách pomocí programu Siemens NX12.

A. Analýza 3D součásti

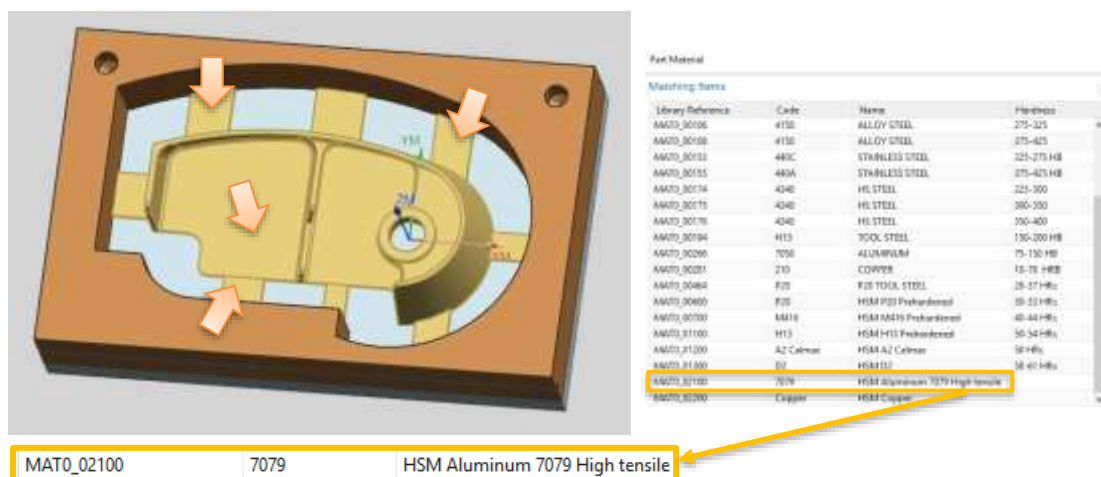
Dle dodaných 2D výkresů provedeme kontrolu vybraných rozměrů a tvarů na 3D modelu. Maximální rozměry (Obrázek 4) pak poslouží k volbě rozměrů polotovaru zvětšeného o přírůstky na upnutí a obrábění. Vzorová součást je specifická svou aplikací do leteckého průmyslu, kde se často používá frézování do rámu polotovaru (ten se volí při definici polotovarů („Workpiece“) jako upínka („Check“).



Obrázek 4 Měření maximálních rozměrů frézované součásti pomocí funkce „Measure“

B. Tvorba nové úlohy a základní definice v programu (Multi-Axis)

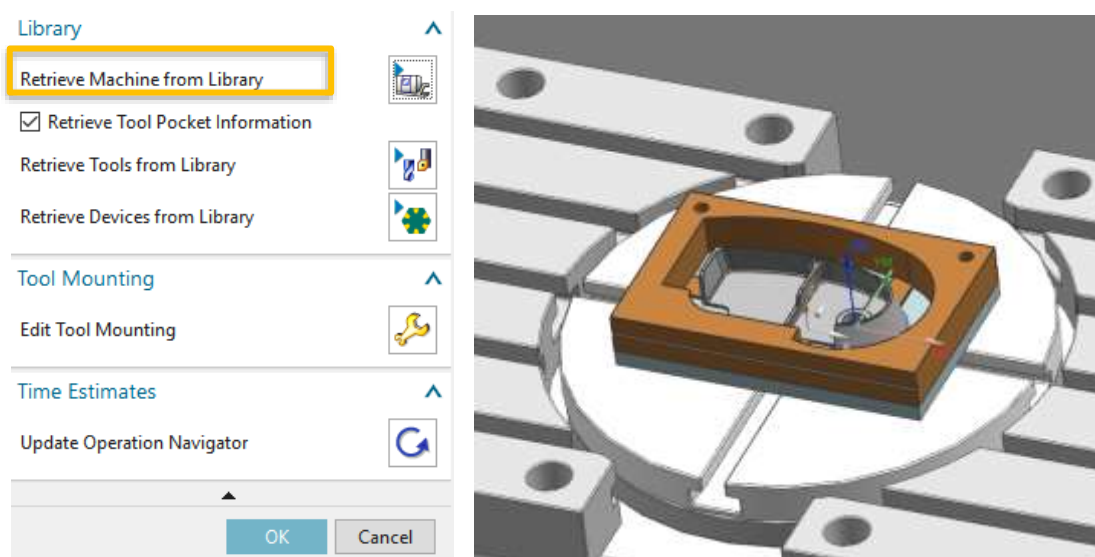
Tvorba nové více-osé frézovací úlohy probíhá v záložce „Manufacturing“ s výběrem typu „Multi-Axis (Essentials)“. Souřadný systém hlavního vřetene (MCS) se definuje v záložce „Geometry View“. Nutné je také zvolit minimální hodnotu bezpečných přejezdů nástrojů („Safe Clearance Distance“). Následuje výběr geometrie součásti včetně přídržných výstupků a určení materiálu – v tomto případě například Hliník typu HSM 7079 (Obrázek 5).



Obrázek 5 Určení geometrie součásti a volba materiálu

Dle rozměrů jednotlivých tvarů tvořící součást je třeba vybrat vhodné nástroje, a to ať už z dostupných knihoven v programu NX12 nebo vlastní modelací. Pro obrábění vzorové součásti je třeba v úvodní fázi dvou válcových fréz o průměrech 15 a 8 mm s rádiusy spodní hrany 3, respektive 1 mm.

Následně je specifikováno uložení polotovaru. V prvním kroku je třeba vybrat z knihovny obráběcích strojů vhodný model – DMG MORI DMU 50 a následně uložit celou sestavu součásti a upínacího rámu na upínací stůl tohoto stroje pomocí funkce „Use Part Mount Junction“ (Obrázek 6).

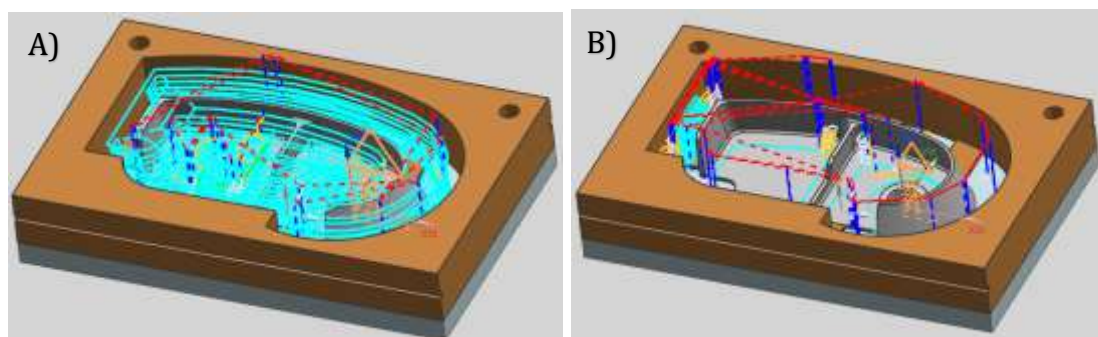


Obrázek 6 Definice 5-osého obráběcího stroje a upnutí polotovaru/součásti

Nyní jsou nadefinovány všechny nástroje, součást, polotovar, upnutí na obráběcím zařízení a samotné zařízení.

