

Obsluha a programování horizontálního CNC stroje

Tomáš Františák

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Františák**
Osobní číslo: **T14009**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Obsluha a programování horizontálního CNC stroje**

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie na téma obsluhy, programování a výroby za pomoci číslicově řízených strojů**
- 2. Návrh CAD modelu**
- 3. Využití CAM pro tvorbu obráběcích strategií a provedení verifikace**
- 4. Zhodnocení řešení a praktická doporučení pro výrobu**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

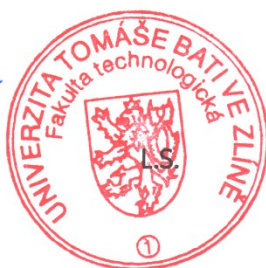
Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2017

Ve Zlíně dne 26. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



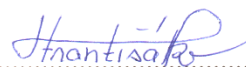
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

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 19.5.2017..


.....

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 nevydělečně 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 vzdělávacího 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 výdělků 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 výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vytvořením správného postupu obrábění, dle kterého dojde k vygenerování G-kódu pro CNC horizontální frézovací stroj. G-kód je vytvořen pomocí programového vybavení CAD/CAM. V teoretické části je zpracována literární rešerše na dané téma. V praktické části je popsán postup přípravy pro výrobu zvoleného obrobku. Bakalářská práce je zakončena závěrečným zhodnocením práce.

Zmíněný postup obrábění v bakalářské práci je určen speciálně pro CNC obráběcí frézovací stroj DOOSAN ACE HM1250. Tento obráběcí stroj disponuje řídicím systémem FANUC 32i – A.

Klíčová slova: Počítačově číslicově řízené stroje, CNC, programování, horizontální stroj, CAD/CAM, G-kód

ABSTRACT

The bachelor's thesis demonstrates appropriate procedure of milling operation, which is main source for creating G-code specified to CNC horizontal milling machine. CAD/CAM software creates the G-code. In the theoretical part is documented the literary research of this topic. In the practical part is described process of preparation for workpiece. The bachelor's thesis ending by final summarize of whole described process.

Process which is described in bachelor's thesis is specified for CNC milling machine DOOSAN ACE HM1250. This machine has operation system FANUC 32i – A.

Keywords: Computer numerical control, CNC, programming, horizontal machine, CAD/CAM, G-code

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za poskytnuté rady a informace při psaní bakalářské práce. Poděkování patří i mému kolegovi Ing. Jurajovi Živčicovi za důležité rady při psaní bakalářské práce a zasvěcení do světa programování CNC strojů. V neposlední řadě děkuji i mé rodině, která mi vytvořila vhodné zázemí pro studium a dokázala mi být oporou.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 SEZNÁMENÍ S CNC OBRÁBĚCÍMI STROJI.....	11
1.1 VÝHODY A NEVÝHODY CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	12
1.2 VÝVOJ NC A CNC VÝROBNÍCH STROJŮ.....	12
1.3 ROZDĚLENÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	15
1.3.1 ROZDĚLENÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ DLE PRACOVNÍCH OS.....	15
1.4 ČÁSTI OBRÁBĚCÍHO CNC HORIZONTÁLNÍHO STROJE	16
1.5 DOOSAN ACE HM1250.....	18
2 FRÉZOVÁNÍ.....	20
2.1 KINEMATIKA FRÉZOVÁNÍ.....	20
2.2 ŘEZNÉ PODMÍNKY.....	21
3 PRINCIP ŘÍZENÍ A OBSLUHA OBRÁBĚCÍHO CNC STROJE	23
3.1 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM OBRÁBĚCÍHO STROJE	23
3.2 NULOVÉ A VZTAŽNÉ BODY	24
3.3 ŘÍDÍCÍ PANEL A ŘÍZENÍ CNC STROJE	25
3.4 VOLBA NÁSTROJE	26
3.4.1 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE	26
3.4.2 ZÁVITOVACÍ NÁSTROJE	27
3.4.3 VYVRTÁVACÍ NÁSTROJE.....	27
3.4.4 VYMĚNITELNÉ BŘITOVÉ DESTIČKY.....	28
3.4.5 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	29
3.4.6 POVLAKOVÁNÍ OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ	29
4 STRUKTURA PROGRAMU A POČÍTAČOVÁ PODPORA OBRÁBĚNÍ.....	30
4.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ PROGRAMOVÁNÍ.....	30
4.1.1 STRUKTURA G-KÓDU	30
4.1.2 VÝZNAM NEJPOUŽÍVANĚJŠÍCH ADRES	31
4.1.3 PŘÍPRAVNÉ FUNKCE (G-FUNKCE).....	32
4.1.4 POMOCNÉ FUNKCE (M – FUNKCE)	32
4.1.5 PEVNÉ CYKLY.....	33
4.2 DRUHY PROGRAMOVÁNÍ.....	33
4.2.1 ABSOLUTNÍ PROGRAMOVÁNÍ.....	33
4.2.2 INKREMENTÁLNÍ (PŘÍRŮSTKOVÉ) PROGRAMOVÁNÍ	34
4.3 POČÍTAČOVÁ PODPORA VÝROBY.....	34

4.3.1	CAD SYSTÉMY	35
4.3.2	CAM SYSTÉMY	36
4.3.3	POSTUP PROGRAMOVÁNÍ ZA POMOCÍ CAM PROGRAMŮ	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	38
5	ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	39
6	3D CAD MODEL	40
6.1	NÁVRH CAD MODELU	40
6.2	ÚPRAVA MODELU	42
6.3	TVORBA 3D MODELU ODLITKU	44
7	PROGRAMOVÁNÍ V CAM SYSTÉMU.....	45
7.1	PŘÍPRAVA A UPNUTÍ ODLITKU	45
7.2	NULOVÉ BODY PRO UPNUTÍ Č. 1	48
7.3	OBRÁBĚNÍ PRO UPNUTÍ Č. 1	49
7.3.1	FRÉZOVÁNÍ POMOCNÝCH PLOŠEK.....	49
7.3.2	VRTÁNÍ DĚR PRO ZÁVITY M20 NA ČELNÍ PLOŠE OBROBKU	51
7.3.3	BOČNÍ PLOCHY + ZÁVITY M24	53
7.3.4	ZAHLOUBENÍ PRO ŠROUBY	54
7.4	UPNUTÍ Č. 2.....	55
7.4.1	NULOVÉ BODY PRO DRUHÉ UPNUTÍ	56
7.4.2	OBRÁBĚNÍ SPODNÍ PODSTAVY	58
7.4.3	VÝROBA DRÁŽEK	59
7.4.4	OBRÁBĚNÍ PLOCH V B160° A B200°	60
7.4.5	ZÁVIT M8 A SRAŽENÍ HRAN.....	61
7.5	UPNUTÍ Č.3.....	62
8	VERIFIKACE	64
9	DOPORUČENÍ PRO VÝROBU.....	66
	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK.....	76
	SEZNAM PŘÍLOH.....	77

ÚVOD

V české republice patří strojírenství k odvětvím s dlouhodobou tradicí. Česká republika přispívá nemalým podílem do rozvoje řady odvětví světové strojírenské výroby. Nutno zmínit výrobu kvalitních obráběcích strojů značek TOS, Škoda a Žďas, které byly dříve základem úspěchu pro třískové obrábění u nás i ve světě. Ve své době byly obráběcí stroje využívány v extrémních podmínkách, neboť již v první polovině 20. století došlo k velkému růstu a rozvoji strojírenské výroby. Vlivem vysokých požadavků leteckého průmyslu a rozvojem kosmonautiky byly do výroby zavedeny nové typy výrobních strojů. Vývoj nových strategií výroby a obráběcích strojů šel stále kupředu. Zlomový okamžik pro strojírenskou výrobu nastal při zavedení počítačem řízených strojů do běžné výroby. S postupem času můžeme říct, že CNC se staly nezbytnou součástí třískového obrábění.

Postupný vývoj počítačem řízených obráběcích strojů nám ukázal značný přínos těchto strojů nejen ve strojírenské výrobě. Hlavní rozdíl je především v rychlosti a efektivitě obrábění těchto strojů. Pomocí moderních CNC strojů je výroba pružná, automatizovaná a přesná. I přesto, že jsme v posledních letech dosáhli velkého rozvoje a pokroku v efektivitě obrábění, vývoj v tomto odvětví stále pokračuje.

S nástupem zmíněných NC a CNC strojů vzrostl požadavek na novou pracovní sílu. Programátor CNC strojů se stal mozkiem procesu obrábění. Programátoři musí být schopni aplikovat poznatky z vědního oboru fyziky a matematiky do praxe. Získání dostatek zkušenosti a schopnost aplikovat poznatky do praxe může vést k volbě vhodného postupu obrábění. Do výčtu práce programátora můžeme zařadit volbu strategie upnutí obrobku, volbu drah obráběcích nástrojů a obráběcích podmínek.

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část zahrnuje základní informace o CNC strojích, procesu frézování, přehled nástrojů a seznámení se základními principy v programování.

Praktická část řeší programování konkrétního zadaného obrobku. Konkrétně je zde zmíněn postup výroby, volba nástrojů a obráběcích podmínek, které nám zaručí správné obrobení obrobku dle autorových zvyklostí. Dle postupu výroby a nastavených podmínek můžeme pomocí CAM softwaru vygenerovat G-kód, dle kterého může obsluha stroje dokončit zadanou výrobu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SEZNÁMENÍ S CNC OBRÁBĚCÍMI STROJI

Pod zkratkou NC (Numerical Control) se objevují první programovatelné stroje, které byly vytvořeny již v polovině 20. století. Postupným vývojem obráběcích strojů se zavedly do výroby CNC (Computer Numerical Control) obráběcí stroje. V překladu do češtiny se jedná o počítačem (číslicově) řízené výrobní stroje. Stroje jsou charakteristické svým způsobem řízení. K řízení takového obráběcího stroje je potřeba mít vytvořený výrobní program, který se nazývá G-kód (ISO-kód). Tento kód je vytvořen z různých alfanumerických znaků a obsahuje jednotlivé bloky neboli věty, které začínají písmenem N (např. N10, N20, N30).

Vytvořit takový G-kód můžeme hned několika způsoby v závislosti na náročnosti obráběného obrobku a typu výroby. U jednoduchých výrobků je možno volit ruční programování, které se dá provést i v jednoduchém textovém editoru. U těch složitějších tvarů se neobejdeme bez CAD/CAM programového příslušenství. Pomocí zmíněných typů programů dokážeme dle modelu vytvořit přesnou dráhu nástroje a minimalizovat tak fatální chyby způsobené lidským faktorem.



Obr. 1. Obsluha moderního CNC stroje [18]

K ovládání obráběcího CNC stroje nám slouží speciální ovládací panel s monitorem (obr. 1). Obsluha stroje má tak přehled o chodu CNC stroje, může upravovat G-kód anebo vytvořit pomocí uživatelského rozhraní svůj vlastní výrobní program. Ovládaní a zákonitost psaní výrobních programů se odvíjí od řídicího systému stroje (např. FANUC, Heidenhain, Sinumerik). [1]

1.1 Výhody a nevýhody CNC obráběcích strojů

V dnešní době patří CNC stroje neodmyslitelně k součásti výrobních strojírenských firem. Novodobé výrobní stroje mají mnoho benefitů a nabízí obrovskou efektivitu práce ve srovnání s dřívějšími konvenčními stroji. Nevýhody se především odvíjí od náročnosti obrábění, šikovnosti pracovníků a finančních možnostech firmy.

Výhody

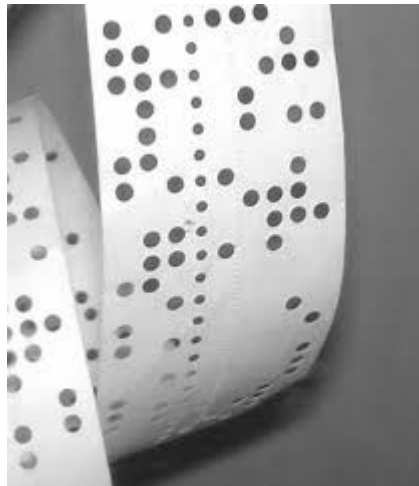
- Přesnější, produktivnější a hospodárnější výroba v porovnání s konvenčními a NC stroji. Čas k obrobení součásti se znatelně snížil. Přibyly další konstrukčně zajímavé stroje s více osy.
- Při ideálním stavu nástrojů, korekce nástrojů, stavu stroje a teplotě prostředí je CNC stroj schopný opakovaně zajistit kvalitní obrobení i složitějších součástí dle daného výrobního programu, a to bez odchýlení od požadovaných tolerovaných rozměrů.
- Obsluha stroje může vykonávat i další úkony během obrábění např. upínání obrobku na druhou paletu či stroj, anebo obsluhovat další výrobní CNC stroj.

Nevýhody

- Cena CNC stroje, nákup některých nástrojů, příslušenství stroje a opravy jsou finančně náročné.
- Především u kusové výroby a zavádění nových výrobních programů může dojít k chybnému počínání obsluhy, nebo programátora. Závažná chyba může v konečném součtu způsobit citelné finanční ztráty. [2]

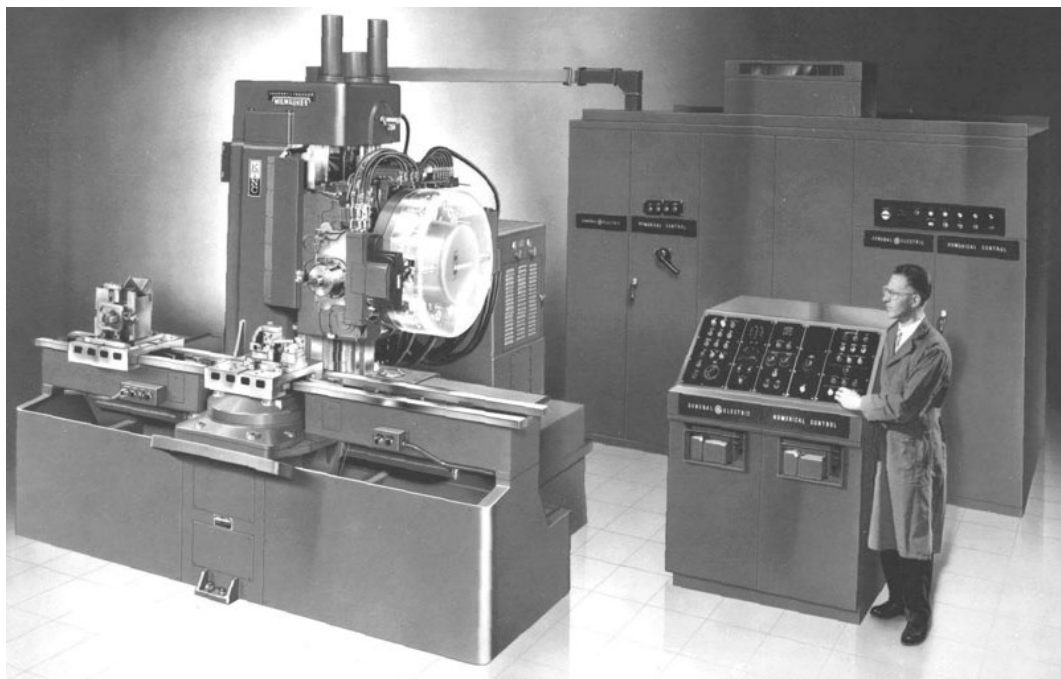
1.2 Vývoj NC a CNC výrobních strojů

Obráběcí stroje můžeme rozdělit do několik vývojových etap. Na začátku 50. let 20. století se dostaly do podvědomí veřejnosti NC stroje. První stroje, které byly nástupcem konvenčních strojů. NC stroj byl vybavený svým vlastním řídicím systémem a čtečkou.



Obr. 2. Děrný pásek

Čtečka převáděla údaje z programu (děrného štítku) na impulsy a ty dávaly příkazy výrobnímu stroji. Tehdejší programy byly uloženy na nosiči např. děrný štítek, děrný pásek a magnetická páska. Velký zlom přišel v roce 1972, ve kterém byl sestrojen první CNC stroj. Stroje s označením CNC, jsou vybaveny počítačem, který pomocí sestaveného výrobního programu (G – kódu) dokáže řídit části obráběcího stroje. [4], [5]



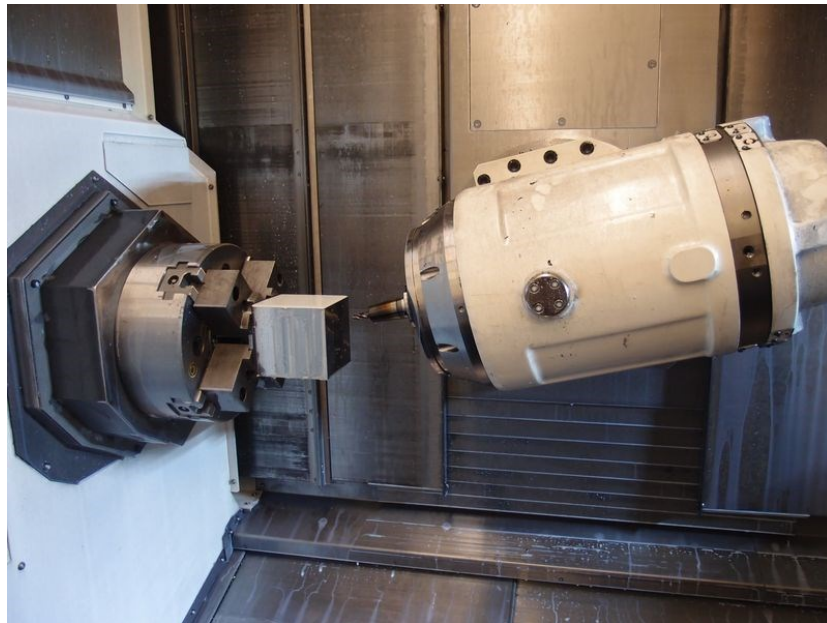
Obr. 3. První komerční NC obráběcí stroj Milwaukee-Matic-II [5]

Tab. 1. Vývoj NC a CNC obráběcích strojů [3]

Komponent	Stroje	Řídicí systémy	Výrobní systémy
První polovina dvacátého století			
Rychlořezná ocel, sli- nuté karbidy	Vačkové automaty, kopírovací soustruhy, mnohovřetenové au- tomaty	Narážkové a kopíro- vací systémy	Tvrdé taktovací linky s mnohovřetenovými pracovními stanicemi
50. léta 20. století			
Elektronicky řízené hydraulické a elek- trické servomotory	První NC stroje v USA a Skotsku (Parson, Ferranti). Měřicí stroje s čísli- covou indikací	NC systémy řízené magnetickým zázna- mem. Pravoúhlé sys- témy	Speciální stroje a ná- stroje pro vysokou produktivitu.
60. léta 20. století			
Elektrohydraulické a el. krokové motory v Japonsku (Fujitsu), SSSR (Enims)	Vývoj NC frézek, soustruhů, karuselů a vyvrtávaček v evrop- ských zemích (vč. ČSSR). První pětisou- řadnicová frézka.	První tranzistorové systémy v USA. Apli- kace integrovaných obvodů s parabolic- kými a splineovými interpolacemi.	Speciální vícestani- cové stroje pro drobné dílce.
70. léta 20. století			
Procesní měření a ří- zení rozměrů dotyko- vými sondami (Rein- shaw)	První soustružnické centrum s rotujícími nástroji pro přídavné obrábění nerotačních ploch	První CNC systémy na minipočítačích v USA Japonsku i v Evropě (včetně ČSSR)	První pružné výrobní systémy s automatic- kým přesunováním nástrojů
80. léta 20. století			
Senzory pro identifi- kaci a sledování po- hybů mechanických objektů	Stroje pro CNC/ PLC systémy a zásobníky i manipulátory obrobků i nástrojů	CNC/ PLC systémy na bázi multiproceso- rových mikropočíta- čových struktur	Sériová výroba a in- stalace pružných vý- robních systémů pro nerotační součásti
90. léta 20. století			
Velkokapacitní zásob- níky a systémy mezi- strojové dopravy ná- strojů i obrobků.	NC stroje s vysokými přesnosti a produktivi- tou pro všechny typy výrobních operací	CNC systémy s ote- vřenou architekturou a integrovanými CAD/CAM systémy na bázi PC	Pružné výrobní buňky s bohatým technolo- gickým vybavením pro širokou variantu dílců
21. století			
Vývoj nové generace HSC strojů, aplikované nové technologie pro ekonomické podmínky 21. století s využitím nových možností nástrojů. Široké nasazení CNC strojů a pružných soustav pro vysokorychlostní obrábění i jiné high – tech metody. Jsou vytvářeny multifunkční stroje. Standardizace všech HW a SW rozhraní strojírenských podniků.			