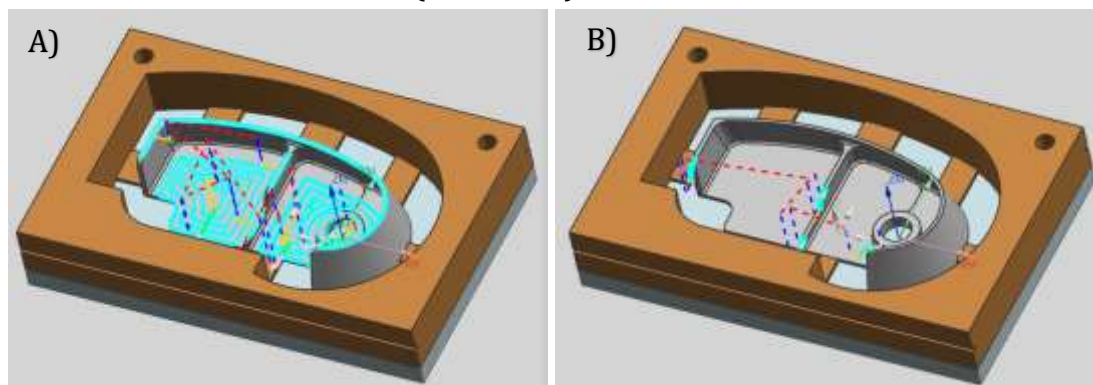
C. Tvorba obráběcích drah a export NC kódu

Jako první jsou prováděny hrubovací operace s využitím funkce „Cavity Mill“ pomocí nástroje o průměru 15 mm, který bude frézovat polotovar („Workpiece“ v položce „Geometry“) s přídatkem pro dokončovací operace. Při zadávání parametrů je třeba zvolit vynechávání uzavřených oblastí, které jsou pro hrubování příliš malé (velikost menší jak 125 % průměru nástroje) a hranice pohybu nástroje (varianta „Outside“ v řádce „Side Trimmed“). Dále se provede dohrubování pomocí nástroje o průměru 8 mm se shodným nastavením, pouze s odstraněním přebytečného materiálu z míst, kde se menší nástroj vhodně dostane. Výsledné dráhy jsou zobrazeny níže (Obrázek 7).



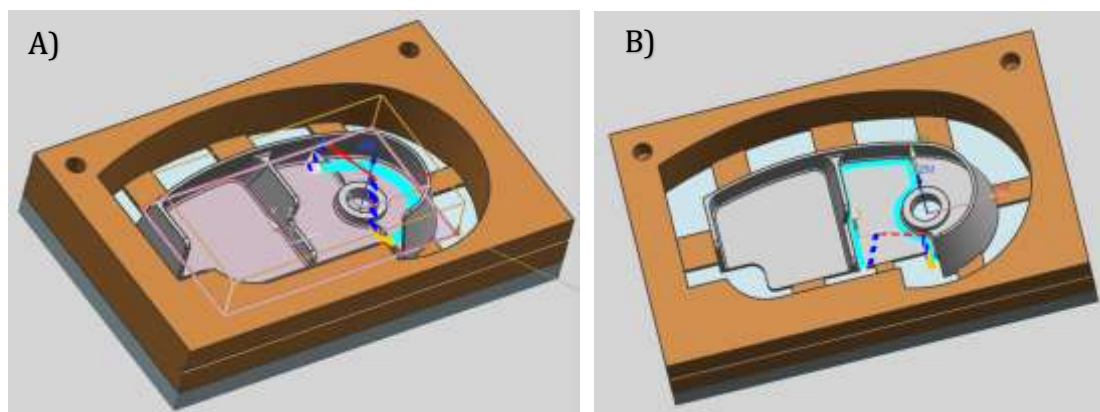
Obrázek 7 Hrubovací operace pomocí funkce „Cavity Mill“; A) nástroj D=15 mm, B) nástroj D=8 mm

Následně jsou dokončeny spodní plochy a vrcholy stěn („Mill_Finish“) nástroji o průměru 8 mm s použitím funkce „Floor and Wall“ – válcová fréza a „Contour Area“ – kulová fréza D=8 mm (Obrázek 8).



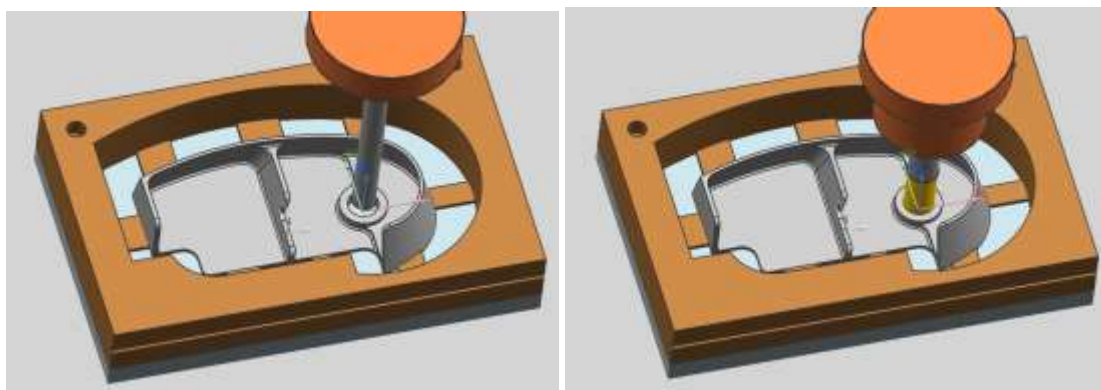
Obrázek 8 Dokončovací operace rovinných ploch a zaoblených rohů; A) válcový nástroj, B) kulový nástroj

Další programované operace budou provádět před-dokončení zkosených stěn součásti (pomocí funkce „Contour Area“), a proto je třeba vypnout funkci automatické detekce stěn a stěny ručně vybrat. Po výběru zadní vnitřní zkosené stěny je třeba definovat ponechání přídávku na dokončení a obloukový výjezd nástroje z řezu za účelem eliminace možných kolizí nástroje se stěnou (varianta „Arc - Parallel to Tool Axis“ v záložce „Engage“). Následuje před-dokončení spodní plochy uprostřed a na kraji součásti k vytvoření přechodů do rádiusů pomocí válcového nástroje o průměru 4 mm s rádiusem spodní hrany 1 mm.



Obrázek 9 Před-dokončovací operace; A) u zkosených stěn, B) u přechodů do rádiusů v prostřední části

Po před-dokončovacích operacích následuje dokončovací obrábění pomocí funkce „Mill_Finish“ s použitím stejných nástrojů a trajektorií, pouze s upravenými řeznými podmínkami. Nyní je třeba přikročit k obrábění vnějších hran součásti okolo přídržných výstupků. Opět nejdříve pomocí před-dokončovacích a následně dokončovacích strategií. Posledním krokem je předvrtání středu pro vrtání („Spot Drilling“) a finálního vrtání („Drilling“) vrtákem o průměru shodném s rozměrem otvoru (Obrázek 10).



Obrázek 10 Vrtací operace; A) před-vrtání středu otvoru, B) vrtání rozměru díry

Po vytvoření všech obráběcích drah a jejich verifikaci je třeba provést export pomocí funkce „Post_Process“ (Obrázek 11) a v daném seznamu vybrat správný typ post processoru pro stroj DMG 50 označený jako 5_Axis_DMU_50. Vybraná vzorová součást byla celkově obráběna pomocí 4 frézovacích a 2 vrtacích nástrojů.

NC_PROGRAM

Item	Used	OK
Unused Items		
1234		
CM_ROUGH_1		✓
CM_ROUGH_2		✓
FLOOR_WALL		✓
CONTOUR_AREA		✓
CP_SEMI_FINISH_WALLS_1		✓
CP_SEMI_FINISH_WALLS_2		✓
CP_SEMI_FINISH_WALLS_3		✓
CP_FINISH_WALLS_1		✓
CP_FINISH_WALLS_2		✓
CP_FINISH_WALLS_3		✓
CP_FINISH_WALLS_4		✓
CP_SEMI_FINISH_WALLS_4		✓
CP_SEMI_FINISH_WALLS_5		✓
CP_FINISH_WALLS_5		✓
CP_FINISH_WALLS_6		✓
SPOT_DRILLING		✓
DRILLING		✓

Post Process

```

N10 ;Start of Program
N20 ;
N30 DEF REAL _cmtolerance
N40 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _A_HOME, _C_HOME
N50 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N60 ;
N70 G40 G17 G710 G94 G98 G60 G601 FNRHM
N80 ;Start of Path
N90 _cmtolerance=.12
N100 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0
N110 _A_HOME=0 _C_HOME=0
N120 ;
N130 ;Operation : CM_ROUGH_1
N140 ;
N150 TRAFOFF
N160 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N170 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME A=_A_HOME C=_C_HOME D1
N180 ;First Tool
N190 T="EH-15-SCR"
N200 M6
N210 MSG("MILL_ROUGH")
N220 TRAFOFF
N230 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N240 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME A=_A_HOME C=_C_HOME D1
N250 ;Initial Move
N260 G0 A0.0 C0.0
N270 COMPOF
N280 CYCLE832(_cmtolerance,3,1)
N290 TRAFOFF
N300 G54
N310 G0 X=-42.473 Y15.121 Z34.52322 D1 M3
N320 ;Approach Move
N330 Z27.
N340 ;Engage Move