1.3 Rozdělení CNC obráběcích strojů

Trendem u CNC strojů je snaha přizpůsobovat obráběcí stroje k vykonání více operací na jedno upnutí. Tento způsob je jedna z možností, jak zkrátit čas výroby obrobku. Na obr. č.4. je ukázka víceúčelového stroje, který je kombinací rotačního soustružnického vřetena a otočného frézovacího vřetena.



Obr. 4. Víceúčelové obráběcí centrum Mazak Integrex [19]

Jednoprofesionální CNC stroje provádějí především jeden druh operace a to např. soustružení, frézování, broušení, nebo vyvrtávání. V dnešní době jsou jednoprofesionální stroje nahrazovány obráběcími centry, které jsou efektivnější a zvládnou vykonat více operací za krátký časový úsek.

Obráběcí centrum je stroj, který dokáže vykonávat různé typy operací. Pracuje v automatickém cyklu, je vybaven automatickou výměnou nástrojů a disponuje prvky diagnostiky a měření.

Víceúčelové obráběcí centrum dokáže obrábět kromě deskových, skříňových také i rotační součásti (obr. 4). [5]

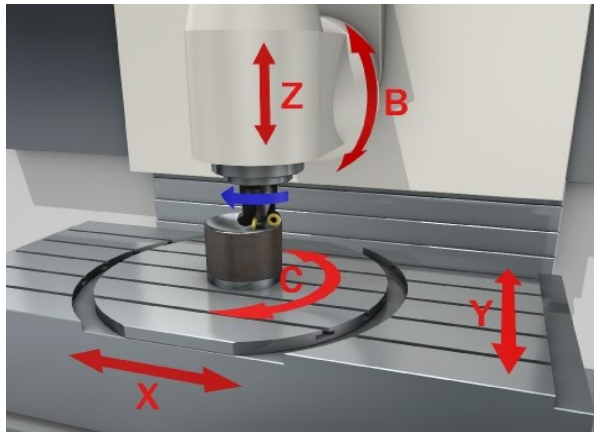
1.3.1 Rozdělení obráběcích strojů dle pracovních os

Vývoj v oblasti konstrukce CNC strojů a jejich automatizace umožnil zvýšení počtu řízených os a přechod z pravoúhlého řízení na souvislé. Tento princip zároveň umožnil dosažení lepších technologických výsledků při obrábění složitějších tvarových ploch. Dle Štulpy ([1], s.

92) „pro hodnocení konstrukční vyspělosti stroje (obráběcího centra) se používá jako jeden z ukazatelů počet os souřadnicového systému, které mohou být při obrábění současně v činnosti.“

Dle obráběcích os, můžeme obráběcí stroje dělit na:

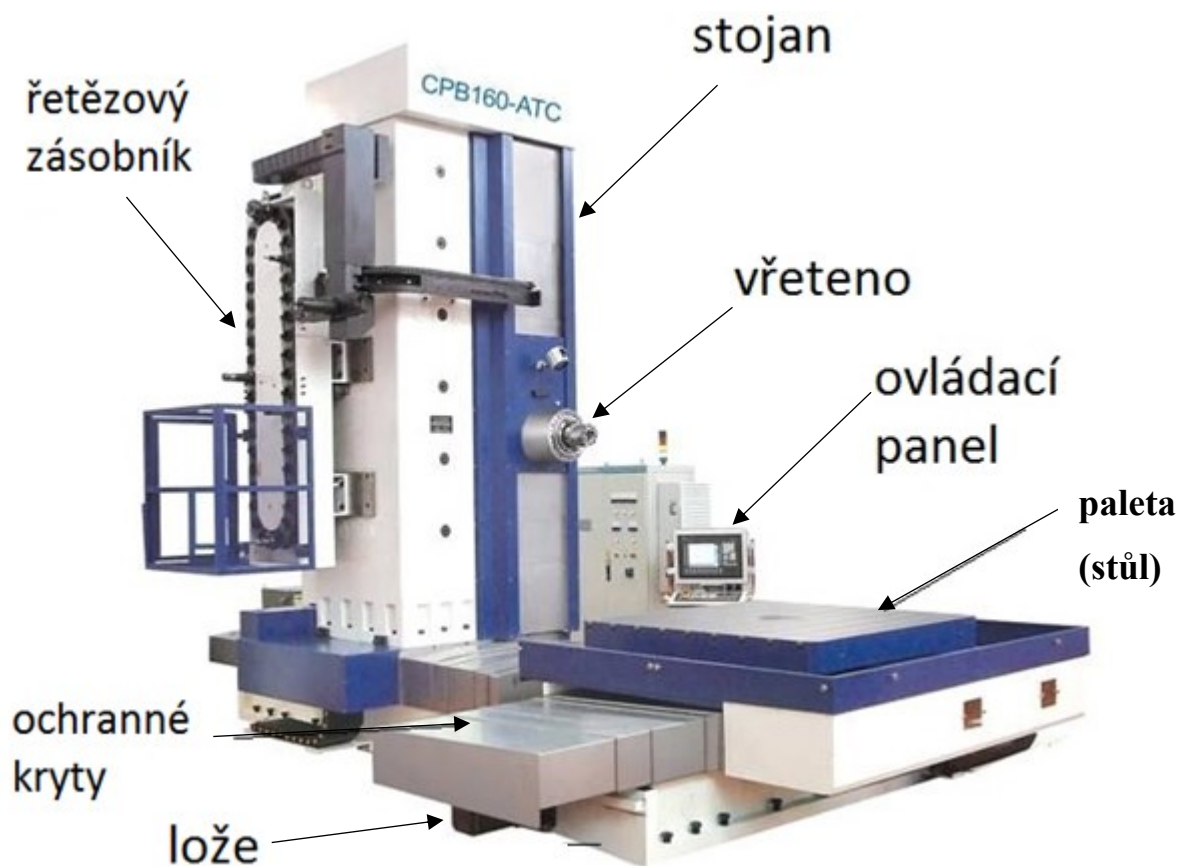
- **Dvousé obrábění (2D)** – umožňuje řízení dvou os najednou. Využívá se u soustruhů, kde se využívají osy X a Z, tzn. pohyb nástroje je mezi dvěma definovanými body po přímkové nebo kruhové dráze.
- **Třiosé obrábění 3D** – obrábění je možné ve třech osách X,Y,Z současně – např. tříosá frézka.
- **Čtyřosé obrábění (4D)** – obrábění v osách X,Y,Z a natočení obrobku, nebo natočení nástroje.
- **Pětiosé obrábění (5D)** – Pomocí 5 os je umožněno plynulé naklání nástroje nebo obrobku ve dvou rotačních osách společně s pohybem v X,Y,Z (lepší řezné podmínky a dostupnost k obráběným plochám). Používá se na obrábění lopatek na kole turbíny, nebo při obrábění forem pro vstřikování plastů. [6]



Obr. 5. Pětiosé frézování (5D) [20]

1.4 Části obráběcího CNC horizontálního stroje

Horizontální frézovací skřívá své přednosti především v tuhosti stojanu na něm je umístěno vřeteno. Můžeme tak dosáhnout přesných rozměrů při obrábění s většími nástroji do tvrdých materiálů. Jedna z nejdůležitějších částí stroje je jeho rám. Rám má velký vliv na přesnost výroby a je vyroben z odlitků litiny, která zaručuje vynikající stabilitu materiálu a dlouhodobý provoz bez deformací.



Obr. 6. Složení horizontální frézky [21]

- **Lože** – část skříňového tvaru, převládající délkou nebo šířkou nad výškou. Spojuje základní část stroje v jeden celek. Na loži jsou uloženy vodící plochy pro paletu stroje.
- **Stůl / paleta** – zpravidla plochého tvaru s vodorovnou upínací plochou, na kterou se upíná obrobek nebo přípravek. Do stolu jsou vyrobeny „T“ drážky. Je-li možno stolem posouvat ve dvou směrech, nazýváme stůl křížový, jestliže jím lze i otáčet kolem osy rotace, nazývá se stůl otočný.
- **Ovládací panel** – ovládací panel slouží ke změně dat, zápisu nulového bodu, anebo úpravu G - kódu pomocí klávesnice. Pro zobrazení důležitých informací, chybových hlášení a souřadnic nám slouží monitor.
- **Vřeteno** – rotující část obráběcího stroje, která je uzpůsobena k držení obráběcího nástroje. Některé stroje mohou být uzpůsobeny pro proudění chladicích kapalin anebo vzduchu.
- **Řetězový zásobník** – výměna nástrojů je realizovaná pomocí řetězového zásobníku a dvou dvouramenného výměníků. K dispozici je zásobník, který může obsahovat i

více pozic pro nástroje (v našem případě 90). Zásobník se posouvá pomocí kladky, která nám umožňuje posunout nástroj do patřičné polohy pro výměnu zadaného nástroje.

Z hlediska bezpečnosti, obráběcí stroje obsahují mnoho bezpečnostních prvků a systémů, které chrání obsluhu stroje vůči zranění. [5], [14]

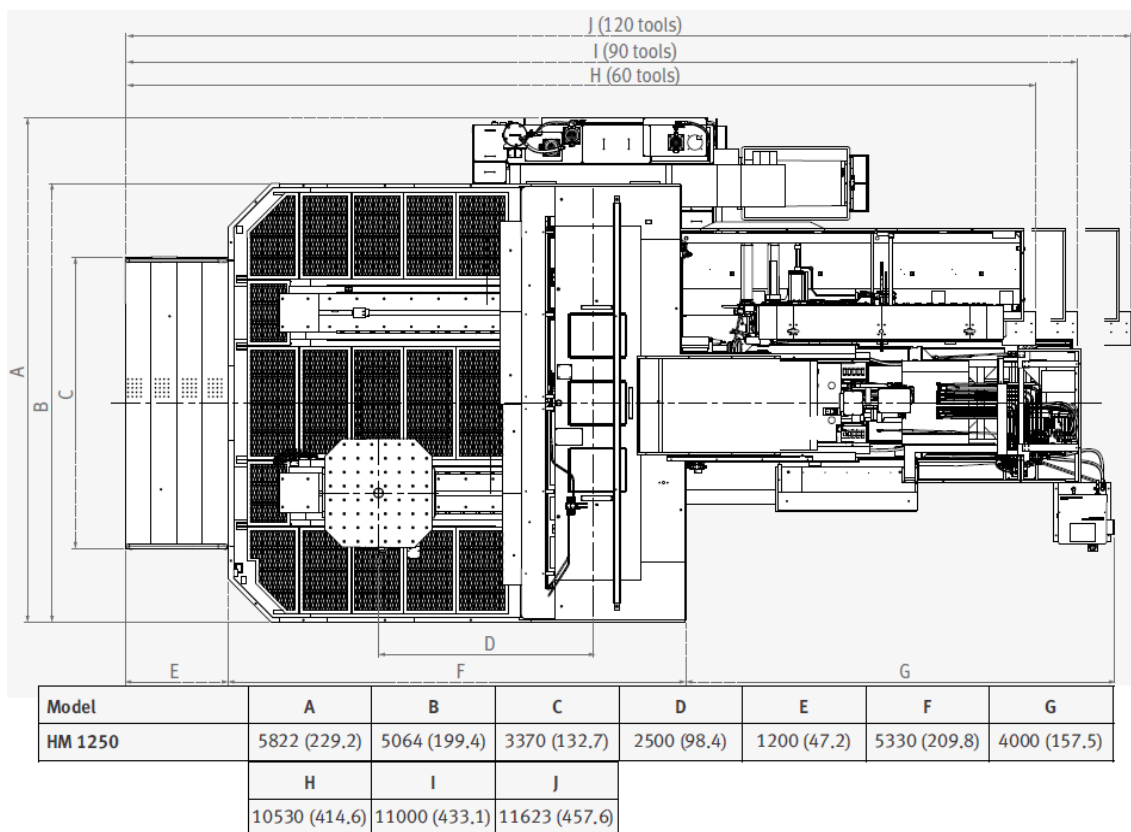
1.5 Doosan ACE HM1250

Firma DOOSAN vyrábí více než 250 modelů obráběcích strojů a jen v Itálii je jich v provozu přes 6500. Při praktické části bude použit stroj Doosan ACE HM1250, řídicí systém FANUC 32i-A.

Tab. 2. Hlavní charakteristiky a skladba stroje [28]:

Název	Jednotky	Hodnota
Hmotnost stroje	kg	31000
Pojezd osy X	mm	2100
Pojezd osy Y	mm	1500
Pojezd osy Z	mm	1500
Vzdálenost střed vřetena – úroveň palety	mm	50 až 1550
Vzdálenost čelo vřetena – střed palety	mm	285 (385) až 1785
Rozměry palety	mm	1250x1250
Maximální zatížení palety	kg	3000
Počet palet	ks	2
Doba výměny palet	s	55
Palety s T drážkami	mm	š 22, rozteč 125
Max. rozměr obrobku (výška x šířka)	mm	1720 x 2010
Kužel vřetena	ISO	50
Otáčky vřetena	ot/min	20 – 6000
Výkon motoru vřetena	kW	26

Maximální výkon k dispozici od:	ot/min	125
Max. krouticí moment motoru vřetene (trvale / 30 min)	Nm	1683/1989
Počet míst v zásobníku nástrojů, řetězový	ks	90
Max. průměr nástroje (plně obsaženo/každý druhý prázdný)	mm	130/300
Max. hmotnost nástroje	kg	25
Doba výměny nástroje	s	8,5
Max. výška obrobku	mm	1723
Vysokotlaké chlazení nástrojů středem vřetena	bar	30-70



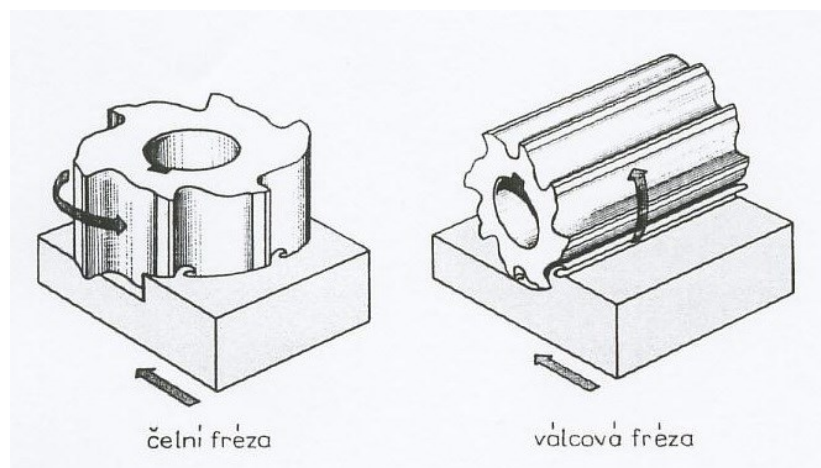
Obr. 7. Schéma obráběcího stroje DOOSAN HM1250 [28]

2 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je operace třískového obrábění, při které je z obrobku odebírána vrstva materiálu ve formě třísek. Materiál je odebrán rotačním vícezubým nástrojem – frézou. Pohyb vykonává součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních obráběcích strojů jsou posuvné pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. Ke zmírnění chvění je vhodné mít v záběru s obrobkem více zubů současně. Z technologického hlediska rozeznáváme válcové a čelní frézování. Můžeme tak obrábět drážky, rovinné, tvarové, šikmé a nepravidelné plochy apod. [7], [8]

2.1 Kinematika frézování

V závislosti na aplikovaném nástroji se rozlišuje frézování válcové (obvodem) a frézování čelní (frézování čelem). **Čelní frézování** uplatňujeme při práci s čelními frézami, kdy břity jsou vytvořeny na obvodu i čele nástroje. **Válcové frézování** uplatníme s válcovými a tvarovými frézami. Zuby jsou rozmístěny po obvodu nástroje a obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy.