```

*dále pokračující NC program

Obrázek 11 Shrnutí NC programu a vzhled NC kódu pro 5-osé frézování

2 Soustružnicko/Frézovací obrábění

Výrobní technologie, která umožňuje v rámci jednoho stroje provádět soustružnické a frézovací operace se nazývá jako soustružnicko/frézovací obrábění. V hlavním, nejčastěji horizontálním obrobkovém vřetenu je upnut polotovar, konstrukčně pak CNC zařízení může obsahovat koník či protivřeteno v dané ose tohoto hlavního vřetena. Soustružnické nástroje jsou upevněny v revolverové hlavě, zatímco frézovací, vrtací či závitořezné nástroje jsou upínány do horního vřetene uloženého vertikálně s možností vyosení. (Marek a kol., 2014)

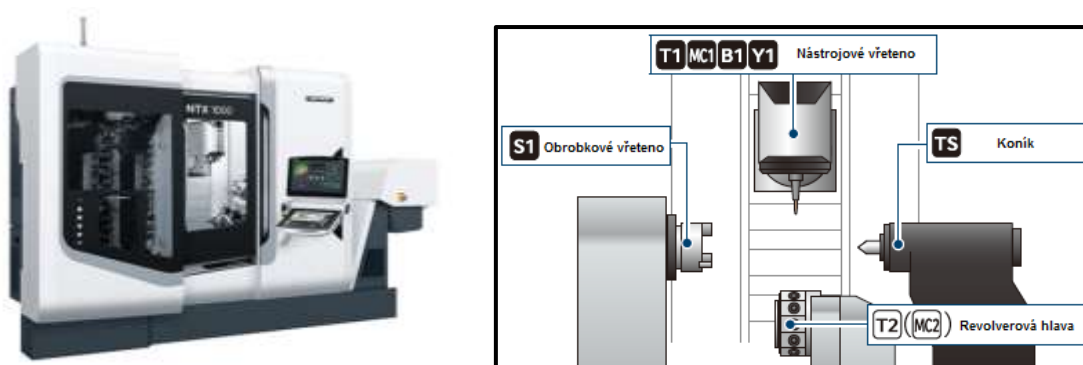
Hlavní výhody těchto obráběcích center jsou ve vysoké produktivitě a přesnosti obráběných součástí s velkou úsporou času výroby oproti jednoúčelovým CNC strojům. Danou technologií se vyrábí součásti do leteckého a automobilového průmyslu, ale také pro medicínské aplikace. Příklady výrobků jsou zobrazeny na snímcích níže (Obrázek 12).



Obrázek 12 Příklady výrobků soustružnicko/frézovacího obrábění; A-kyčelní náhrada, B-lopátka turbíny, C-poháněcí šnek (NTX 1000 2nd generation, 2018)

2.1 Popis pracovního stroje – DMG MORI NTX 1000 (2. generace)

Zařízení NTX 1000 je soustružnicko/frézovací centrum s vodorovnou obrobkovou osou a pevnou pinolou koníku. Upínací tříčelistové sklíčidlo umožňuje upnutí polotovarů o maximálním průměru 430 mm a délky 800 mm. V případě průchodové tyče je možné upínat polotovary do průměru 52 mm. Obrobkové vřeteno pracuje do maximálních otáček 6000 min^{-1} . Horní nástrojové vřeteno umožňuje plynulou rotaci osy B v úhlu výkyvu $-120^\circ / +120^\circ$ (celkový výkyv 240°) a pracuje do maximálních otáček $12\,000 \text{ min}^{-1}$. Spodní revolverová hlava obsahuje celkem 10 pozic nástrojů s pohonem do maximálních otáček $10\,000 \text{ min}^{-1}$. Stroj umožňuje provádění soustružnických, frézovacích, vrtacích a závitových operací pro velké množství obráběných materiálů (dobře a obtížně obrobitelné materiály, plasty i kompozity). Dalších 38 pozic nástrojů s upínáním typu HSK-A50 obsahuje samotný zásobník. Pro kontrolu rozměrů slouží ruční nástrojová sonda a obrobková dotyková sonda s radiovým přenosem. (NTX 1000 2nd generation, 2018)



Obrázek 13 Soustružnicko/frézovací centrum NTX 1000 se schématem uspořádání pracovního prostoru (NTX 1000 2nd generation, 2018)

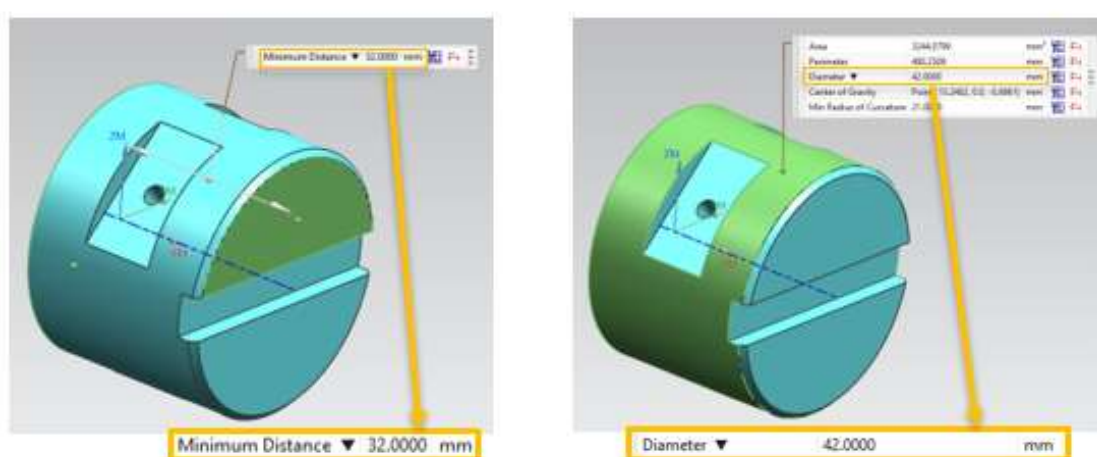
Soustružnicko/frézovací centrum obsahuje řídicí systém FANUC F31iB5 s řízením CELOS. (Fanuc F30i/31i/32i Model- B Operator's Manual, 2018)

2.2 Vzorový návod – obrábění součásti pomocí kombinovaného soustružnicko/frézovacího centra

Níže je uvedený návod popisu programování soustružnicko/frézovacích operací pomocí programu Siemens NX12.

D. Analýza 3D součásti

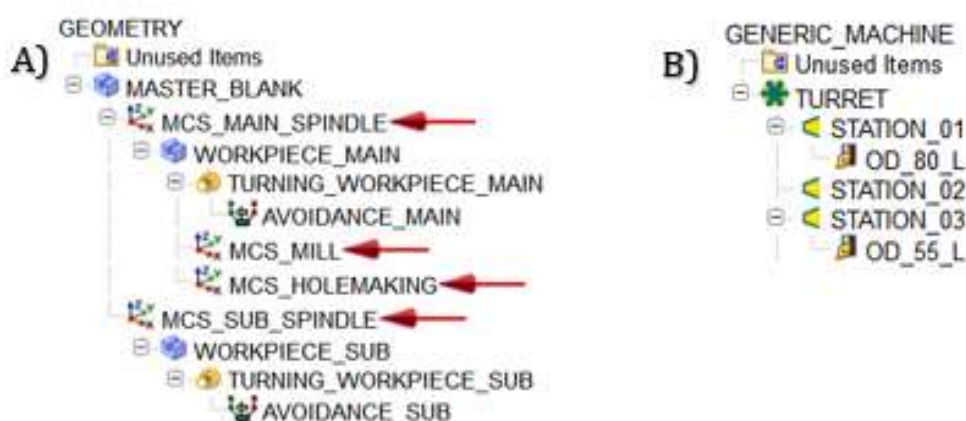
Pomocí vhodných příkazů se provede kontrola rozměrů 3D modelu součásti a srovnání s 2D výkresovou dokumentací. Získané maximální rozměry slouží k volbě vhodných rozměrů polotovaru (Obrázek 14).