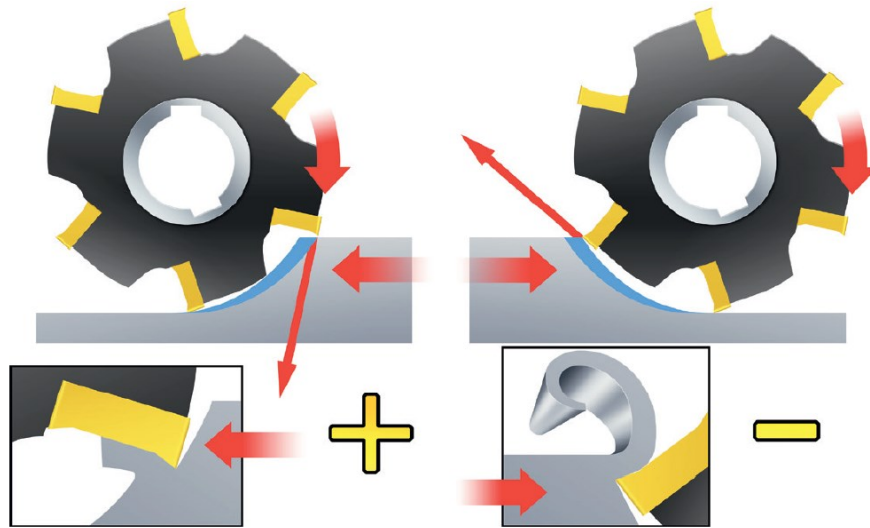


Obr. 8. Frézování čelní a válcovou frézou [22]

Válcové frézování rozdělujeme:

- **sousledné frézování** – smysl rotace nástroje je ve směru posuvu obrobku. Řezné síly působí směrem dolů. Tento typ frézování se používá se pro většinu frézovacích operací. [8]

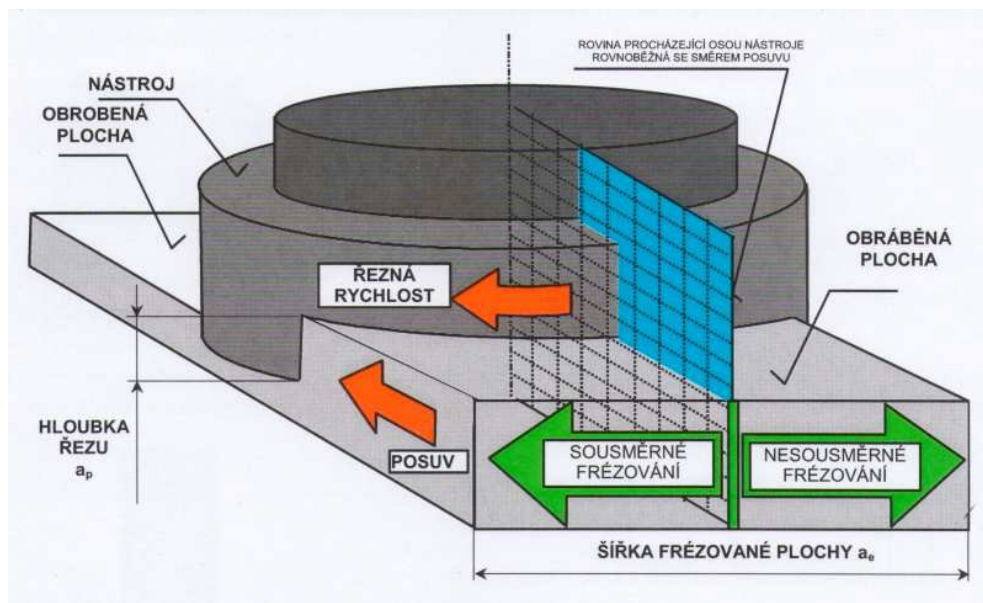
- **nesousledné frézování** – smysl rotace nástroje působí proti směru posuvu obrobku. Řezná síla při protisměrném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu. V takovém případě musíme pečlivě upnout obrobek. Využívá se při nedostatečném výkonu obráběcího stroje, nebo při přílišné poddajnosti obrobku. [8], [10]



Obr. 9. Sousedné (vlevo) a nesousledné obrábění ((vpravo) [10]

2.2 Řezné podmínky

Proces obrábění probíhá za předem stanovených řezných podmínek, které se volí v závislosti na obráběném materiálu, materiálu nástroje, tuhosti upnutí a způsobu frézování. [9]



Obr. 10. Základní pojmy frézování [7]

Pomocí řezných podmínek se snažíme zabránit nadměrnému opotřebení břitu, ke kterému dochází např. na hřbetu nástroje. Často se mění velikost vůle mezi nástrojem a obrobkem, což může způsobovat problémy s výskytem nežádoucích vibrací. Na obrázku 11 je graficky znázorněno několik základních pojmu, které se vyskytují při obrábění:

- **Hlavní pohyb** u frézování koná nástroj (rotační) a vedlejší pohyb koná obrobek (přisuv, posuv).
- **Obráběná plocha** je plocha, ze které je odebírána vrstva materiálu v podobě třísek.
- **Plocha řezu** je plocha, která se vytváří na obrobku hlavním a vedlejším břitem nástroje a vytváří přechod mezi obráběnou a obrobenou plochou.
- **Obrobená plocha** – nově vytvořený povrch, vzniklý odebráním vrstvy materiálu.
- **Řezná rychlost** – jedná se o rychlost hlavního rotačního pohybu, kterou při frézování vykonává nástroj. Vysoká řezná rychlost může způsobovat opotřebení hřbetu nástroje. Příliš nízká řezná rychlost je příčinou nárůstu na břitu nástroje. Řeznou rychlost (rychlost řezného pohybu) vypočteme ze vztahu:

$$v_c = (\pi \cdot D \cdot n) / 1000 \text{ [m/min]} \quad (1)$$

$$v_c = \text{řezná rychlost [m/min]}$$

$$D = \text{průměr nástroje [mm]}$$

$$n = \text{počet otáček vřetene [ot/min]} \quad [7], [10]$$

Řezné rychlosti se pohybují v rozsahu 20 až 570 m.min⁻¹ a jsou určeny dle obráběného materiálu, materiálu nástroje a způsobu frézování. Drsnost povrchu závisí především na velikosti posuvu, řezné rychlosti, tvaru špičky a velikosti nástroje. Dosažitelná přesnost výroby záleží na tuhosti, přesnosti stroje a seřízení nástroje. [9]

Tab. 3. *Orientační hodnoty řezných rychlostí dle materiálu [9]*

Materiál	RO (rychlořezná ocel)	SK (slnutý karbid)
ocel	20 ÷ 40 m.min ⁻¹	120 ÷ 200 m.min ⁻¹
měď	40 ÷ 60 m.min ⁻¹	240 ÷ 280 m.min ⁻¹
hliník	120 ÷ 250 m.min ⁻¹	450 ÷ 570 m.min ⁻¹

Hloubka záběru při frézování se pohybuje v rozsahu 0,1 ÷ 20 mm i více. Záleží na mnoho faktorech např. vlastností a chování obráběného materiálu, náročnosti obráběné plochy, přesnost tolerančního a typ operace. [9]

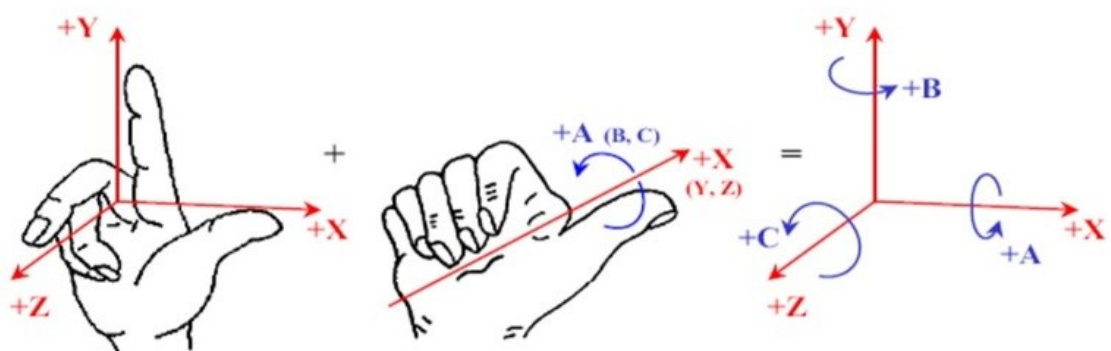
3 PRINCIP ŘÍZENÍ A OBSLUHA OBRÁBĚCÍHO CNC STROJE

Kvalifikace obsluhy (operátora) CNC strojů se odvíjí od typu výroby a výrobního stroje. Po operátorovi CNC strojů se požaduje znalost čtení výkresové dokumentace, práce s měřidly, znalost G-kódu, spolehlivost a zodpovědnost.

V naší praktické části bakalářské práce musí být obsluha zkušená a dostatečně obeznámená s kusovou výrobou. Do náplně práce často patří úprava korekce nástrojů v závislosti naměřených hodnot, výměna VBD, samostatné rozhodování a v případě nutnosti i úprava G – kódu. Často se obsluha stroje setkává s úpravou délky nástrojů dle aktuální potřeby a dostupnosti upínačů nástrojů. Musíme brát v potaz, že zásobník stroje obsahuje pouze 90 volných pozic a obráběcí stroj je využíván na různé druhy kusového obrábění pro 3 směnný provoz.

3.1 Souřadnicový systém obráběcího stroje

Pravoúhlý souřadný systém řízení neboli kartézský systém souřadnic se používá u frézovacích a soustružnických strojů. Systém je pravotočivý, pravoúhlý s osami X,Y,Z a otáčivé pohyby se označují symboly A,B,C (obr. 12). Osa Z je obvykle rovnoběžná s pracovní osou vřetene. Dle potřeby můžeme celý souřadnicový systém posouvat a otáčet. Při měření nástrojů (zjišťování korekce nástroje) je souřadnicový systém uložen na špičce nástroje, nebo v bodě výměny nástroje. [1], [11]



Obr. 11. Definování kartézských souřadnic – pravotočivá soustava [23]

3.2 Nulové a vztažné body

Řídicí systém CNC stroje aktivuje souřadnicový systém ihned po spuštění obráběcího stroje. Souřadnicový systém má svůj počátek, od kterého se odvíjí pohyb nástroje. Obráběcí stroj má ostatní vztažné body, které jsou více, či méně důležité pro obsluhu a programátora stroje.

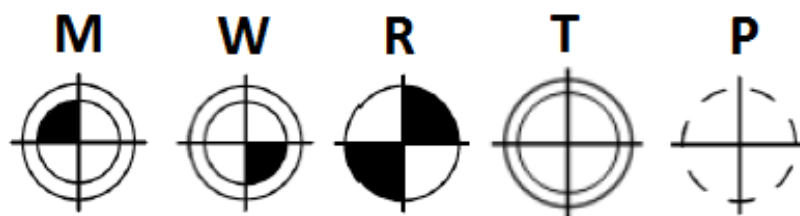
M – Nulový bod stroje: Tento bod je stanoven výrobcem. Jedná se o výchozí počátek souřadného systému. Odvíjí se od něho všechny souřadnicové systémy a vztažné body. Ve většině případů je tento bod výrobcem zvolen jako spojnice nulového bodu M a referenčního bodu R. Je tedy úhlopříčkou pracovního prostoru stroje a nemůže být změněn.

W – Nulový bod obrobku: Počátek souřadnic kartézského systému tzv. nulový bod obrobku (G54 – G59) je zvolen programátorem. Nulový bod volíme v nejvhodnější místě z hlediska správného odměření v daných bodech. Také se dbá na vhodný přepočtení souřadnic vzhledem k nulovému bodu. Při obrábění složitějšího obrobků, může programátor dle libosti volit i více nulových bodů.

R – Referenční bod stroje: Při každém úplném vypnutí a zapnutí stroje se tento bod mechanicky nastavuje pomocí koncových spínačů. Zreferování („najetí“) koncového bodu slouží k přesnému seřízení a nalezení nulového bodu stroje. Eliminujeme tak možné chyby plynoucí s nepřesného seřízení nulového bodu stroje.

T – Vztažný bod upínače nástrojů: tento bod je umístěn na upínací ploše nosiče nástroje. Slouží nám k bezpečné výměně nástroje. Obsluha stroje musí znát délku každého nástroje. Délka nástroje je rozdíl mezi špičkou nástroje P a bodem T (zapisuje se do stroje). V případě praktické části bakalářské práce můžeme délku nástroje měřit pomocí nástrojové sondy.

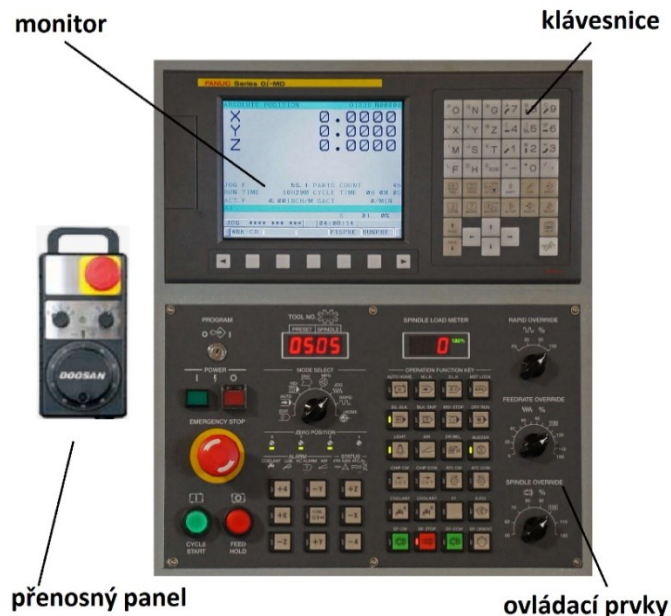
P – výchozí bod nástroje: zde začíná pracovní pohyb nástroje. Nachází se na čelní ploše v ose rotace nástroje [1]



Obr. 12. Symboly nulových bodů

3.3 Řídicí panel a řízení CNC stroje

Řídicí panel stroje nám slouží k zobrazování důležitých dat při obrábění např. načtení korekce, nulové body, otáčky, posuv a G – kód. Můžeme tak prohlížet data, upravovat G – kód, anebo si vytvořit svůj vlastní výrobní program v závislosti na řídicím systému.



Obr. 13. Řídicí panel CNC stroje [24]

Vstup dat – provádí se pomocí klávesnice (alfanumerická). Pomocí klávesnice můžeme zadávat různé příkazy k ovládání stroje a jeho příslušenství. Výrobní programy kopírujeme do systému různými způsoby např. paměťová karta, LAN připojení.

Ovládání stroje – ovládání pomocných funkcí stroje provádíme pomocí ovládacích prvků, které jsou přednastaveny (chlazení, blok, rychloposuv atd.). Důležitou funkcí je ovládání rychlosti posuvu a otáček.

Přenosný ovládací panel – v případě, že stroj máme v ručním režimu, můžeme využívat přenosný panel. Přenosný panel nám slouží k pohybu vybrané osy. Slouží k opatrné a přesné manipulaci stroje. Můžeme se tak pohybovat od 0,1 až 0,001 mm za otočení kruhového prvku o jeden dílek na přenosném panelu. [1]

Obsluha CNC stroje má možnost volit různé režimy stroje dle potřeby. Režimy jsou voleny přes otočný prvek na ovládacím panelu. Mezi nejčastější režimy ovládání stroje patří:

Režim **AUTO (automatický provoz)** znamená plynulý proces obrábění dle výrobního programu. Stroj pracuje dle výrobního programu řádek po řádku. Vygenerovaný program začíná symbol % a končí příkazem M30.

Režim **MANUAL (ruční provoz)** slouží k manuální nastavení polohy nástroje (vřetene) nebo stolu. Tento režim nám umožňuje využívat přenosný ovládací panel.

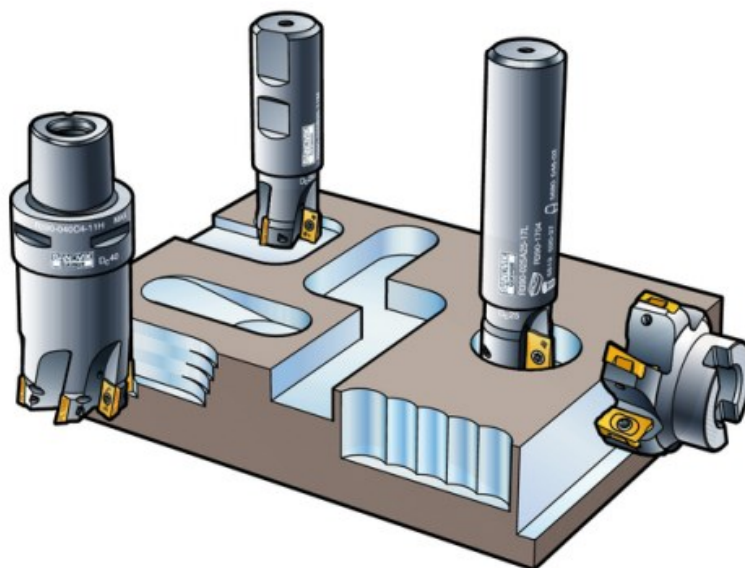
Režim **EDITACE** programu nám umožňuje zapisovat a měnit program přímo v editoru stroje, který obsahuje řídicí systém. Používá se pro editaci některých částí G – kódu.

V režim **B-B (Blok po Bloku)** se stroj po zpracování bloku (řádku) zastaví a po opětovném startu přečte stroj pouze následující blok a zastaví se znovu. Tento režim slouží ke kontrole správnosti G – kódu. Využívá se především při obrábění nevyzkoušeného programu, kdy musíme postupovat krok po kroku k minimalizování možné kolize způsobené chybou v souřadnici. [1]

3.4 Volba nástroje

Výběr nástroje patří k důležitým úkonům při programování CNC stroje. Programátor musí volit nástroje dle vhodnosti pro dané obrábění. Při volbě rozhoduje mnoho faktorů např. materiál a přesnost.

3.4.1 Frézovací nástroje



Obr. 14. Různé typy frézovacích nástrojů [16]

Fréza je nástroj rotačního tvaru se zuby uloženými na povrchu obvodu tělesa. Upínací část má tvar kužele nebo válce. Fréza se při práci otáčí, zuby frézy zabírají do materiálu a oddělují třísky nepravidelného tvaru. Frézy se vyrábí různých velikostí a tvarů (obr. 15). [16]

3.4.2 ZÁVITOVACÍ NÁSTROJE

Při výběru metody pro zhotovení závitů zohledňujeme výhody frézování. Závity můžeme vytvořit pomocí závitové frézy, řezání závitu závitníkem, nebo tváření závitů pomocí speciálního závitníku. Závitořezné frézy díky svému tvaru umožňují vytvoření závitu až po samé dno otvoru. Závitník se kvůli svému náběhu nedostane na požadovanou hloubku. Při použití závitořezné frézy můžeme jednoduše korigovat velikost závitu, a tak můžeme frézovat závity, které mohou být těsnější anebo naopak volnější. Závitové frézy nám minimalizují inventář nástrojů, protože fréza má schopnost v závislosti na vyměnitelné břitové destičce frézovat různé závity a stoupání dle nastavení příkazu. Při použití závitníku musíme mít pro každý rozměr a stoupání závitu připravený vhodný závitník. [13]



Obr. 15. Závit. fréza (nahore), tvářecí závit., strojní závit. (dole) [25]

3.4.3 Vyvrtávací nástroje

Pro vyvrtávání různě velikých, ale taky přesných otvorů nám slouží vyvrtávací nástroje. Rozdělujeme je na hrubovací a dokončovací (jemné). Pro produktivní hrubování se doporučuje mít dvě břitové destičky se stejným nastavením vzdálenosti a průměru. Jeden břit při

operaci hrubování se používá v případě vysokých vibrací, nebo pro dosažení přísných tolerancí a dobré kvality obrobené plochy.

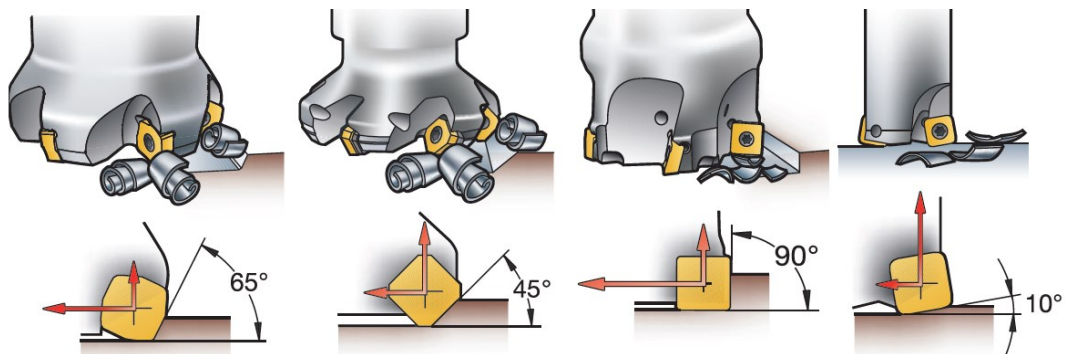
Nástroje pro dokončovací vyvrtávací operace jsou jednobřité. Dokončování využíváme v případě dodržení přesných tolerancí a k dosažení vysoké kvality obrobené plochy. Výsledná přesnost záleží na délce a tuhosti držáku nástrojů, vlastnosti materiálu a stav vyměnitelné břitové destičky. Při nastavení korekce nástroje provedeme optické měření k zjištění průměru nástroje a následně provedeme zkušební řez. Pro dosažení dobré kvality obrobení se doporučuje použít řeznou kapalinu, která nám zabrání přerézávání třísek a změnám rozměrů v důsledku působení tepla. [10]



Obr. 16. Vyvrtávací nástroje - (zleva) hrubovací, (uprostřed, vpravo) jemný [10]

3.4.4 Vyměnitelné břitové destičky

V současnosti je zcela běžné využívat nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD). V závislosti na materiálu a zvolení typu destiček můžeme dosáhnout rozdílných řezných podmínek. Při opotřebování VBD je výměna destiček rychlá a jednoduchá. Obsluha stroje musí dbát na dobrý stav VBD, nebo velké opotřebení může vést až k destrukci nástroje.