Obrázek 14 Měření maximálních rozměrů součásti pomocí funkce „Measure“

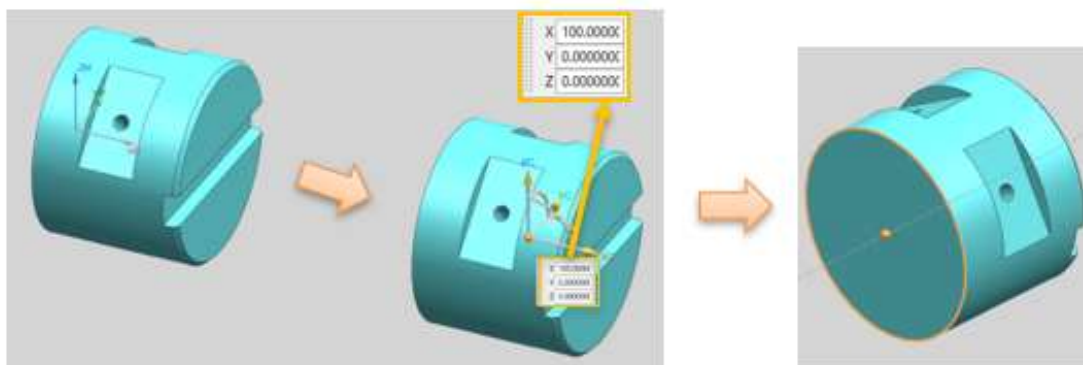
E. Tvorba nové úlohy a základní definice v programu (Mill_Turn)

Tvorba nové úlohy probíhá v záložce „Manufacturing“ a výběrem soustružnicko/frézovací technologie (tedy Mill_Turn (Essentials)). V záložce „Geometry View“ je nutné nadefinovat souřadný systém (MCS) pro hlavní vřeteno a pomocná vřetena, která budou obsahovat soustružnické, frézovací a vrtací operace (Obrázek 15A). Dále je nutné přepnout do „Machine Tool View“ a nadefinovat jednotlivé obráběcí nástroje, které se nachází v zásobníku či revolverové hlavě (Obrázek 15B).



Obrázek 15 Definice hlavních souřadných systémů vřeten a jednotlivých pozic nástrojů

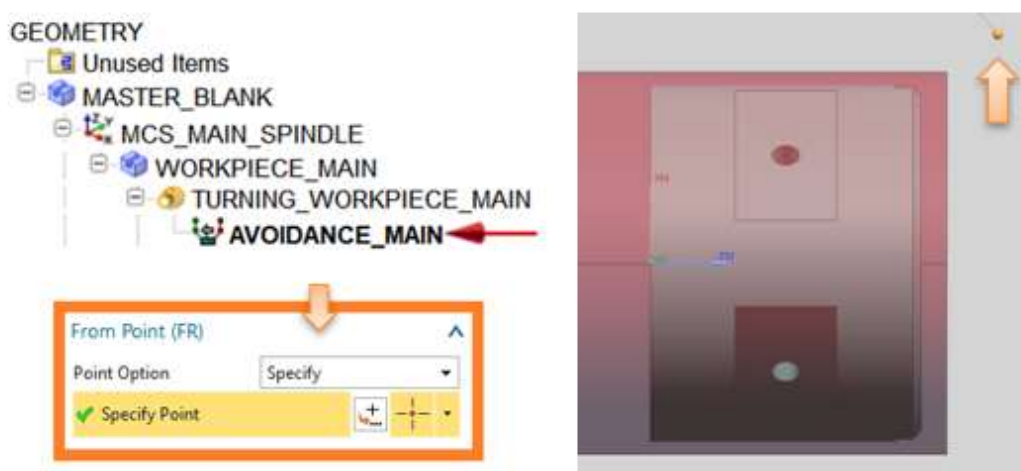
Jelikož je potřeba vyráběnou součást upnout do pomocného protivřetenu, je nutné v horní záložce „Assemblies“ a funkce „Add“ přidat kopii dané součásti, která bude následně sloužit jako polotovár pro upichovací operace. Nutné je dále vybrat a vybrat možnost „Absolute-Displayed Part“ a zvolit jeho posun v ose X o 100 mm. Následně je nutné definovat polohu hlavního souřadného systému (MCS) na protivřetenu pomocí dvojkliku na „MCS_SUB_SPINDLE“ -> „Specify MCS“ a vybrání zadní části, která je čelem při upnutí v protivřetenu.



Obrázek 16 Vytvoření kopie součásti pro upnutí do protivřetenu a definice MCS protivřetenu

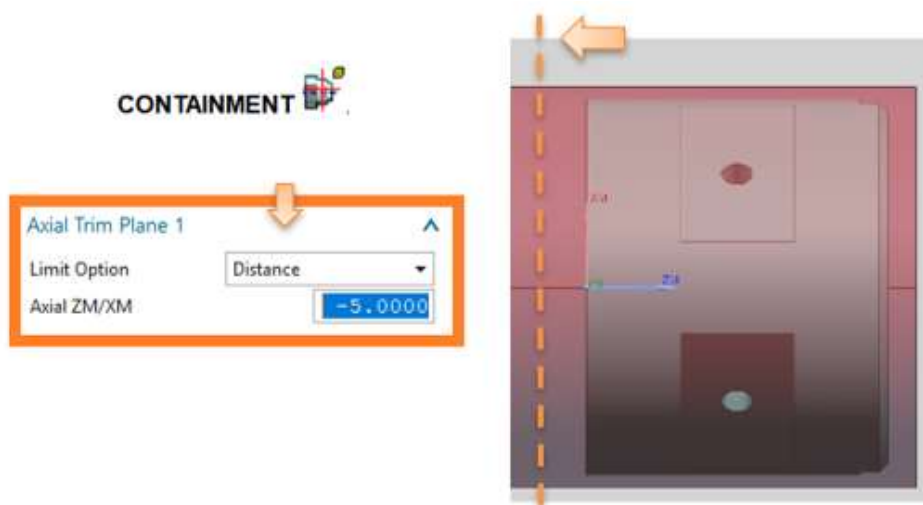
Následuje určení dílce, nakreslení a nadefinování válcového polotovaru „Master_Blank“ (včetně materiálu – hliník) o rozměrech $D = 45 \text{ mm}$ a $L = 55 \text{ mm}$, tedy o přibližně 20 mm delšího než dílec z důvodu nutného místa pro upichování. Pro správné určení pře-upnutí do protivřetena je třeba u „MCS_Sub_Spindle“ vybrat druhý díl a následně u „Turning_Workpiece_Sub“ vybrat „Specify_Blank_Boudaries“ a zvolit typ „Workspace“ s automatickým zapolohováním, což je právě definice převzatého polotovaru.

Následně je třeba vhodně zvolit přejezdové dráhy a výchozí body z důvodu ochrany nástroje, dílce a dalších částí stroje (např. sklíčidla). Výchozí bod pro přejezdové dráhy se definuje v „Avoidance_Main“ a vhodně se zvolí před čelem polotovaru (Obrázek 17).



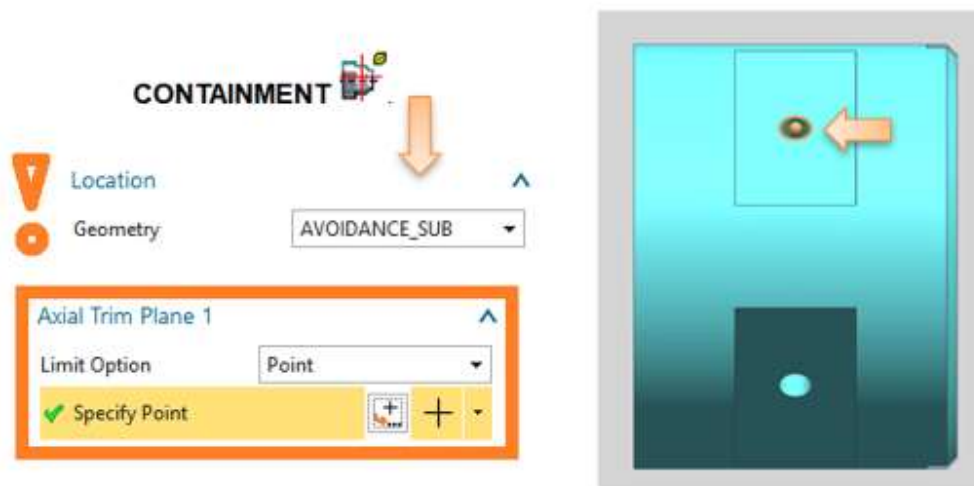
Obrázek 17 Volba výchozí bodu přejezdových drah

Dále je nutné určit polohu samotného sklíčidla. Jeho poloha se definuje pomocí funkce „Create Geometry“ -> „Containment“ v „Axial Trim Plane 1“, jak je popsáno na níže (Obrázek 18).