Obr. 17. Mění se vlastnosti obrábění a třísky v závislosti na úhlu VBD [10]

Při menším úhlu nastavení břitů destičky vzniká tenčí tříška (obr. 18), která je oddělována delší částí břitů. To umožňuje využití vyšších posuvů na zub. Při malém úhlu břitů destičky se zvětšuje axiální složka řezné síly a snižuje se riziko vzniku vibrací.

Snažíme se zabránit situacím, kdy osa frézy splývá s hranou obrobku. Tento jev vede k velmi vysokému rázovému namáhání při vstupu a výstupu ze záběru. [10]

3.4.5 Nástrojové materiály

Materiál břitů nástroje zásadním způsobem ovlivňuje výkonost a trvanlivost nástroje. Zavedení rychlořezných ocelí (RO) a slinutých karbidů (SK) znamenalo zlomovou změnu ve schopnostech nástrojů a jejich výdrže.

Požadavky kladené na materiály břitů patří k vůbec nejvyšším. Požadované vlastnosti jsou: vysoká tvrdost, houževnatost, chemická stálost, odolnost proti teplotnímu rázu a přijatelná cena.

K dalším materiálům, které se hojně využívají, patří např. řezná keramika, syntetický diamant (odolný vůči abrasivnímu opotřebení) a nitrid boru (svou tvrdost si zachová až do teploty 2000 °C). [12]

3.4.6 Povlakování obráběcích nástrojů

Zavedení povlakování v 60. letech bylo velkým pokrokem ve strojírenství. Při povlakování se nanese velmi tenká vrstva (2 až 12 μm) tvrdého a chemicky odolného materiálu na povrch hotového nástroje z RO nebo SK. Tím zvýšíme trvanlivosti a zvýšení řezné rychlosti nástroje.

Nejpoužívanějšími povlaky jsou TiN (nitrid titanu), TiC (karbid titanu) a Al₂O₃ (oxid hliníkový). Každý z těchto materiálů má své unikátní vlastnosti (tab. 4). [12]

Tab. 4. Tabulka vlastností povlaků [12]

Hodnocení	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla
Nejlepší	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiC	Al ₂ O ₃
↑	TiAlN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
	TiN	TiN	TiCN	TiN
	TiCN	TiCN	Al ₂ O ₃	TiCN
Nejhorsí	TiC	TiC	TiN	TiC

4 STRUKTURA PROGRAMU A POČÍTAČOVÁ PODPORA OBRÁBĚNÍ

Počítačová technika patří k největším pomocníkům dnešní doby. Vytvořit výrobní program (G-kód), provést simulaci, následně vygenerovat výrobní program, importovat ho do obráběcího stroje a v případě potřeby G – kód upravit přímo ve stroji nebylo nikdy jednodušší. Využití výpočetní techniky je jedním z hnacích motorů i ve strojírenství. Obsluha a programátor CNC obráběcích strojů mají pomocí počítače zásadní vliv na produktivitu práce. [13]

4.1 Základní rozdělení programování

Při programování se snažíme naplánovat dráhu nástroje tak, aby nedošlo ke kolizi a nástroj vykonal danou práci, pokud možno za co nejkratší čas. Často se využívají dva způsoby programování v závislosti na složitosti obrobku.

Vytvoření programu pro CNC obráběcího stroje můžeme provést následujícími způsoby:

- a) **online** – programování přímo na CNC stroji, tzv. dílenské programování. Programování provedeme v interaktivním prostředí pomocí ovládacího panelu (není zde potřebná znalost G a M kódu)
- b) **offline** – tvorba programu mimo řídicí systém
 - ruční psaní pomocí ISO – určeno pro jednodušší a tvarově nenáročné součásti
 - pomocí CAM systému – počítačové vygenerování G – kódu dle 3D modelu

Způsob programování volíme dle náročnosti obrábění a poskytnutého příslušenství. [17]

4.1.1 Struktura G-kódu

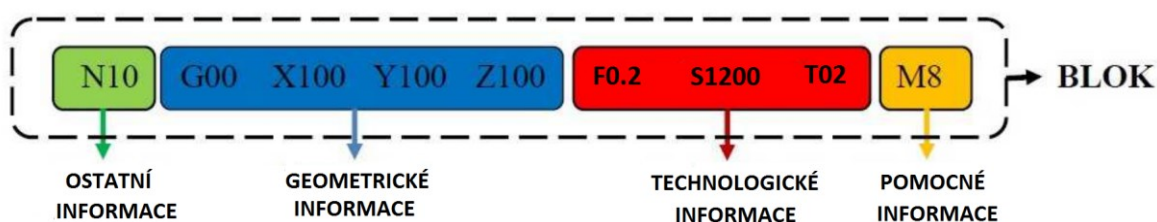
CNC program je soubor geometrických, technologických a pomocných informací, které popisují činnost numericky řízeného stroje. Skladba slov (příkazů) seřazených v daném řetězci se nazývá G – kód.

Informace a použité znaky ve výrobním programu (obr. 19) můžeme dělit na:

- **Geometrické** – popis drah nástroje v kartézských souřadnicích
- **Technologické** – údaje, které stanovují řezné podmínky (tabulka č. 5)
- **Pomocné** – příkazy pro vykonání pomocných funkcí (tabulka č. 7)

K uvedení stroje do pohybu pomocí automatického režimu používáme tzv. výrobní programy, které jsou složené ze slov a bloků. U většiny řídicích systémů se objevuje ještě před číslem programu (názvem) znak %. Tento znak nám zahajuje program. Vše před tímto znakem (%) není řídicí systém schopen zpracovat. Poznámky k jednotlivým větám píšeme do obvyklých jednoduchých závorek.

Každý blok by měl být vytvořen stejnou strategií zápisu (obr. 19). [1], [17], [13]



Obr. 18. Složení bloku [26]

4.1.2 Význam nejpoužívanějších adres

Každý blok (věta) je tvořen určitými alfanumerickými symboly, které jsou seřazeny v určitém pořadí (N G M X Y Z F S T D). Doporučuje se pro větší přehlednost tuhle posloupnost dodržovat. Základní značení adres vychází z normy ČSN ISO 6983 a užívá se název tzv. ISO PROGRAMOVÁNÍ.

Tab. 5. Význam alfanumerických symbolů

Písmeno	Význam
N	Číslo bloku (může či nemusí být uvedeno, slouží pro lepší orientaci v programu)
X, Y, Z	Základní osy souřadného systému (souřadnice v osách X, Y, Z)
A, B, C	Rotace kolem základních os
U, V, W	Paralelní pohyb se základními osami
G	Přípravná funkce (geometrická), zadávají se geometrické informace (přímka, kruh)
M	Pomocné funkce (přípravné), spouštějí činnost strojních mechanismů (zapnutí a vypnutí otáček, řezné kapaliny)
F	Rychlost posuvu (udává se v mm na otáčku nebo v mm za minutu nebo v mm na zub)
S	Otáčky vřetena nebo hodnota konstantní řezné rychlosti (záleží na systému)
T	Volba nástroje
R	Hodnota rádiusu nebo polární souřadnice

Norma je předpis doporučující. Firmy vyvíjející řídicí systémy CNC strojů např. Heidenhain, Siemens, FANUC, se řídí normou pouze do určité míry. U dílenského (dialogového) programování dochází často k odlišnostem. [13]

4.1.3 Přípravné funkce (G-funkce)

Za adresu funkce následuje významová část skládající se ze dvou číslic, které upřesňují pohyb nástroje a obrobku. Každý software obsahuje sekci HELP. Tato sekce pomáhá programátorovi objasnit různé funkce a rozdíly mezi nimi. Při programování v CAM systému jsou tyto G – funkce přizpůsobovány pomocí post-processoru na jednotlivé typy strojů. [1], [13]

Tab. 6. Seznam nejdůležitějších přípravných funkcí (G-funkce)

Funkce	Význam
G00	Rychloposuv - lineární interpolace maximálním posuvem
G01	Lineární interpolace – pohyb po přímce zadanou hodnotou posuvu F
G02	Kruhová interpolace - pohyb po kružnici v směru hodinových ručiček (CW - clockwise)
G03	Kruhová interpolace - pohyb po kružnici proti směru hodinových ručiček (CCW - counterclockwise)
G17	Volba pracovní roviny X/Y
G18	Volba pracovní roviny Z/X
G19	Volba pracovní roviny Y/Z
G40	Bez korekce rádiusu
G41	Korekce dráhy nástroje vlevo od obrysu (sousedné frézování)
G42	Korekce dráhy nástroje vpravo od obrysu (nesousedné frézování)
G54 - G57	Absolutní posunutí nulového bodu
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální (přírůstkové) programování

4.1.4 Pomocné funkce (M – funkce)

Za adresou funkce následuje významová část skládající se ze dvou číslic vyjadřující činnosti CNC stroje. Pomocné funkce můžeme spustit i pomocí ovládacího panelu na přístroji. Počet využitelných významových funkcí se odvíjí od konfigurace obráběcího stroje.

Tab. 7. Seznam nejdůležitějších pomocných funkcí (M – funkce)

Funkce	Význam
M00	Programové zastavení. STOP vykonávání programu včetně zastavení vřetena a chlazení do doby opětovného startu stroje.
M03	Spuštění otáček vřetena ve smyslu hodinových ručiček. (CW)
M04	Spuštění otáček vřetena proti smyslu hodinových ručiček. (CCW)
M05	Zastavení otáček vřetena.
M06	Výměna nástroje.
M08	Zapnutí chlazení.
M09	Vypnutí chlazení.
M17	Konec podprogramu.
M30	Konec programu

4.1.5 Pevné cykly

Pevné cykly nám umožní zjednodušit programování u často se opakujících tvarů a úkonů. Obsahují funkce G00 a G01 o daném algoritmu, pomocí kterých si po zadání určitých hodnot systém vypočítá souřadnice k provedení daného úkonu. Mezi pevné cykly patří i vrtací cyklus, který má různé odlišnosti např. vrtací cyklus s přerušením, vrtací cyklus s výplachem.

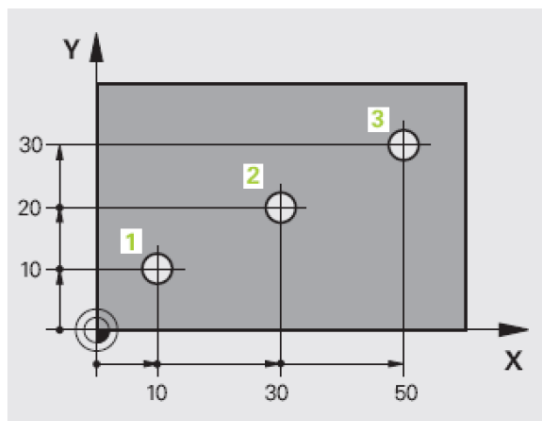
Společnou vlastnost všech cyklů je návrat do výchozího bodu po ukončení cyklu (výchozí bod je místo startu cyklu). [13]

4.2 Druhy programování

Volba druhu programování se určuje především dle předem zadané výkresové dokumentace. Můžeme si všimnout, že přepočítávání některých výkresových kót by mohlo komplikovat práci programátora a proto se volí nejvhodnější programování.

4.2.1 Absolutní programování

Absolutní programování se označuje jako G90. Zápis naprogramovaných souřadnic se odvíjí od zvoleného počátku souřadného systému. Na obr. 20 si můžeme všimnout kótování výkresu od základny. Při volbě absolutního programování nemusíme přepočítat kóty a můžeme souřadnice jednoduše zapsat dle výkresu. [13]



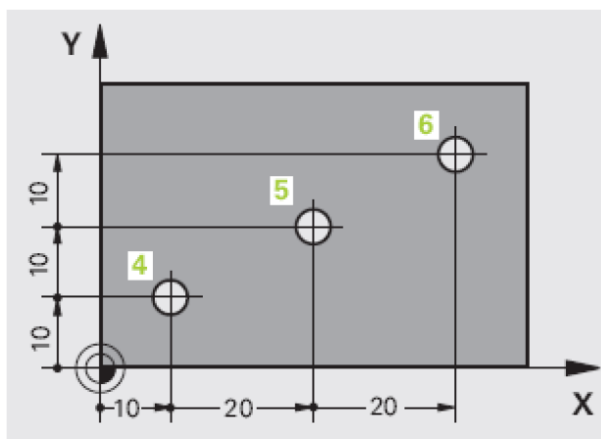
Určení polohy bodů v absolutních souřadnicích

č. bodu	souřadnice X	souřadnice Y
1	10	10
2	30	20
3	50	30

Obr. 19. Absolutní programování [26]

4.2.2 Inkrementální (přírůstkové) programování

Inkrementální programování se značí v program jako G91. Všechny souřadnice programovaných bodů se zadávají vzhledem k předchozímu bodu. Při tomto druhu programování je každý předchozí bod považován jako nulový. Využití převážně pro řetězovém kótování. [13]



Určení polohy bodů v inkrementálních souřadnicích

č. bodu	souřadnice X	souřadnice Y
4	10	10
5	20	10
6	20	20

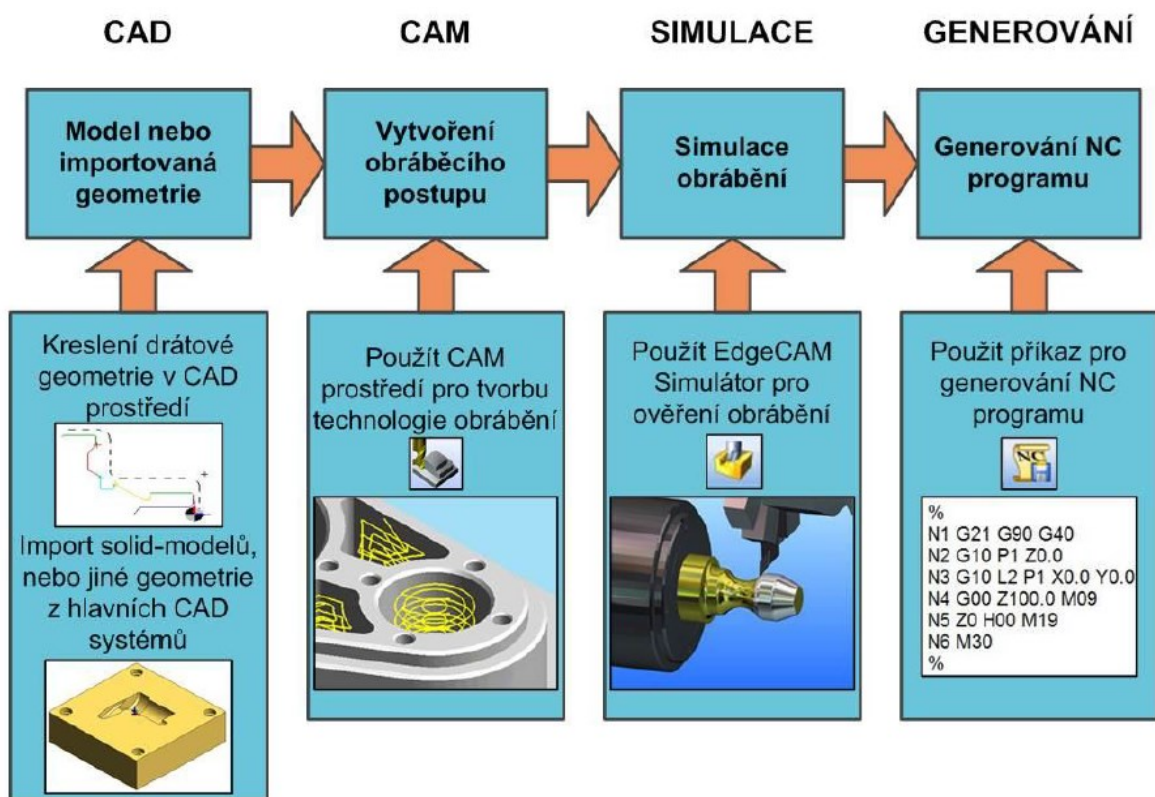
Obr. 20. Inkrementální programování [26]

4.3 Počítačová podpora výroby

V dnešní době se ve výrobních firmách využívají již delší dobu CAD/CAM systémy. Uplatnění najdou při vytváření prostorových modelů výrobků od jednotlivých součástí až po složité montážní celky. V systémech CAD můžeme na virtuálních modelech sledovat výrobitelnost, funkčnost výrobku, dynamické vlastnosti, pevnostní i tepelné namáhání zatěžova-

ných součástí, rozměrové obvody, kompatibilitu dílců při montáži atd. Pomocí simulace můžeme odhalit nedostatky navrhovaného obrobku, ještě před samotnou výrobou a zabránit tak finančním ztrátám. [17]

Prostřednictvím CAD/CAM programového příslušenství (počítačem podporovaná výroba) můžeme takto programovat složité a časově náročné obrobky. Použití programového vybavení závisí na typu výroby, nebo ekonomických možnostech firmy. Každý výrobce programového příslušenství má rozdílnou cenovou politiku a ceny se můžou lišit v řádech deseti-tisíců.



Obr. 21. Schéma použití CAD/CAM systému [17]

Schéma CAD/CAM systémů nám vysvětluje chronologický postup při výrobě obrobku a výstup takových systémů v praxi.

4.3.1 CAD systémy

Počítačová podpora návrhu a tvorby konstrukční dokumentace je interaktivní způsob geometrického modelování. Geometrické modelování se v CAD prostředí zhotovuje v rovině 2D, jehož charakteristickým rysem je uzavřená lomená čára tvořící postupný profil modelu.

Modelování v 3D prostoru dostává model identický tvar se zadáním a lze tak získat lepší představu o tvaru zejména složitějšího obrobku.

Při vytváření jednotlivých modelů se konstruktér setká s následujícími příkazy:

- základní geometrické elementy např. body, přímky, kružnice atd.
- příkazy pro manipulaci s objektem, tj. rotace, zrcadlení, zkosení, prodloužení

Mezi nejznámější CAD programová příslušenství patří: AutoCad, Autodesk Inventor, Solid Edge a SolidWorks.

Práce v 3D CAD systému spočívá v nakreslení a úpravě 3D modelu obrobku. V některých případech můžeme obdrženy model připravit pro programování, anebo dokonce můžeme model i upravit po konzultaci se zákazníkem. [17]

4.3.2 CAM systémy

Prostřednictvím 3D modelu dokážeme v CAM systému naprogramovat dráhu vybraných nástrojů, s následnou simulací, která nám může odhalit případné kolize nástroje s obrobkem. K odhalení kolizí nástroje s obrobkem, nebo upínkami, musíme mít v 3D CAD systému kompletní model (obrobek, upínky, přípravek) a nastavenou správnou délkovou korekci obráběcích nástrojů.

Práce v CAM systému spočívám v řazení jednotlivých úkonů a instrukcí do stromové struktury. Jednotlivé položky (úkony) jsou posloupně seřazeny z hora dolů. [17]

Dle Sadílka a Sadílkové ([17], s. 13) „je třeba však potřebné zdůraznit, že se CAM systémy s cenovou a technologickou dostupností stále více uplatňují i při obrábění běžných součástí v jakémkoli strojním průmyslu. Zvláště pak toto uplatnění roste s narůstajícím počtem vyráběných kusů, kdy právě CAM systémy mohou efektivněji optimalizovat dráhy nástroje u sériové až hromadné výroby na rozdíl od dílenského programování. Zde se každá ušetřená sekunda strojního a vedlejšího času projeví na ekonomice obrábění.“

4.3.3 Postup programování za pomoci CAM programů

Při obrábění se snažíme postupovat následovně. Odebíráme nadbytečný materiál hrubovacím nástrojem. Pokud se jedná o přesný rozměr, necháme si vždy přídavek a dokončíme obrábění pomocí dokončovacího nástroje, který nám vytvoří požadovaný povrch a přesnost.

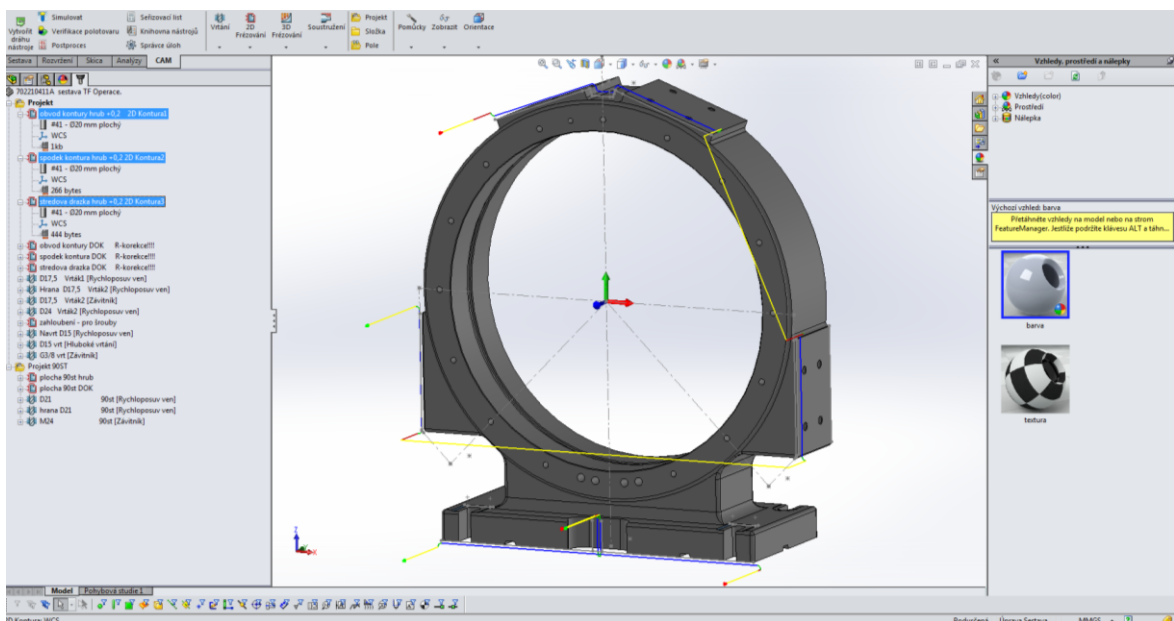
Pro vrtání otvorů velkých průměrů volíme předvrtání menším průměrem vrtáku. Dále pokračujeme vrtáním s odpovídajícím průměrem vrtáku. U přesných otvorů větších průměru děr volíme vyvrtávací nástroje. Při použití vyvrtávacího nástroje musíme obrábět s rozvahou. Úplně první vrtání nekalibrovaného nástroje bývá zpravidla zkušební.

Při práci v CAM nástrojích musíme tento postup dodržovat a dbát na dodržení správné strojové struktury (tzn. správného pořadí po sobě jdoucích operací).

Při programování v CAM systému musíme mít již předem připravený 3D model obrobku. Zvolíme polotovar a výrobní stroj. Výrobní stroj volíme kvůli změně přednastavenému postprocesoru, který je předem upravený na zvolený stroj. Dále musíme zadat nulový bod, ke kterému se budou přepočítávat souřadnice při obrábění. Následuje volba nástrojů, drah a v případě potřeby změny již přednastavených režných podmínek.

Na obr. č. 23 můžeme vidět prostředí v CAD/CAM systému. Na levé straně máme strom operací, který je rozdělen dle nulového bodu. Označení libovolných operací se nám projeví zobrazení drah nástroje (nájezd, pracovní posuv a rychloposuv). Uprostřed 3D modelu je vyznačený nulový bod, ve kterém jsou barevně odlišeny tři základní osy.

Pro závěrečnou kontrolu procesu obrábění můžeme použít simulaci (verifikaci). [15], [17]



Obr. 22. Prostředí v SolidWorks (CAM)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI

V teoretické práci této bakalářské práce bylo obecně probráno téma obsluhy a programování CNC obráběcích strojů. Bylo zde zmíněno rozdělení CNC strojů, princip frézování, princip řízení CNC stroje a jeho programování.

Cílem praktické části bakalářské práce je naprogramování a sestavení postupu obrábění pro obsluhu obráběcího stroje. Postup obrábění je podrobně popsán pro obsluhu stroje tak aby v něm byly uvedeny všechny důležité náležitosti. Pro úpravu 3D CAD modelu a naprogramování obráběcích drah nástroje, využijeme CAD i CAM systémy od společnosti SolidVision, který nese název Solidworks.

V našem případě, dle zmíněného obráběcího postupu bude pro obsluhu stroje vygenerovaný CNC kód, ve kterém jsou vygenerovány všechny dráhy nástroje k obrobení zvoleného výrobku. Nutno zmínit, že postup obrábění může v průběhu obrábění doznat jistých změn, především při konzultaci s obsluhou CNC stroje. Celý proces správnosti naprogramování a vygenerování CNC kódu může být verifikován pomocí grafické simulace v CAM modulu. Podle výsledků grafické simulace zjistíme případné chyby v programování a taky výrobní čas, který může být důležitou indicií pro určení ceny celého obrobení. V našem případě je výrobní čas pouze orientační kvůli náročnosti obrábění daného výrobku. Působí zde mnoho faktorů a podmínek, které můžou celý proces obrábění změnit.

Pro praktickou část bakalářské práce byl zvolen výrobek, který nám umožňuje demonstrovat využití a rozmanitost výroby pro horizontální CNC obráběcí stroj.

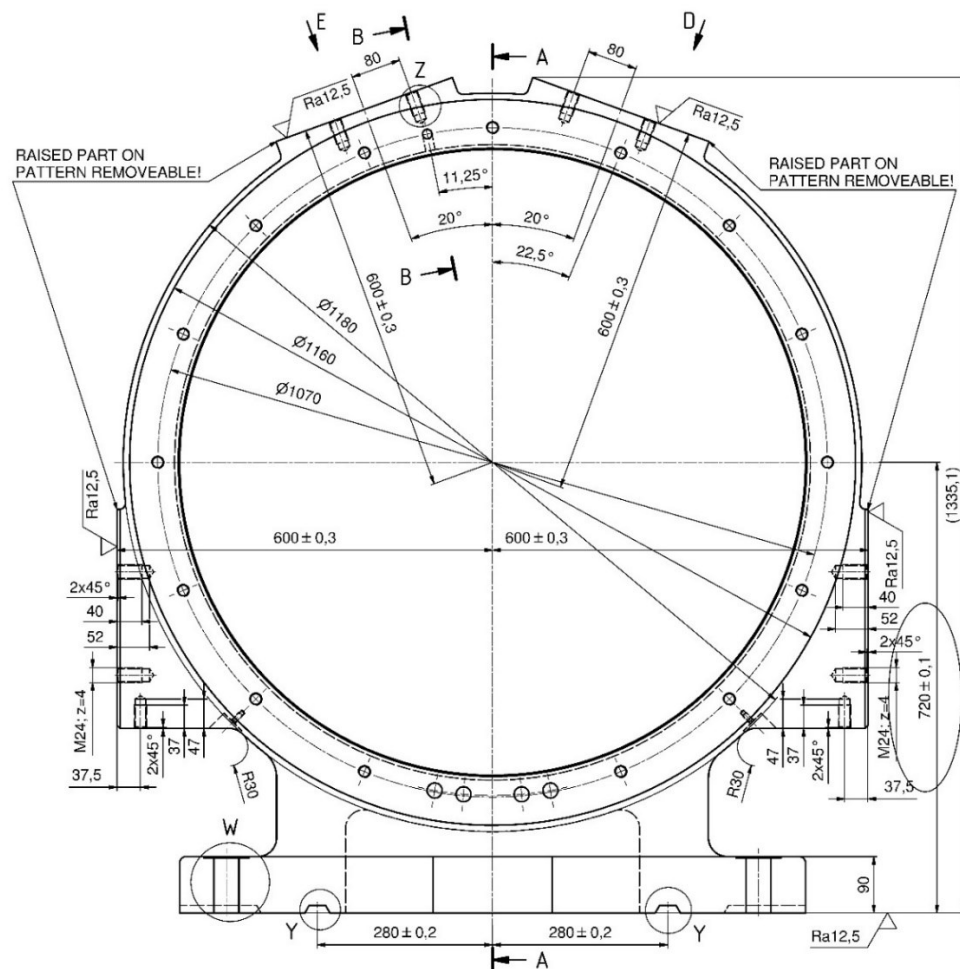
6 3D CAD MODEL

Nedílnou součástí procesu obrábění je navrhnutí výkresové dokumentace. V současné době při zadání požadavku na obrobení nesmí chybět pro programátora důležitý 3D CAD model zadaného výrobku, který nám usnadní celý proces programování.

Výkresová dokumentace je navržena z hlediska funkčnosti obrobku, ale také se klade důraz na ekonomii celého procesu. Cenová politika hraje důležitou roli a konstruktér musí uvážit správnou volbu rozměrových tolerancí. Některé tolerance a tvary obrobku můžou zbytečně navýšit finální cenu obrábění.

6.1 Návrh CAD modelu

Návrh 3D CAD modelu je proveden v 3D CAD nástroji SolidWorks. Tvorba modelu byla uskutečněna dle zákaznickových představ a předložených rozměrů, které musí splňovat.

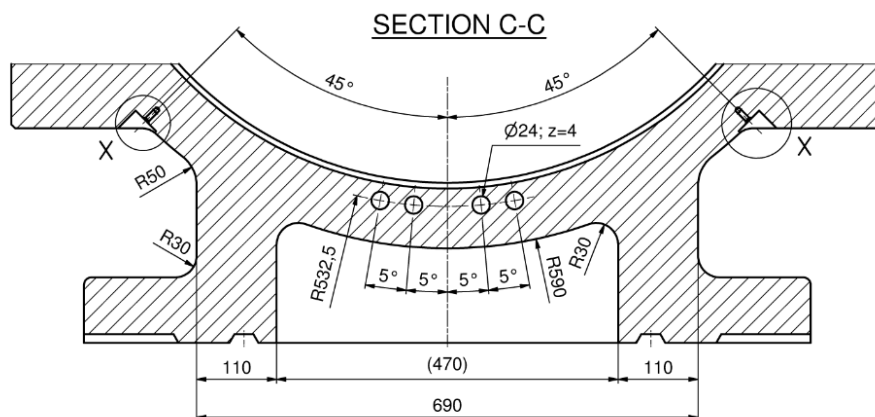


Obr. 23. Výkresová dokumentace výrobku

V navrhnutém 2D modelu ložiskového domku dle obrázku č. 24 je pro funkčnost obrobku důležitý rozměr $720 \pm 0,1$ mm. Tento rozměr musí být změřen a zapsán do protokolu. Jedná se o rozměr od středu otvoru po okraj spodní podstavy.

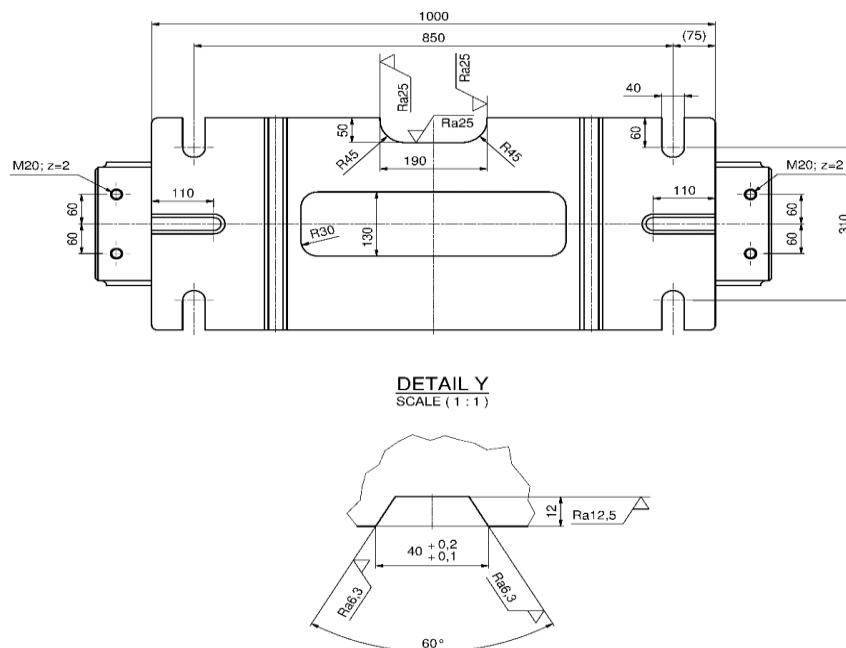
Výrobek obsahuje 4 plochy, na kterých jsou v roztečích dle výkresové dokumentace rozmístěny závity M24. Tyto 4 plochy jsou vůči sobě svázány v rozměru $600 \pm 0,3$ mm.

Čelní plocha obsahuje celkem 15 závitů M20, které jsou v rozteči $\varnothing 1070$ mm. V té samé rozteči pod úhlem $11,25^\circ$ je umístěna i trubkový závit G3/8“ pro přívod maziva do ložiska.



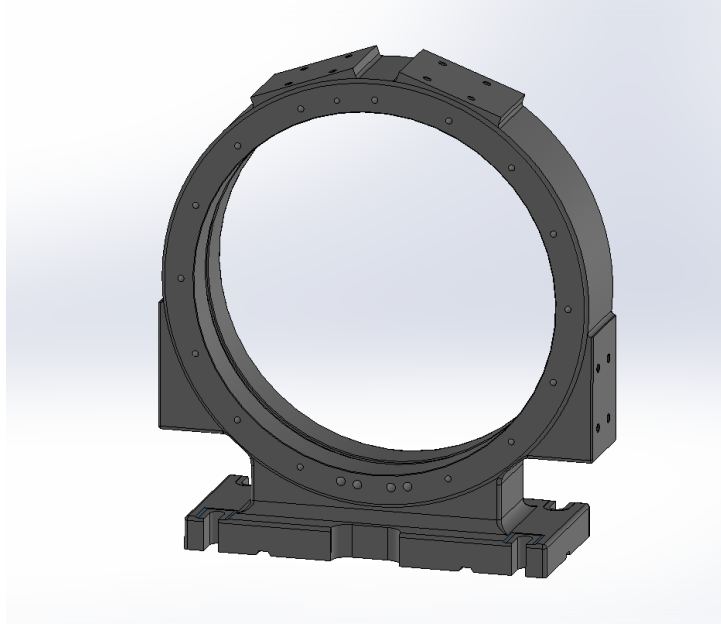
Obr. 24. Část výkresové dokumentace v řezu C-C

V řezu C-C jsou v rozteči R532,5 mm pod úhly 5° rozmístěny 4 průchozí otvory $\varnothing 24$ mm. V detailu X se nachází vybrání, ve kterém je umístěn závit M8 (obr. 26).



Obr. 25. Spodní podstava vč. detailu drážky

Z dolního pohledu na podstavu obrobku jsou 4 vybrání pro šrouby včetně středového vybrání 190x50 mm s R45. Programátor musí tedy dbát na umístění středového vybrání dle výkresové dokumentace. Volba šířky drážky $40_{+0,1}^{+0,2}$ mm byla úměrně zvolena vzhledem k velikosti obrobku.

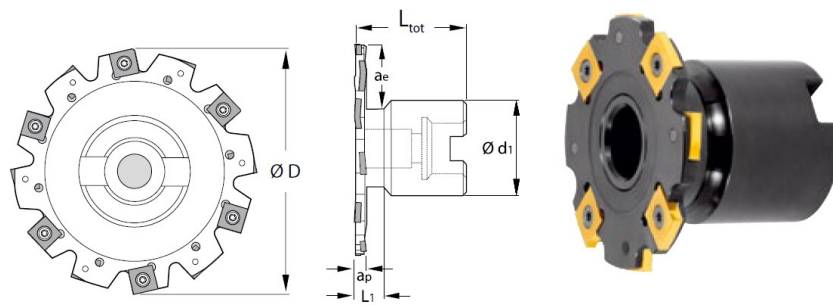


Obr. 26. Vytvořený 3D CAD model obrobku

6.2 Úprava modelu

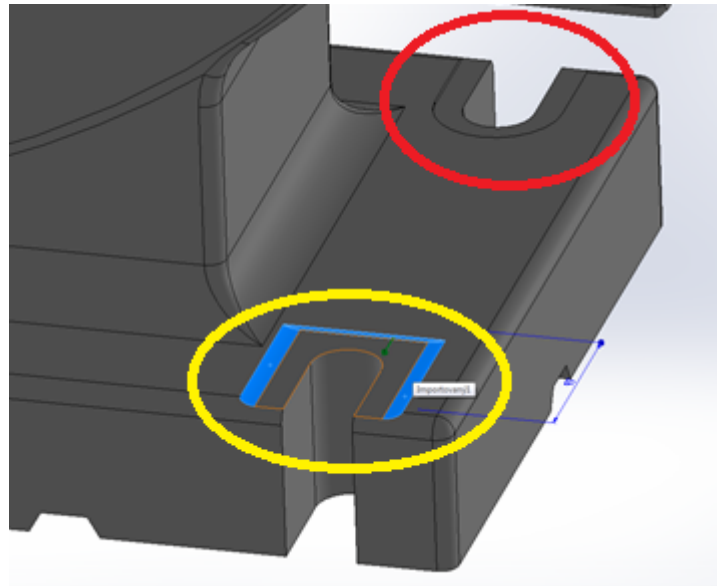
Po dokončení 2D/3D návrhu konstruktérem přichází na řadu programátor CNC strojů. Při procesu programování volí programátor vhodné nástroje. Při volbě nástrojů se snaží využít již zakoupené nástroje, z důvodu malé pravděpodobnosti využití některých zakoupených nástrojů v budoucnu. V případě dojde-li ke zjištění nevhodného konstrukčního prvku a nebude narušená jeho funkčnost, může dojít po dohodě s konstruktérem ke změně modelu pro daný prvek.