Obrázek 18 Určení ochranné roviny před sklíčidlem

Následujícím krokem v této fázi je určení výchozího bodu přejezdové dráhy po pře-upnutí do protivřetena. Postup je shodný jak při volbě daného bodu pro hlavní vřeteno. Dále se opět volí ochranná rovina sklíčidla, která definuje mezní polohu pohybu nástrojů, tentokrát pomocí výběru bodu a to dle Obrázek 19.

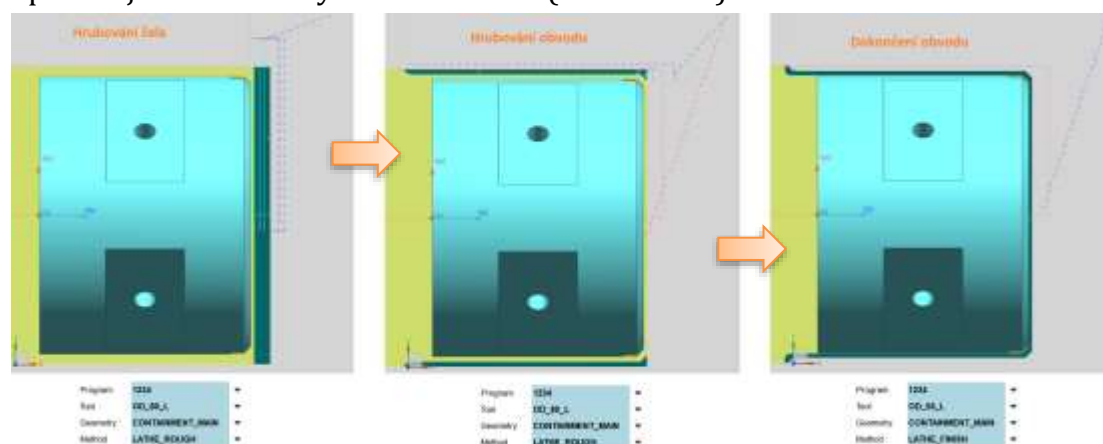


Obrázek 19 Určení ochranné roviny pro sklíčidlo protivřetena

Posledním krokem je příprava nástrojů, pomocí kterých bude součást obráběna. Je tedy nutné zkontrolovat knihovny nástrojů, zdali obsahují potřebné nástroje, případně je pomocí známých funkcí domodelovat.

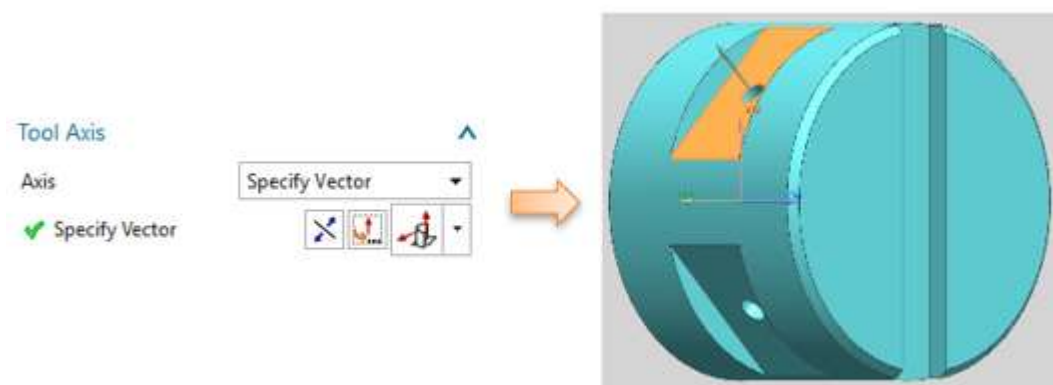
F. Tvorba obráběcích drah a export NC kódu

Tvorba obráběcích strategií respektuje zásady obou metod obrábění, tedy soustružení a frézování. S ohledem na tvar součásti je první operací hrubování čela. Z knihovny je třeba vybrat hrubovací soustružnický nůž, prostor, ve kterém může nástroj obrábět a typ operace („Lathe_Rough“). Následuje hrubování obvodu součásti. Pro hrubovací operace je vhodné zvolit krok 1 mm. Hrubovaný povrch je třeba následně dokončit jemným soustružením („Lathe_Finish“). Dané operace jsou zobrazeny v obrázku níže (Obrázek 20).



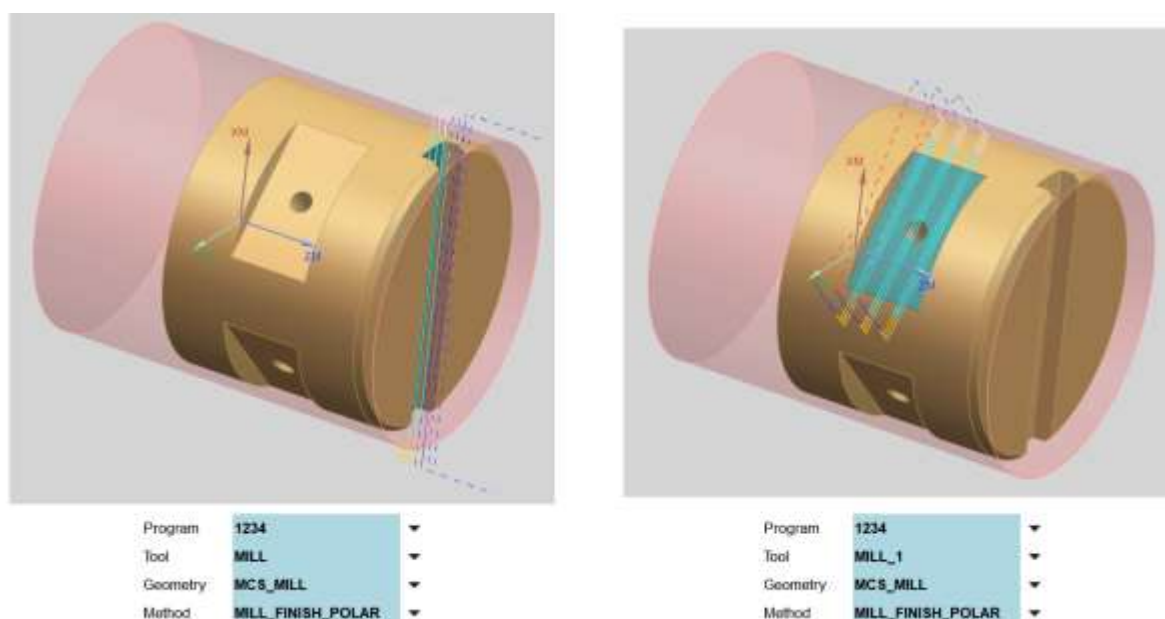
Obrázek 20 Soustružení povrchu součásti

Soustružnické operace na vzorové součásti jsou dokončené a je třeba přejít na operace frézovací. První je frézování drážky na čele součásti opět s úběrem materiálu po 1 mm. Dále je na řadě frézování drážek po obvodu. Zde je třeba v dialogovém okně upravit polohu osy nástroje vůči dané ploše a to v záložce „Tool“->„Tool_Axis“->„Specify_Vector“->„Face/Plane_Normal“ a vybrat spodní plochu drážky. Postup je zobrazen na Obrázek 21. Dané operace se aplikují na všechny 3 drážky, které jsou na obvodu.