Nevhodný prvek byl zjištěn u zahloubení pro šrouby, které se nachází na podstavě výrobku (obr. 29). Vytvořená ploška pro šroub slouží k vytvoření roviny, která bude pro všechny 4 šrouby stejná. Pro původní prvek rádiusového zahloubení nastává komplikace při poptávce nástroje. V katalogu nástrojů nebyl nabízen vhodný nástroj, který by splňoval naše požadavky. Vhodná, ale finančně náročná možnost by byla zakázková výroba na kotoučovou frézu požadovaných rozměrů (obr. 28).



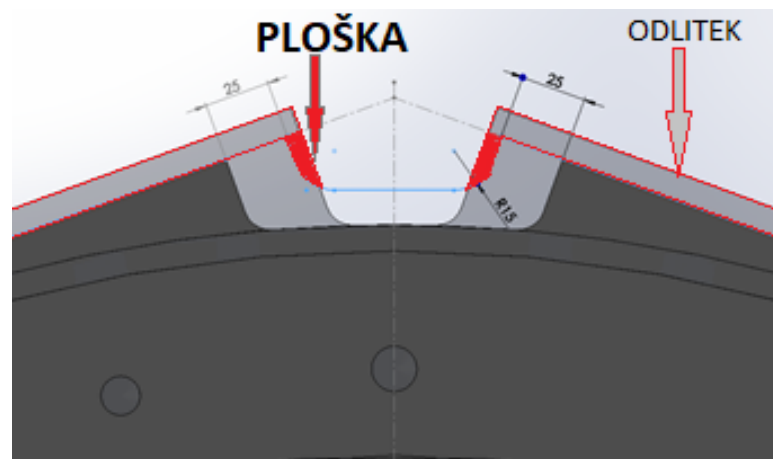
Obr. 27. Vhodná kotoučová fréza

Na obrázku 29 bylo upraveno původní rádiusové zahloubení (červeně) na vhodnější čtvercový tvar (žlutě). I po změně geometrie je funkčnost prvku stále zachována.



Obr. 28. Změna zahloubení pro šroub

Další změna byla provedena na obrázku č. 30. Můžeme si všimnout názorné ukázky využití zvoleného odlitku jako polotovaru v CAD systému. Dle grafiky rozpoznáme, že daný odlitek nám přesahuje model obrobku až o 30 mm. Podle našeho uvážení a konzultaci s konstruktérem není nutnost obrábět nekótovaný rozměr, a proto obrobíme pouze plošku R15 ve vzdálenosti 25 mm od hrany plochy 3D modelu. Ploška bude sloužit převážně v upnutí č. 2 jako plocha, od které změříme nulový bod pomocí sondy.

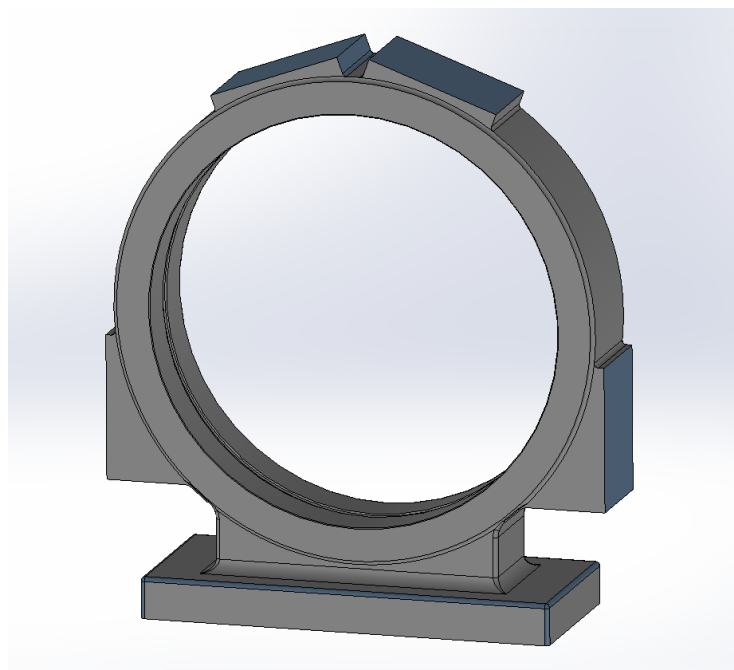


Obr. 29. Změna kontury horní plochy pro závit

6.3 Tvorba 3D modelu odlitku

Pro grafickou přehlednost programování a simulaci procesu obrábění si můžeme zvolit odlitek jako polotovár. Výhoda je především v grafickém zobrazení odlitku, u kterého je názorně vidět v závěrečné simulaci postupné obrábění materiálu.

K tomu, abychom si mohli zvolit odlitek jako polotovár, musíme nejprve odlitek namodelovat. Odlitek vychází z původního modelu, který je rozšířen o přídavky. Přídavky jsou naměřeny na dostupném odlitku, který je určen k obrábění.



Obr. 30. Vymodelovaný model odlitku

7 PROGRAMOVÁNÍ V CAM SYSTÉMU

Pro programování CNC stroje byl zvolen software SolidWorks, který obsahuje zakoupený systém CAM. Tento CAM modul je určen pro 3D programování, grafickou verifikaci a vygenerování NC kódu. Použití CAM softwaru je pro nás možnost, jak dosáhnout efektivního naprogramování součásti s možností provedení následné verifikace.

Pro programátora je důležité znát princip obrábění na horizontálním frézovacím stroji Doosan HM 1250. Mějme na paměti, že programování probíhá ve třech lineárních osách X, Y, Z. Pomocí otočného stolu, jehož úhel se značí písmenkem B, dochází k otočení obrobku o zadaný úhel otáčení. Při programování musí programátor pečlivě zvolit vhodné upnutí obrobku, správnou volbu nástrojů a vhodnou volbu strategie drah nástrojů vč. obráběcích podmínek. Cílem programátora je naprogramovat postup obrábění tak, aby nedošlo ke kolizím nástroje s výrobkem, nebo přípravkem a dosáhli jsme přijatelného strojního času, nejlépe za použití již zakoupených nástrojů.

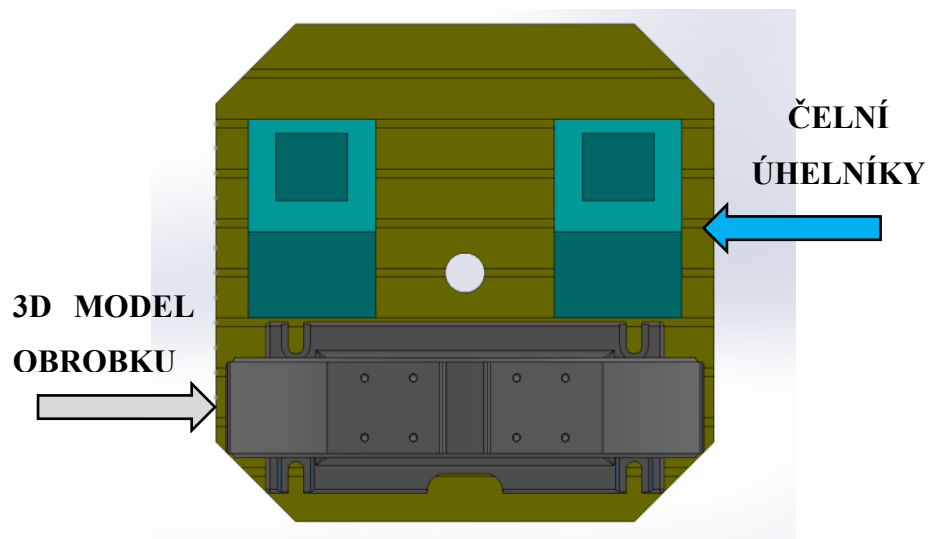
Jako polotovár nám poslouží odlitek z tvárné litiny EN 1563. Plochy, na kterých jsou umístěny závity M20 v rozteči Ø1070 jsou již předem obrobena pomocí soustružnického karuselu. Soustružnické obrobění čelní plochy nám zajistí kolmost odlitku vůči vřetenu stroje.

7.1 Příprava a upnutí odlitku

Kvůli třem osám je nutno volit dvě různé polohy (vertikální a horizontální) upnutí obrobku na paletě stroje. V závislosti na složitosti použitých přípravků a způsobu složitosti upnutí, se zvyšuje čas určený pro výrobu. Programátor tedy musí vhodně zvolit nejjednodušší postup.

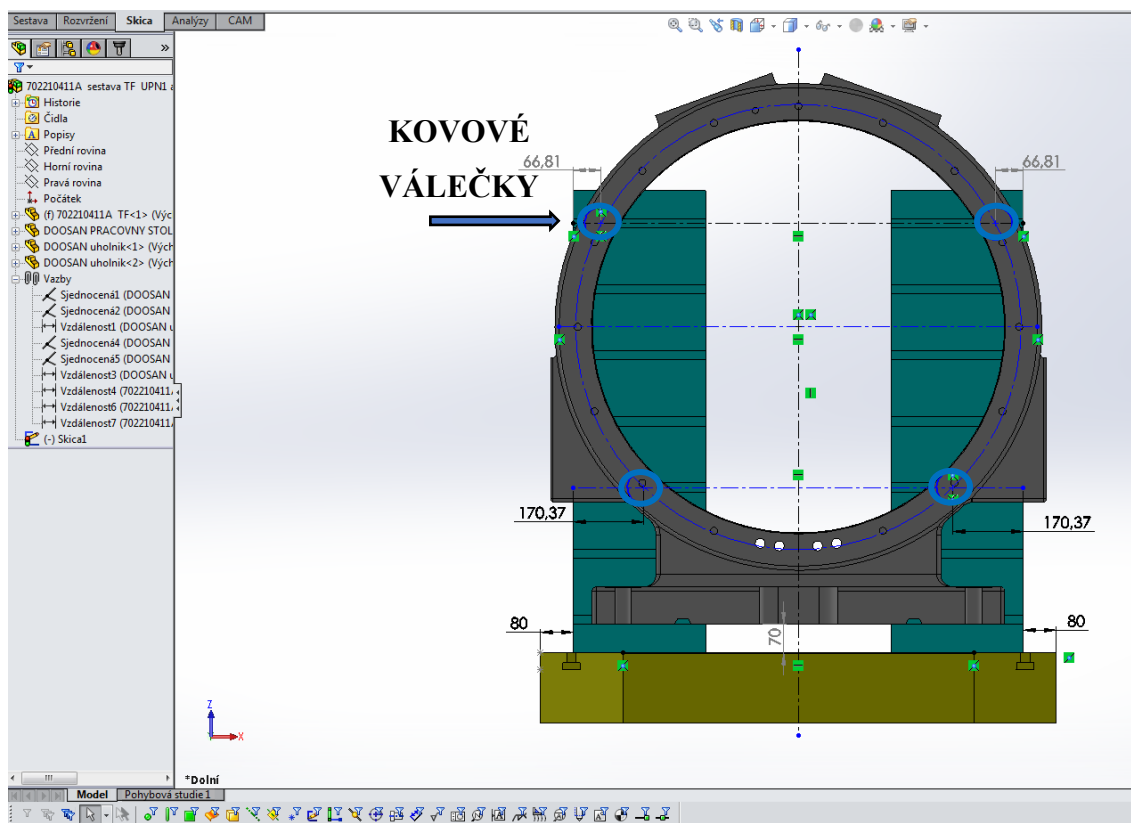
Jako přípravek pro upnutí použijeme čelní úhelníky (1150x600x320 mm). Dle obrázku 32 a 33 upevníme čelní úhelníky na paletu stroje pomocí „T“ kamenů a imbusových šroubů. Upínání probíhá pomocí „T“ drážek, které jsou vodorovně umístěny na paletě stroje tak i na čelních úhelnících.

Umístění čelních úhelníků na čtvrtou drážku od vřetena stroje je z důvodu zachování délky nástrojů a bezpečnosti obrábění. Zásada pro upínání odlitku je nepřesahovat okraje palety stroje. Po přesáhnutí rozměrů palety může dojít ke kolizím nástroje s odlitkem. Snažíme se volit upnutí i tak, abychom byli v blízkosti vřetena a nemuseli jsme prodlužovat držáky nástrojů.



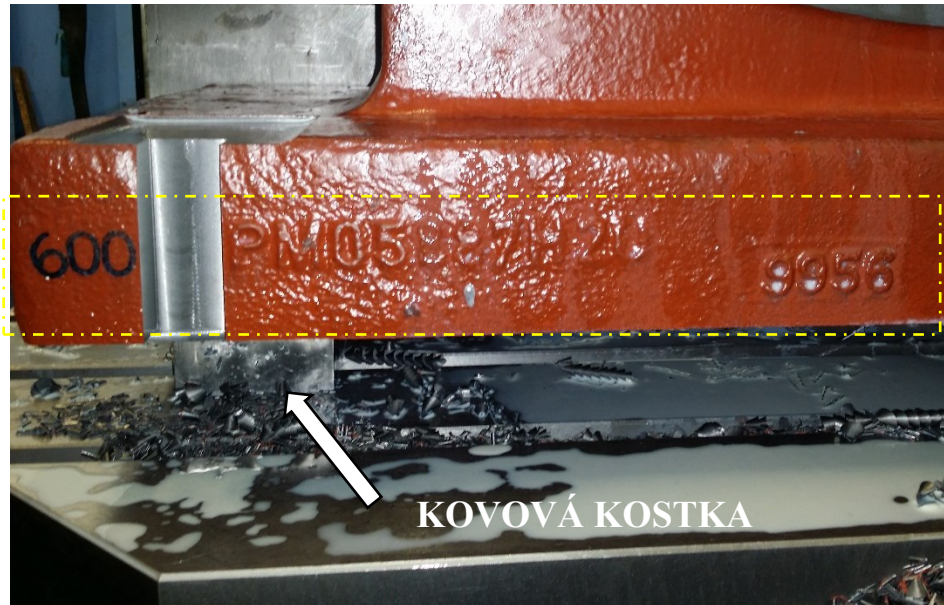
Obr. 31. Vrchní pohled na 3D model pro upnutí č. 1

Na předem připravené čelní úhelníky dle obrázku 33 umístíme kovové válečky, které slouží k dosažení kolmosti obrobku vůči vřetenu stroje. Další důvod je dodržení podmíněné vzdálenosti od úhelníků, kvůli šířce spodní podstavy. Dle výkresové dokumentace volíme válcové podložky více jak 100 mm vysoké. Před samotným upnutím odlitku musí být všechny čtyři rozmístěné válečky pomocí frézování vyrovnány na stejnou výšku.



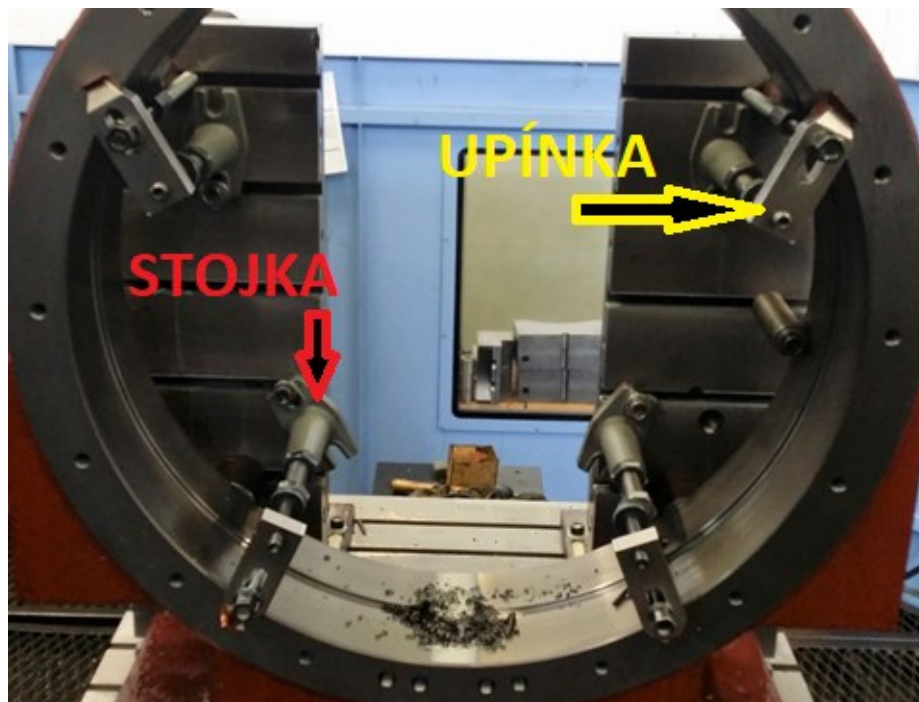
Obr. 32. Rozmístění odlitku na paletě pro upnutí č. 1

Při upnutí obrobku musí obsluha stroje respektovat požadavek zákazníka. Požadavek zákazníka je vyrobit prostřední vybrání (190x50 mm s R45 obr. 26.) na stejné straně, jako je označení odlitku (obr. 34).



Obr. 33. Označení odlitku na přední straně odlitku

Minimální vzdálenost spodní podstavy od palety stroje musí být více jak 70 mm. Dle obrázku 33, 34 vložíme pod spodní podstavu odlitku dvě kovové kostky. Rozdíl výšky plochy spodní podstavy od palety stroje nám zaručí obrobení spodní podstavy válcovou frézou $\text{Ø}20$.



Obr. 34. Názorné upnutí odlitku pomocí upínek

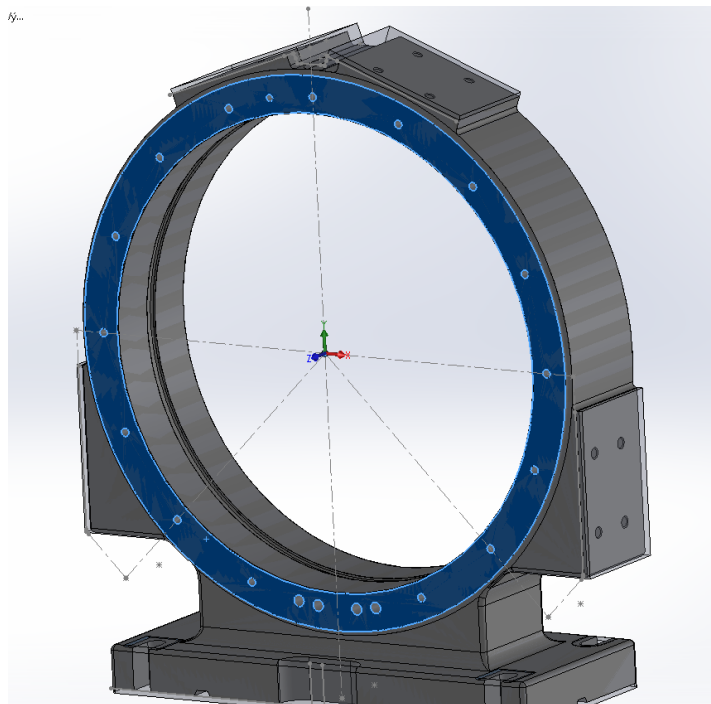
Při dodržení všech pokynů může obsluha přitáhnout odlitek k čelním úhelníkům pomocí upínek, stojek a závitové tyče (obr. 35). Doporučení je vložit pod plochu upínek měděné plíšky, které nám zabrání zdeformování čelní obrobené plochy.