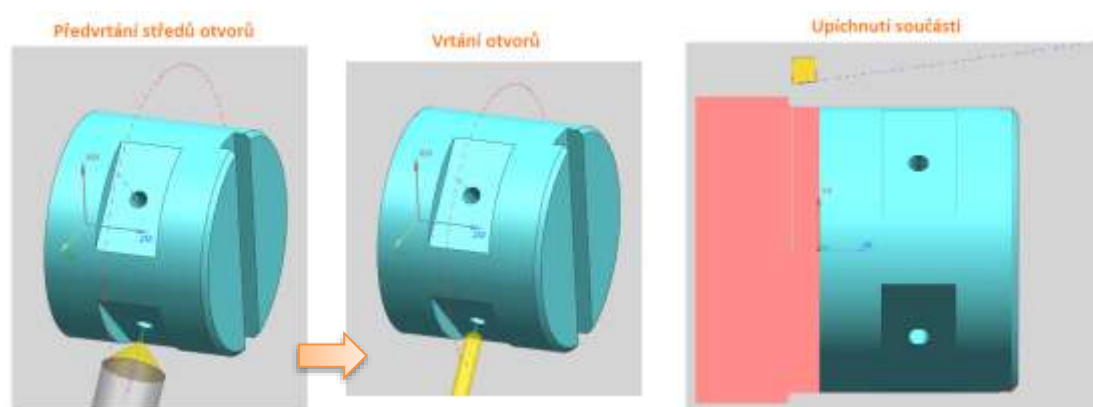


Obrázek 21 Nastavení správné polohy osy nástroje

Provedené frézovací operace jsou vyobrazeny na Obrázek 22. Následné jsou vrtací operace, po kterých následuje upíchnutí součásti a pře-upnutí do protivřetena. Na součásti jsou tři otvory ve frézovaných drážkách po obvodu, kdy nejdříve jsou naznačeny středy pomocí vrtáku vyššího průměru, než je průměr otvorů a následně jsou vyvrtány vrtákem požadovaného průměru. Tyto operace jsou zobrazeny na Obrázek 23.



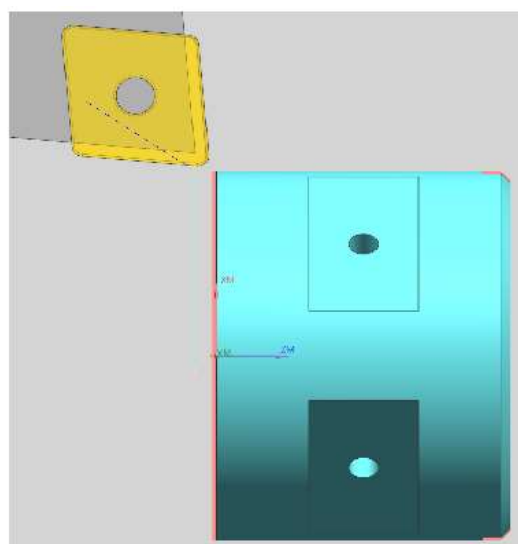
Obrázek 22 Frézování povrchu součásti



Obrázek 23 Vrtání otvorů a upíchnutí součásti

Poslední operací je opracování zadní části dílce po upíchnutí a pře-upnutí do protivřetena (Obrázek 24). Na tuto operaci je potřeba zvolit pravý soustružnický nůž a správný typ vřetena („Avoidance_Sub“).

Program	1234	▼
Tool	OD_80_R	▼
Geometry	AVOIDANCE_SUB	▼
Method	LATHE_FINISH	▼



Obrázek 24 Pře-upnutí do protivřetena a soustružení zadní části dílce

Po vytvoření všech drah a jejich verifikaci je třeba provést export pomocí funkce „Post_Process“ (Obrázek 25) a v daném seznamu vybrat správný typ postr_procesoru pro stroj NTX_1000 označený jako MillTurn_NTX_1000. Daná vzorová součást byla obráběna pomocí celkových 8 nástrojů, 4 soustružnických nožů v revolverové hlavě a 2 fréz, respektive 2 vrtáků podávaných ze zásobníku.



Post Process



```
%
N0010 G40 G17 G94 G90 G70
N0020 G50 X0.0 Z0.0
:0030 T01 M00 M05
N0040 G97 S0 M03
N0050 G94 G00 G90 X1.0489 Z1.3451
N0060 G92 S0
N0070 G96 M03
N0080 G95 G01 X1.0017 F.004
N0090 X-.0472
N0100 X-.0945 F.0276
N0110 G94 G00 Z1.4633
N0120 X1.0512
N0130 Z1.3123
N0140 G95 G01 X1.0039 F.004
N0150 X-.0472
N0160 X-.0945 F.0276
N0170 G94 G00 Z1.4304
N0180 X1.0512
N0190 Z1.2795
N0200 G95 G01 X1.0039 F.004
N0210 X-.0472
N0220 X-.0945 F.0276
N0230 G97 S0 M03
N0240 G94 G00 X.8543 Z1.4422
N0250 G92 S0
N0260 G96 M03
N0270 G95 G01 Z1.3949 F.004
N0280 Z-.1772
N0290 X.8858
N0300 X.9192 Z-.1438 F.0276
N0310 G94 G00 Z1.4449
N0320 X.8206
N0330 G95 G01 Z1.3976 F.004
N0340 Z1.246
```

*dále pokračující NC program

Obrázek 25 Shrnutí NC programu a vzhled NC kódu pro kombinované soustružnicko/frézovací obrábění

3 Volba nástrojů a řezných podmínek

V každém NC programu je obsažena celá řada obráběcích nástrojů. Volba nástrojů, a tedy i řezných podmínek, je závislá na materiálu součásti, charakteru obráběné plochy a také jejich rozměrech včetně jakosti povrchu. V obou obráběcích centrech je v zásobnících uloženo velké množství těchto nástrojů a student má dostupný jejich seznam.

Volbu nástrojů provádí student samostatně, a to s ohledem na vlastní navrženou součást, kdy jejich verifikaci a kontrolu řezných podmínek provádí učitel. Doporučované řezné podmínky nástrojů, které jsou osazeny v zásobnících pod definovanými čísly, jsou uvedeny v technických listech od výrobce. Vzorové určení parametrů pro frézování drážek a jim odpovídající řezné podmínky vyobrazuje Obrázek 26.

M2 Nízkolegované austenitické korozivzdorné oceli

APMXS	Max. hloubka řezu v bočním směru posuvu	38.0 mm
Barcode	Product barcode	10500028000107
CGT	Typová řada nástroje	JCO710
Cmax	Maximální průměr otvoru pro šroubovou interpolaci	31.6 mm
Cmin	Minimální průměr otvoru pro šroubovou interpolaci	26.0 mm
DC	Obráběcí průměr	20.0 mm
Označení	Otýpovací kód produktu	JCO71020002R400.3Z4

Přídavek (flap)
14.0 mm

Ostatní údaje

Požadovaný počet axiálních záběrů (ap) [1 - 87]
1

Požadovaný posuv/zub [0.000 - 0.0008]
0.060 mm/zub

Požadovaná řezná rychlost [12 - 23]
17 m/min

Počet záběrů (ap)	Radiační záběr (ar)	Počet záběrů (ap)	Hlubka řezu (ap)
1	20 mm	1	14.0 mm
Posuv/zub	Řezná rychlost	Chladičí médium	Otáčky
0.0600 mm/zub	17 m/min	Emulze	271 ot/min
Rychlost posuvu	Úběr materiálu (Q)		
65 mm/min	16.6 cm³/min		

Obrázek 26 Vzorové určení řezných podmínek pro frézu z online katalogu (Fréza B31 - JABRO HSS, 2018)

Pro starší nástroje, u kterých již nejsou informace dohledatelné, je možné využít hodnot řezných rychlostí – v [m/min] a posuvu – f [mm/zub], respektive [mm/ot.] uvedených v tabulkách níže pro vybrané materiály a jednotlivé technologické operace (Tabulka 1, Tabulka 2 a Tabulka 3).

Materiál součásti	Tvrdość HB	Materiál nástroje			
		HSS ocel		Slinuté karbidy	
		v [m/min]	f [mm/zub]	v [m/min]	f [mm/zub]
Legovaná ocel	180 - 220	30	0,1	60	0,18
Legovaná ocel	220 - 300	14-18	0,08	60-90	0,15-0,18
Legovaná ocel	300 - 400	14	0,05	60	0,13
Nerezová ocel	200 - 300	20	0,1	85	0,13
Litina	180 - 220	16	0,18	58	0,20
Litá ocel	140 - 200	16	0,15	50	0,18
Měď	120 - 160	38	0,15	180	0,15
Mosaz	120 - 180	75	0,28	240	0,25
Bronz	160 - 200	38	0,18	180	0,15
Hliník	70 - 105	120	0,28	240	0,25
Hořčík	40 - 60	210	0,28	380	0,25

Tabulka 1 Hodnoty pro frézování vybraných materiálů (Rao, 2014)

Materiál součásti	Tvrdość HB	Materiál nástroje			
		HSS ocel		Slinuté karbidy	
		v [m/min]	f [mm/ot.]	v [m/min]	f [mm/ot.]
Legovaná ocel	150 - 240	30	0,25	110	0,38
Legovaná ocel	240 - 310	20	0,25	100	0,30
Legovaná ocel	315 - 370	15	0,25	85	0,25
Legovaná ocel	380 - 440	10	0,2	75	0,25
Legovaná ocel	450 - 500	8	0,2	55	0,25
Nástrojová ocel	150 - 200	18	0,25	70	0,25
Nerezová ocel	160 - 220	30	0,2	120	0,25
Nerezová ocel	300 - 350	14	0,2	70	0,25
Nerezová ocel	375 - 440	10	0,2	30	0,25
Šedá litina	150 - 180	30	0,25	140	0,30
Šedá litina	220 - 260	20	0,25	90	0,30
Litá ocel	140 - 180	40	0,25	150	0,30
Litá ocel	190 - 240	26	0,25	125	0,30
Slitiny mědi	120 - 160	200	0,25	300	0,25
Slitiny mědi	165 - 180	85	0,25	230	0,25
Slitiny hliníku	70 - 105	210	0,30	400	0,38

Tabulka 2 Hodnoty pro soustružení vybraných materiálů (Rao, 2014)

Materiál součásti	Tvrdość HB	Materiál nástroje	
		HSS ocel	
		v [m/min]	f [mm/ot.]
Nerezová ocel	150	15	0,13-0,30
Pružinová ocel	400	6	0,06-0,19
Litina	200	25-35	0,13-0,30
Litá ocel	280 - 300	12-15	0,06-0,19
Nástrojová ocel	150	23	0,20-0,50
Nástrojová ocel	200	18	0,13-0,30
Nástrojová ocel	215 - 300	12-15	0,06-0,30
Nástrojová ocel	400	5	0,06-0,19
Měď	80-85	21	0,06-0,19
Mosaz	190 - 200	70	0,20-0,50
Bronz	180 - 200	54	0,20-0,50
Hliník	95	275	0,13-0,90
Slitiny hliníku	70 - 105	210	0,30

Tabulka 3 Hodnoty pro vrtání vybraných materiálů (Rao, 2014)

4 Obecný postup při CNC obrábění dílců v praxi

Jedním z nejdůležitějších kroků před zahájením CNC výroby je důkladná studie výkresové dokumentace. Tato dokumentace mimo jiné určuje tvar dílu, rozměry a vztah mezi jednotlivými funkčními prvky dílu. Některé výkresy obsahují také informace o požadovaném polotovaru, například typ, velikost a tvar. S ohledem na tyto informace je potřeba mít značné povědomí o různých typech používaných materiálů. Pro účely programování je nutné znát a vzít v potaz typy obráběných materiálů, rozměry, tvar, parametry a tvrdost. Hlavním přínosem dobře naplánovaného CNC obrábění je pak při samotné realizaci přesnost, produktivita a bezpečnost. Výkresová dokumentace a materiálová data však neposkytují všechny důležité informace pro programování a CNC obrábění. Další velmi důležité informace jsou uvedeny například v technologickém postupu pro výrobu daného dílu. Ten obsahuje sled jednotlivých operací, konkrétní operace předcházející a následující po více-osém obrábění, přídavky na brousící operace, montážní požadavky, požadavky na kalení, úpravy pro další výrobní stroje apod. (Smid, 2007)

Při tvorbě programu musí CNC programátor brát v potaz konkrétní obráběcí stroj s konkrétním CNC systémem, neboť každý stroj a CNC systém má svá specifika, přednosti, ale také úskalí. Prvním krokem při zahájení CNC programování je volba vhodného typu a velikosti obráběcího stroje, konkrétně velikosti pracovního prostoru. Mezi další důležité parametry patří výkon stroje, otáčky vřetene, rozsah posuvu, počet výměnných nástrojů v zásobníku, samotný systém výměny nástrojů a dostupné příslušenství. Menší CNC stroje mají vyšší otáčky vřetene, avšak při menším výkonu stroje, naopak větší stroje disponují nižšími otáčkami, ale při možnosti mnohem vyšších výkonů. Řídicí systém je srdcem CNC stroje a je potřeba, aby programátor znal všechny základní i volitelné ovládací prvky. Povědomí o těchto prvcích umožňuje používat různé pokročilé metody programování, například různé obráběcí cykly, podprogramy, makra a další, čas spořicí prvky. (Smid, 2007)

V řadě firem se aplikuje tzv. manuální programování, prováděné přímo u stroje. Daný typ programování se používá pro tvarově jednodušší díly, například základní desky lisovacích a vstřikovacích forem. S ohledem na operace se pak jedná o vrtání děr ve výkresem definovaných bodech, zarovnávání ploch, frézování kapes a srážení hran. Nejnovější CNC stroje obsahují řídicí panely, na kterých je možné toto programování provádět díky dotykové obrazovce a kvalitnímu grafickému rozhraní. Na starších strojích je možné psát tyto programy pomocí NC kódu na klávesnici u stroje. Tato varianta však vyžaduje velmi zkušenou obsluhu s ohledem na proces obrábění a znalosti NC kódu.

Nevýhodou tohoto programování je časová náročnost zápisu kódu do daného programu, manuální výpočty a možnost chyby lidského faktoru. Na druhou stranu po zaučení je operátor schopen zvládnout řadu operací, respektive výrobu složitějších tvarů bez nutnosti využívat kapacit programování. (Smid, 2007), (SINUMERIK 840D sl Operate, 2018)

Níže uvedený postup obecně shrnuje jednotlivé navazující kroky při progresivním CNC obrábění ve strojírenské praxi. Dané kroky se však mohou měnit dle zvyklostí a postupů zavedených v konkrétních firmách.

Postup při CNC obrábění:

- a) Studie 2D výkresové dokumentace obráběného dílce a zhodnocení jeho vyrobitelnosti.
- b) Vymodelování dílce na základě 2D výkresové dokumentace ve 3D softwaru (není-li zadavatelem 3D model dodán).
- c) Export dílce do formátu podporovaného softwarem pro tvorbu obráběcích strategií (CAM software a tvorba NC programu).
- d) Volba vhodného polotovaru a jeho upnutí na stroji s ohledem na nulový bod, tvar a rozměry součásti.
- e) Import dílu, návrh obráběcích strategií a volba nástrojů a řezných podmínek s ohledem nejen na tvar, ale i dle požadované přesnosti rozměrů a geometrických rozměrů.
- f) Optimalizace strategií využitím vhodných nástrojů programování dle požadovaných kritérií, rychlosti produkce, přesnosti a jakosti povrchu.
- g) Verifikace navržených strategií a vygenerování NC kódu pomocí vhodného post procesu.
- h) Nahrání NC kódu a obrábění součásti na CNC zařízení.
- i) Kontrolní měření přesnosti rozměrů a jakosti povrchu a případné korekce NC programu. (Marek a kol., 2014)

Velmi důležitým faktorem při CNC obrábění je samotná bezpečnost. Jelikož jsou CNC zařízení velmi nákladná, je nutné je chránit proti poškození, stejně tak jako je nesmírně důležité chránit obsluhu těchto strojů před poraněním. V dnešní době je většina CNC strojů chráněna řadou bezpečnostních prvků, které chrání obsluhu i samotný stroj dohromady (současně). Na druhou stranu, je důležité nespoléhat pouze na tyto bezpečnostní prvky a obsluhovat zařízení až po plném pochopení bezpečnostních opatření a základních provozních postupů uvedených v plánech údržby daných strojů dodávaných výrobcem.