7.2 Nulové body pro upnutí č. 1

Nulový bod pro obrábění nám slouží jako pevný bod, od kterého se počítají vzdálenosti souřadnic. Nulový bod si volí sám programátor a v našem případě volíme více nulových bodů. Nulové body volíme v místě, které nám zaručuje nejvýhodnější přepočítání souřadnic a pokud možno nej přesnější odměření hodnot nulových bodů. Pro zapisování nulových bodů máme celkem šest možností: G54, G55, G56, G57, G58, G59. Nulové body jsou měřeny sondou Renishaw OMP-60 na předem zvoleném místě dle doporučení programátora. Obsluha stroje musí přizpůsobit příkaz měření dle geometrie měřeného místa.

Při upnutí odlitku ve vertikální – svislé poloze jsme si určili celkem 3 nulové body.

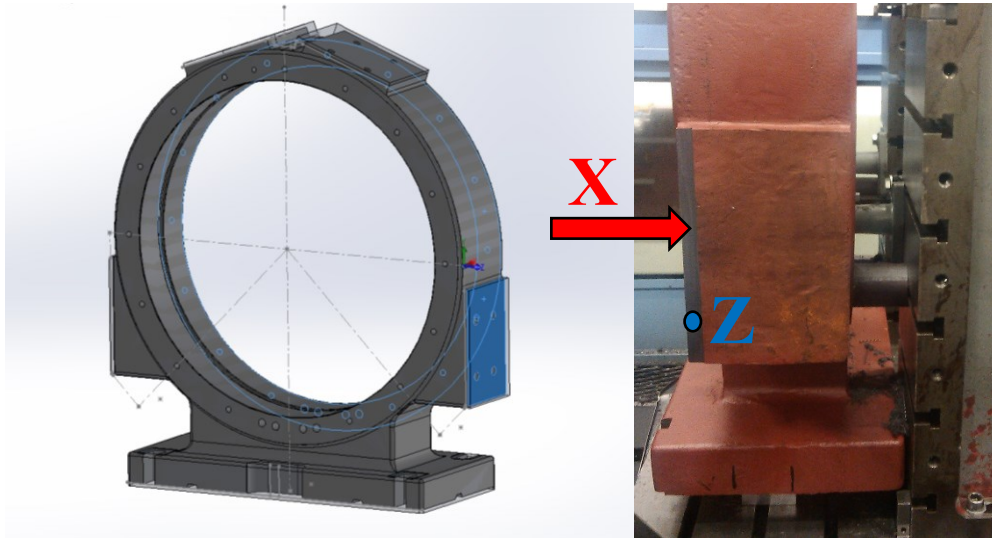
Na obrázku č. 36 je umístěn první nulový bod G54. Umístění nulového bodu je zvoleno v úhlu $B0^\circ$, souřadnice X a Y se nachází ve středu otvoru $\varnothing 1000$ mm a souřadnice Z na čele již soustružené plochy, která je na obrázku zvýrazněna modře.



Obr. 35. První nulový bod G54

Nulové body pro obrábění bočních ploch jsou zvoleny v G55 – $B90^\circ$ (obr. 37) a G56 – $B270^\circ$. Oba dva nulové body jsou určeny pomocí stejného postupu. Souřadnice Y zůstává

stejná jako v nulovém bodě G54, souřadnice X a Z se určí pomocí obrobené plošky (obr. 37).



Obr. 36. Znárodnění nulového bodu G55 v $B90^\circ$

7.3 Obrábění pro upnutí č. 1

Obsluha stroje je předem seznámena s postupem, zásadami, které musí dodržet pro minimalizování problémů spojených s obráběním. Musí být splněna podmínka správné korekce nástrojů a v případě potřeby je nutno korekci upravit. Při nedostatečné délce nástroje musí být provedeno prodloužení nástroje. Obsluha stroje musí dbát na správnost výrobního programu a kontrolovat obrábění, aby nedošlo ke zmetkovitosti výrobku. Seznam nástrojů pro obrábění v prvním upnutí nalezneme v příloze P I.

7.3.1 Frézování pomocných plošek

Nejprve provedeme obrobení pomocných plošek, které nám později poslouží k určení nulových bodů v upnutí č. 1 a č. 2. Pracujeme v nulovém bodu G54 v $B0^\circ$. Pro frézování plošek jsme zvolili nejprve hrubovací a následně dokončovací válcovou frézu $\varnothing 20$ (obr. 38).

Volba podmínek obrábění probíhá dle údajů v katalogu nástrojů pro určitý nástroj v závislosti na materiálu. Volba podmínek může být uskutečněna taky dle programátorových dlouhodobých zkušeností s nástrojem. V případě zjištění nevhodných obráběcích podmínek musí obsluha tyto obráběcí podmínky korigovat pomocí ovládacího panelu.

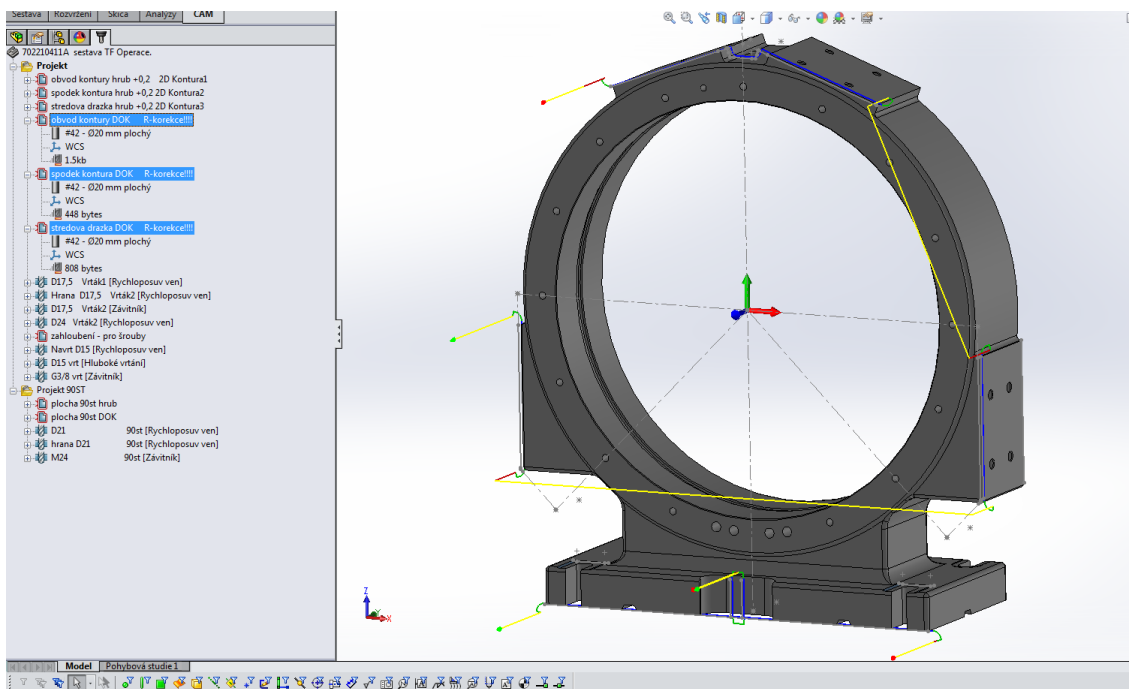
Tab. 8. Řezné podmínky pro válcovou frézu T41 a T42

ČÍSLO NÁSTROJE	OTÁČKY [ot./min]	POSUV [mm/min]	POMOC. FUNKCE
T41 - hrubovací	S2500 (ot./min)	F400 (mm/min)	M08
T42 - dokončovací	S1900 (ot./min)	F400 (mm/min)	M08



Obr. 37. Válcová hrubovací (nahore) a dokončovací fréza (dole) [27]

Na obrázku č. 39 jsou zobrazeny dráhy nástroje, které jsou společné pro hrubovací i dokončovací operaci. Dráha nástroje zobrazená modrou barvou značí pracovní posuv nástroje. Dráha nástroje značena žlutě znamená rychloposuv nástroje.



Obr. 38. Dráhy nástroje – obrábění válcovou frézou Ø20

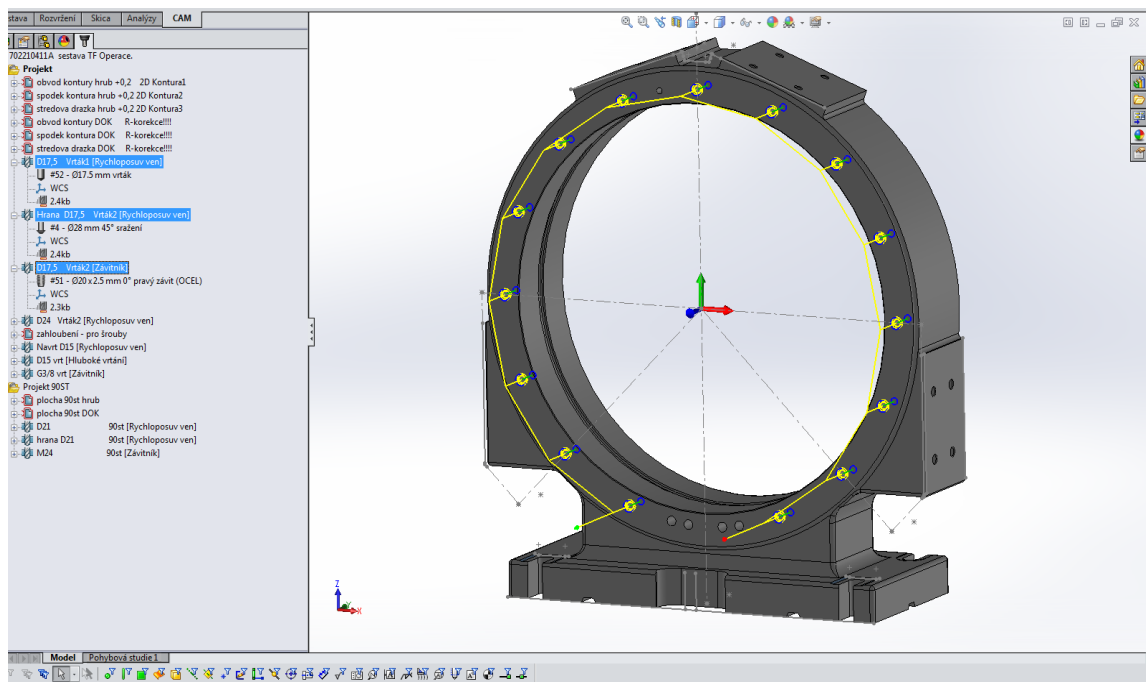
Začínáme obrobením pomocné prostřední drážky spodní podstavy nástrojem T41. Pokračujeme výrobou plošky na spodní podstavě o hloubce 30 mm a následně pokračujeme dle drah proti hodinovým ručičkám (obr. 40). Pro hrubování volíme přídavek na rádius nástroje R0,3 mm. Dokončovací operace vybraným nástrojem T42 má stejné dráhy, jako hrubovací operace. Dokončovací operace obrábění nemá žádný přídavek, tudíž R0 mm. Dokončovací válcová fréza obrábí pouze do hloubky 29 mm kvůli menšímu opotřebení čela frézy.

7.3.2 Vrtání děr pro závity M20 na čelní ploše obrobku

Pro obrobení čelní plochy zůstává bod G54. Na čele odlitku budeme vrtat otvory pro závity v rozteči $\varnothing 1070$ mm (obr. 40).

Tab. 9. Tabulka použitých závitů

ZÁVIT	P STOUPÁNÍ [mm]	Ø VRTÁK [mm]
M8	1,25	6,8
M20	2,5	17,5
M24	3	21,0
G3/8"	1,337	15,2



Obr. 39. Vrtání otvorů $\varnothing 17,5$ a řezání závitů M20

Pro řezání závitů M20 musíme dle tabulky č. 9 zvolit otvor pro závit Ø17,5 mm.



Obr. 40. Plátkový vrták Ø17,5 mm

Tab. 10. Řezné podmínky pro T52 a T4

ČÍSLO NÁSTROJE	OTÁČKY [ot/min]	POSUV [mm/min]	POMOC. FUNKCE
T52 – vrt. Ø17,5	S2500	F180	M07
T4 – srážec 45°	S700	F40	M08

Pro vyvrtání otvorů Ø17,5 jsme zvolili plátkový vrták téhož průměru (obr. 41). Následně srazíme hrany srážecem 45° do hloubky 1,5 mm dle výkresové dokumentace před vyřezání samotného závitu. Při opačném postupu může dojít k poškození závitu.

Pro vyřezání závitu zvolíme strojní závitník M20 (H6) pravý. Závit bude řezán do hloubky 50 mm, kde musíme počítat s náběhem závitníku a tím prodloužit dráhu v ose Z.

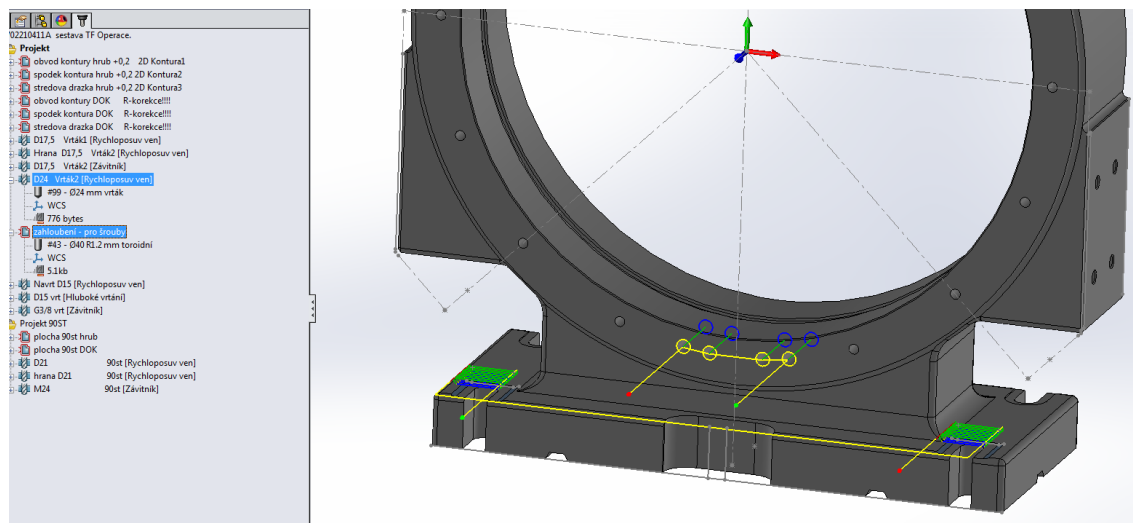
```
N3350 G00 Z99.
N3360 M29 S150
N3370 G84 X204.736 Y-494.276 Z-58. R5. P0 F375.
```

V rozteči v Ø1070 mm pod úhlem 11,25° vůči středu se nachází trubkový závit G3/8“. Dle tabulky č. 9 pro závit G3/8“ zvolíme vrták Ø15 mm do hloubky 140 mm. Srazíme hranu pro závit do hloubky 1 mm. Závit G3/8“ řežeme do hloubky 25 mm a počítáme s náběhem závitníku. U řezání závitu jsme volili posuv na otáčku F1,337 [mm/ot.]. Příkaz G95 aktivuje řezání závitu posuvem za otáčku F_o.

```
N4990 G95
N5000 M29 S140
N5010 G84 X-104.373 Y524.72 Z-28 R5 P0 F1.337
```

Při řezání závitu můžeme použít klasický posuv F[mm/min], nebo posuv na otáčku F_o[mm/ot.]. Můžeme převádět dle následujícího postupu. Závit M20 má stoupání P2,5 [mm], posuv F375 [mm/min] a otáčky S150 [ot/min].

$$F_o = F/S \quad F_o = 375/150 = 2,5 \text{ [mm/ot]}$$



Obr. 41. Průchozí otvory Ø24 + zahloubení pro šrouby

V rozteči R532,5 se nachází čtyři průchozí díry Ø24 odstupňované po 5° (obr. 42). Dle ne příliš náročného materiálu na obrobení (tvárná litina) můžeme zvolit rovnou vrtání děr Ø24 mm do hloubky 132 mm (jen do poloviny obrobku).

Tab. 11. Řezné podmínky pro G3/8", Ø24 a zahloubení

ČÍSLO NÁSTROJE	OTÁČKY [ot/min]	POSUV [mm/min]	POMOC. FUNKCE
T2 – navrtávák	S1100	F110	M08
T78 – vrták Ø15	S570	F57	M08
T83 – vrták Ø24	S390	F51	M08
T4 – sraž. hrany 45°	S700	F0,1	M08
T59 – závit. G3/8"	S140	F1,337	M07

7.3.3 Boční plochy + závity M24

Po dokončení čelní strany v nulovém bodě G54 se přesouváme na boční plochy v úhlu B90° a B270°. Odchytneme nulové body pomocí již obrobenejších plošek (obr. 37) a zapíšeme do G55 a G56.

Pro hrubovací operaci bočních ploch volíme nástrčnou rovinnou hrubovací frézou Ø80 s VBD. Plochy obrábíme úběrem materiálu 3 mm a necháme přídatkem Z+0,3 mm k dok. plochy. Plochu dokončíme na Z0 s nástrčnou dokončovací rovinnou frézou Ø125 s VBD.

Dle tabulky vyvrtáme pro závit M24 (H6) otvory pomocí plátkového vrtáku Ø21 mm do hloubky 52 mm. Pomocí 45° srážeče srazíme hrany do hloubky 4 mm. Před samotným řezáním závitů závitníkem M24 je obsluze stroje doporučeno vyčistit otvory pro závity stlačeným vzduchem, kvůli bezproblémovému řezání závitů.

Spodní hranu plošky srazíme na 45° pomocí srážecí plátkové frézy (obr. 43). Vytvořená sražená hrana plochy nám bude sloužit jako ploška pro určení nulového bodu v horizontálním upnutí č. 2.



Obr. 42. Fréza pro srážení hran

Obráběcí podmínky, postup a volba nástrojů je shodná pro obě dvě plochy v B90° a B270° jen jsou zvolené rozdílné nulové body.

Tab. 12. Obráběcí podmínky pro B90° a B270°

ČÍSLO NÁSTROJE	OTÁČKY [ot/min]	POSUV [mm/min]	POMOC. FUNKCE
T6 - fréza Ø80	S770	F3000 - 6000	M08
T76 - fréza Ø125	S500	F500	M08
T61 – vrták Ø21	S2300	F120	M07
T4 – srážeč	S700	F33	M08
T62 – závitník M24	S130	F390	M07
T88 –sraž. hrany 45°	S3000	F500	M08

7.3.4 Zahloubení pro šrouby

Poslední operace pro první upnutí je obrábění upravených plošek (zahloubení) pro šrouby. Jelikož se jedná o odlitek, neznáme přesnou výšku materiálu. Požadavek je, aby všechny 4 zahloubení pro šrouby byly ve stejné výšce.