V následných poznámkách jsou uvedeny vybraná doporučení pro práci s CNC stroji:

- Při obsluze CNC strojů vždy noste ochranné brýle a bezpečnostní obuv.
- Buďte obeznámeni, jak zastavit stroj v nouzovém stavu.
- Udržujte okolí výrobních CNC strojů dobře osvětlené, suché a bez překážek.
- Během obrábění nezasahujte rukami do dosahu pohyblivých součástí.
- Provádějte všechna nastavení, upínání polotovarů a hotových součástí s vypnutým vřetenem stroje.
- Při obsluze strojů dodržujte doporučené bezpečnostní zásady a postupy při manipulaci s díly či nástroji.
- Ujistěte se, že jsou všechny kryty stroje v uzavřené poloze, ověřte funkci všech bezpečnostních čidel.
- Udržujte nářadí, nástroje a součásti mimo dosah pohyblivých částí stroje.
- Ujistěte se, že upínací přípravky a polotovary jsou před spuštěním chodu stroje bezpečně upnuty
- Před použitím zkontrolujte opotřebení nebo poškození všech v CNC programu použitých řezných nástrojů.
- Nespouštějte stroj před nastudováním všech podkladů pro obsluhu.
- Vyvarujte se nošení dlouhých rukávů, náramkových hodinek, prstenů, rukavic a dlouhých vlasů při obsluze CNC strojů.
- Neprovádějte odstranění kovových špon z prostoru obrábění bez použití ochranných pomůcek.
- V okolí rotujících částí – vřetene, revolverové hlavy apod. dbejte zvýšené opatrnosti.
- Do prostoru elektrické skříně smí za účelem údržby vstupovat pouze kvalifikovaný personál. (Evans, 2016)

5 Zadání projektů pro laboratorní cvičení

Proveďte návrh dvou součástí, které bude možné s výhodou vyrábět pomocí následujících technologií:

- a) 5-osé frézování
- b) Soustružnicko/frézovací obrábění.

Navržené součásti diskutujte s učitelem a následně vymodelujte ve vhodném 3D CAD softwaru. Součástí samotné konstrukce budou i 2D a moderní 3D výkresy, které budou obsahovat všechny náležitosti technické dokumentace. 3D model vyexportujte v daném formátu a proveďte nahrání do CAM softwaru Siemens NX12. Zvolte materiál součástí, dle jejich rozměrů také velikost polotovarů a nejvhodnější upnutí.

Dle typu použité technologie proveďte návrhy obráběcích strategií pomocí nástrojů dostupných v dodaném seznamu a knihovnách programu. Volbu řezných podmínek proveďte dle technických listů nástrojů a diskutujte s učitelem. Podle výsledků verifikace optimalizujte co nejvhodněji obráběcí strategie s ohledem na rychlost výroby a přesnost.

Po úspěšné obhajobě obou projektů vygenerujte pomocí doporučeného post processoru CNC kód a na dostupných výrobních zařízeních proveďte obrábění součástí.

Literatura

- 5-os souvisle [Online]. (2018). <http://www.frezovani-5os.cz>. Dostupné z <http://www.frezovani-5os.cz/5-os-souvisle/>
- Akademie CNC obrábění (82) [Online]. (2012). www.technickytydenik.cz. Dostupné z https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-82_8617.html
- DMU 50 3rd generation [Online]. (2018). en.dmgmori.com. Retrieved from <https://en.dmgmori.com/products/machines/milling/5-axis-milling/dmu/dmu-50>
- Evans, K. (2016). *Programming of CNC Machines*. Connecticut: Industrial Press Inc.
- Fanuc F30i/31i/32i Model-B Operator's Manual [Online]. (2018). www.cnczone.com. Retrieved from <https://www.cnczone.com/forums/attachments/2/0/9/2/4/3/174549.attachment>
- Fréza B31 - JABRO HSS [Online]. (2018). www.secotools.com. Retrieved from https://www.secotools.com/#article/p_02810500
- Marek, J. a kol. (2014). *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM publishing.
- NTX 1000 2nd generation [Online]. (2018). en.dmgmori.com. Retrieved from <https://en.dmgmori.com/products/machines/turning/turn-mill/ntx/ntx-1000>
- SINUMERIK 840D sl Operate [Online]. (2018). <https://cache.industry.siemens.com>. Retrieved from https://cache.industry.siemens.com/dl/files/635/28705635/att_75725/v1/PG_0310_cs_cs-CZ.pdf
- Smid, P. (2007). *CNC Programming Handbook*. New York: Industrial Press Inc.
- Rao, P. N. (2014). *CAD/CAM Principles and Applications*. New Delphi: McGraw Hill Education.

Symbole a zkratky

X, Y, Z	pohyby ve směru osy
B, C	rotace kolem os Y a Z
N	číslo věty (bloku) NC programu
G	funkce obsluhy dráhy
T	číslo nástroje
D	paměť korekce nástrojů
M	přídavné funkce
CAD	Computer Aided Design 2D a 3D počítačová podpora projektování
CAM	Computer Aided Manufacturing počítačová podpora obrábění
CNC	Computer Numeric Control číslicové řízení počítačem
HSS	High Speed Steel rychlořezná ocel
v	řezná rychlost
f	posuv

Seznam obrázků

Obrázek 1 Vzor zápisu dráhy do NC programu pro 5-osé obrábění (5-os souvisle, 2018)	4
Obrázek 2 Příklady výrobků 5-osého obrábění; A-tělo pumpy, B-Nosný prvek z leteckého průmyslu, C-tělo frézy (DMU 50 3rd generation, 2018)	4
Obrázek 3 Univerzální obráběcí stroj DMU 50 s detailem pracovního prostoru (DMU 50 3rd generation, 2018)	5
Obrázek 4 Měření maximálních rozměrů frézované součásti pomocí funkce „Measure“	6
Obrázek 5 Určení geometrie součásti a volba materiálu	6
Obrázek 6 Definice 5-osého obráběcího stroje a upnutí polotovaru/součásti	7
Obrázek 7 Hrubovací operace pomocí funkce „Cavity Mill“; A) nástroj D=15 mm, B) nástroj D=8 mm	7
Obrázek 8 Dokončovací operace rovinných ploch a zaoblených rohů; A) válcový nástroj, B) kulový nástroj	8
Obrázek 9 Před-dokončovací operace; A) u zkosených stěn, B) u přechodů do rádisů v prostřední části	8
Obrázek 10 Vrtací operace; A) před-vrtání středu otvoru, B) vrtání rozměru díry	9
Obrázek 11 Shrnutí NC programu a vzhled NC kódu pro 5-osé frézování	9
Obrázek 12 Příklady výrobků soustružnicko/frézovacího obrábění; A-kyčelní náhrada, B-lopátka turbíny, C-poháněcí šnek (NTX 1000 2nd generation, 2018)	10
Obrázek 13 Soustružnicko/frézovací centrum NTX 1000 se schématem uspořádání pracovního prostoru (NTX 1000 2nd generation, 2018)	11
Obrázek 14 Měření maximálních rozměrů součásti pomocí funkce „Measure“	11
Obrázek 15 Definice hlavních souřadných systémů vřeten a jednotlivých pozic nástrojů	12
Obrázek 16 Vytvoření kopie součásti pro upnutí do protivřetena a definice MCS protivřetena	12
Obrázek 17 Volba výchozí bodu přejezdových drah	13
Obrázek 18 Určení ochranné roviny před sklíčem	13
Obrázek 19 Určení ochranné roviny pro sklíčko protivřetena	14
Obrázek 20 Soustružení povrchu součásti	14
Obrázek 21 Nastavení správné polohy osy nástroje	15
Obrázek 22 Frézování povrchu součásti	15
Obrázek 23 Vrtání otvorů a upíchnutí součásti	16
Obrázek 24 Pře-upnutí do protivřetena a soustružení zadní části dílce	16
Obrázek 25 Shrnutí NC programu a vzhled NC kódu pro kombinované soustružnicko/frézovací obrábění	17
Obrázek 26 Vzorové určení řezných podmínek pro frézu z online katalogu (Fréza B31 - JABRO HSS, 2018)	18

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 Hodnoty pro frézování vybraných materiálů (Rao, P. N. 2014)</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 2 Hodnoty pro soustružení vybraných materiálů (Rao, P. N. 2014)</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 3 Hodnoty pro vrtání vybraných materiálů (Rao, P. N. 2014)</i>	<i>20</i>