Použijeme funkci G52 Y0, ve kterém můžeme měnit nulový bod souřadnici Y pouze pro daný úsek obrábění plošek. Funkci G52 použijeme v případě, pokud plošky nejsou obrobeny

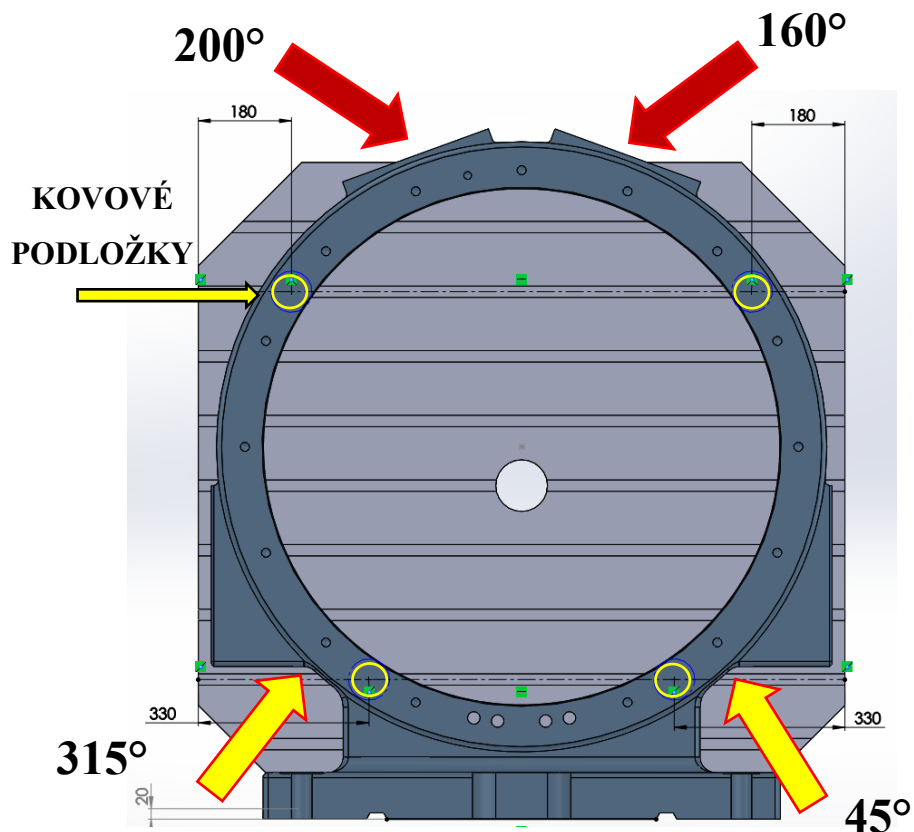
po celé své vymezené ploše. Pokud nastane daný případ, obsluha upraví příkaz např. G52 Y-1 a tím se posune nulový bod v souřadnici Y o 1 mm.

Tab. 13. Obráběcí podmínky pro T43

ČÍSLO NÁSTROJE	OTÁČKY [ot/min]	POSUV [mm/min]	POMOC. FUNKCE
T43 – Fréza	S1400	F300-1000	M08

7.4 Upnutí č. 2

V upnutí č.2 umístíme obrobek do horizontální pozice. Odlitek bude položený karuselem obrobenu plochou bez M20 na podložky.

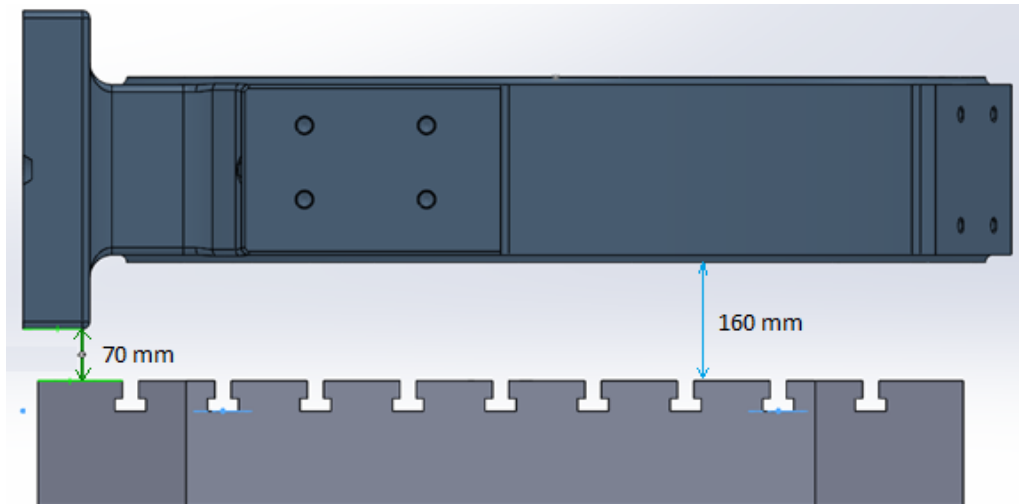


Obr. 43. Upnutí č. 2 vč. nulových bodů

Podložky jsou umístěny od vřetena na druhou drážku 330 mm od kraje a osmou drážku vzdálené od kraje palety 180 mm (obr. 44). Pro výpočet znovu využíváme 3D CAD systém, kde odměříme vzdálenosti za pomoci sestavy modelu palety a obrobku.

Podložky pod odlitek jsou kvůli své výšce kombinací dvou kovových kostek a válečku. Tyto 3 elementy jsou spojeny imbusový šroubem a umístěny na svá místa (obr. 44). Podložky pod

odlitek musí být alespoň 160 mm vysoké (obr. 45). Výška podložek nám zajistí minimální vzdálenost okraje podstavy od palety stroje 70 mm a obrobení spodní podstavy. Vřeteno a paleta stroje má nastavené koncové body, které vymezují možnost pohybu.

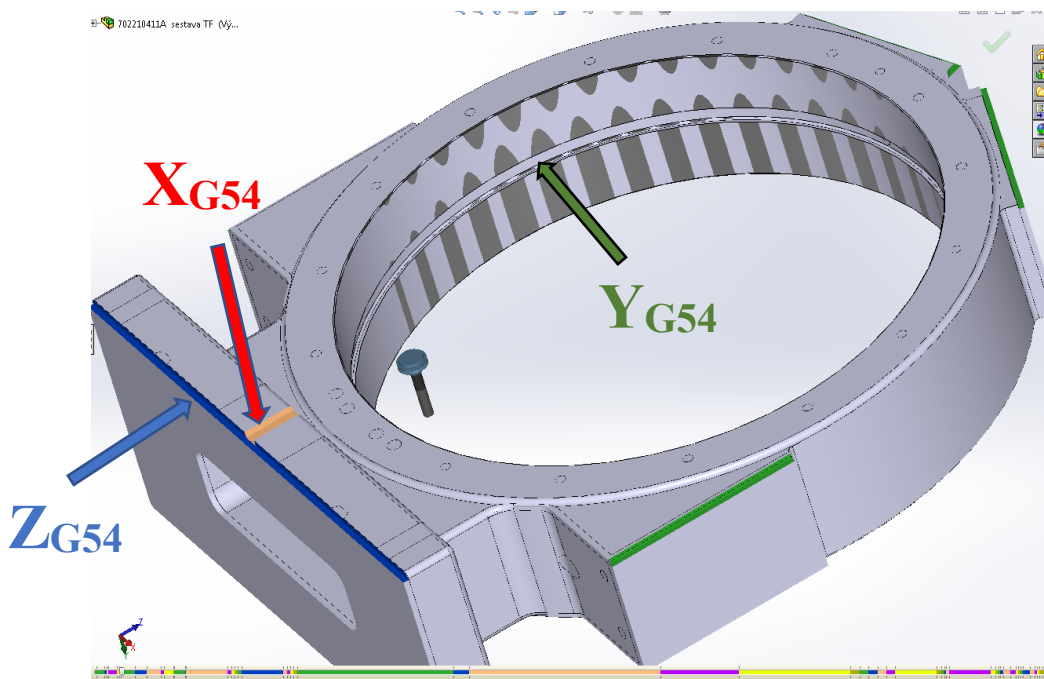


Obr. 44. Výškové podmínky podložek

Obrobek je obsluhou stroje vyrovnán do roviny, dle již dříve obrobenejší plošky v $B0^\circ$. Ploška je vyrovnána v přesnosti 0,02 mm a přesnost umístění obrobku je zajištěna.

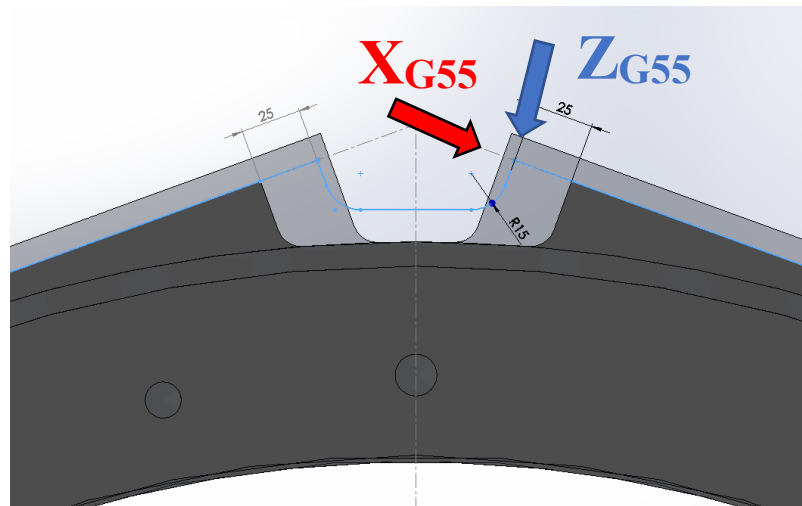
Použité nástroje pro obrábění obrobku v upnutí č. 2 najdeme v příloze P II.

7.4.1 Nulové body pro druhé upnutí



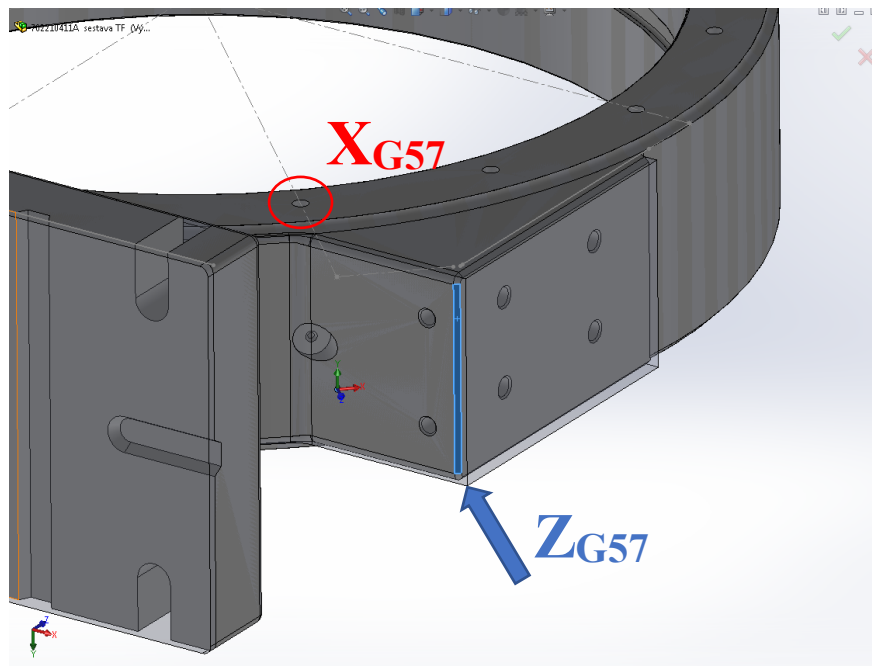
Obr. 45. Nulový bod G54 v upnutí č.2

Obrábění obrobku při upnutí č. 2 budeme volit celkem 5 nulových bodů G54 – G58. První nulový bod je umístěn uprostřed spodní podstavy v $B0^\circ$. Pomocí již dříve obrobene středové drážky odměříme nulový bod v X. Nulový bod v ose Y bude stejný pro všechny nulové body v upnutí č. 2. a je umístěn vždy uprostřed obrobku (odměření pomocí dvou karuselem obrobeneých ploch). Nulový bod v ose Z je změřen na povrchu obrobene plošky (obr. 46).



Obr. 46. Nulový bod G55 v $B160^\circ$

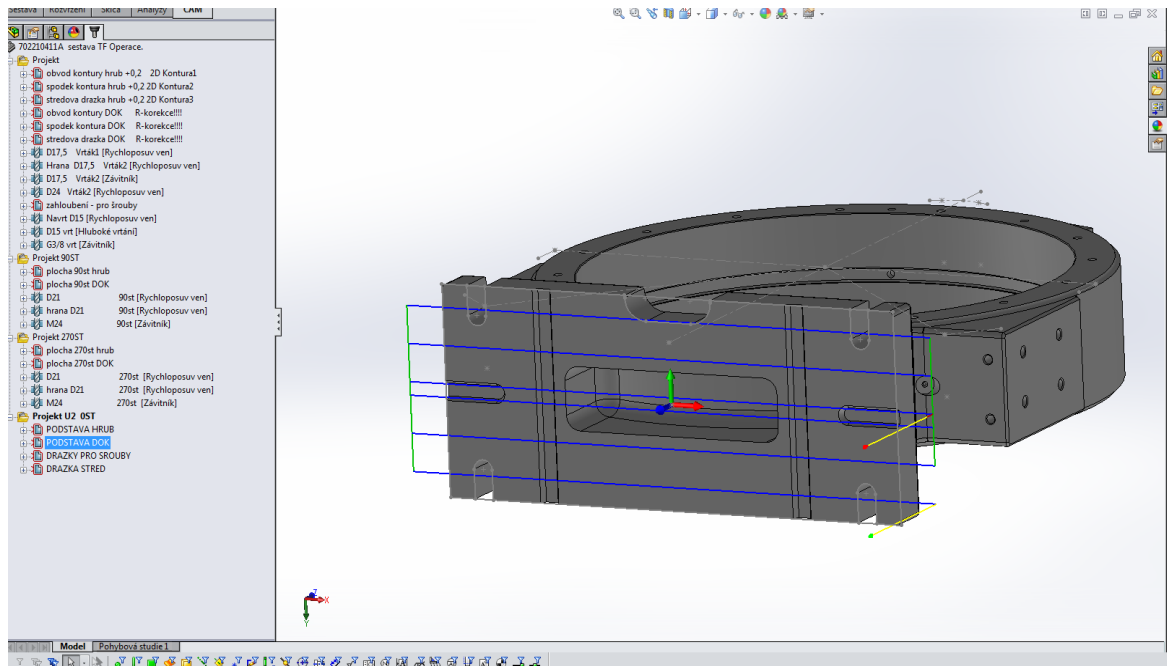
V úhlech natočení stolu $B160^\circ$ a $B200^\circ$ využijeme plochy pro závity M24 a pomocné rádiusové plošky v ose X (obr. 47). Nulové body se měří stejně, jen v rozdílném úhlu otočení.



Obr. 47. Nulový bod G57 v $B45^\circ$

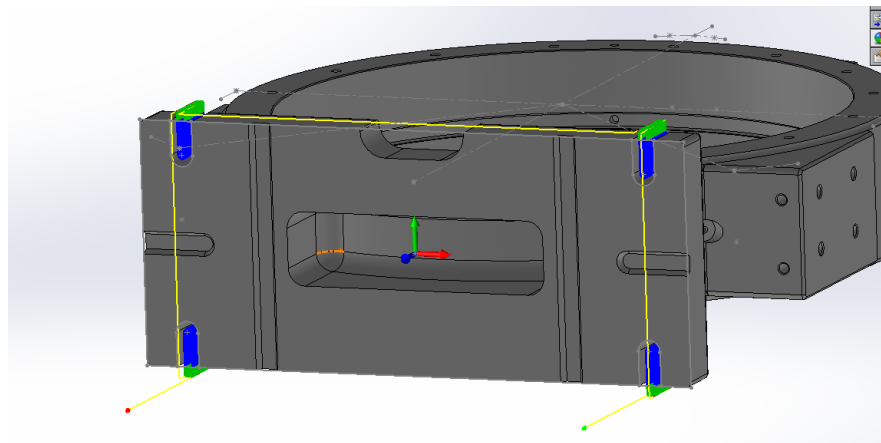
Pro natočení stolu B45°(G57) a B315°(G58) volíme stejný postup odměření nulového bodu. V ose X změříme pomocí hlavičky válcového šroubu (obr. 48). Válcový šroub umístíme do vhodné závitů M20. Nulový bod v ose Z změříme dle sražené plošky 45° (modře).

7.4.2 Obrábění spodní podstavy



Obr. 48. Hrubovací a dokončovací operace spodní podstavy v B0°

Zvolíme nulový bod G54 v bodě B0°. Nástroj použijeme rovinnou hrubovací frézou Ø80 s VBD. Velikost úběru třísky je 1 mm. Hrubovací operace je dokončena s přídatkem +Z0,3. Dokončujeme s nástrojem T76 na požadovaný rozměr bez přídatku. Po dokončení znovu nastavíme nulový bod v ose Z.

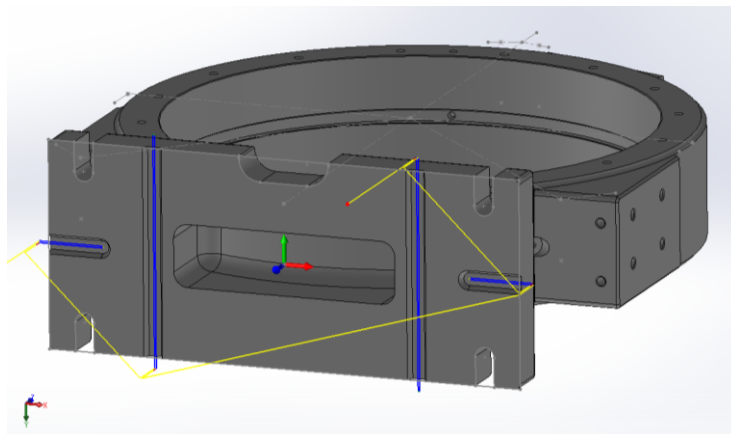


Obr. 49. Dráhy nástroje v operaci vybrání pro šrouby

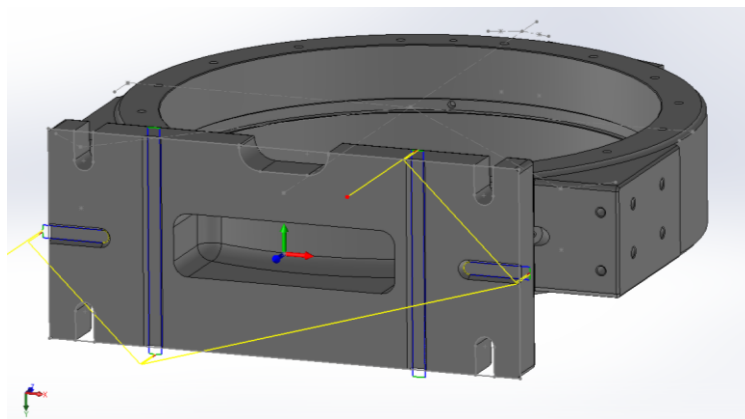
V G54 pokračujeme vybráním 190x50mm s R45 nástrojem T7 plátkovou frézou $\varnothing 63$. Následuje vybrání pro všechny 4 šrouby (obr. 50) s nástrojem T89 $\varnothing 26$.

7.4.3 Výroba drážek

Pro výrobu drážek na spodní podstavě zvolíme frézu $\varnothing 26$ hrubovat drážky do hloubky 11,85 mm. Dno vyhrubovaných drážek dokončujeme pomocí kulové frézy 60° (obr. 51) na rozměr 12 mm. Obsluha se snaží dodržet hloubku 12,00 mm kvůli úpravě následné korekce nástroje.



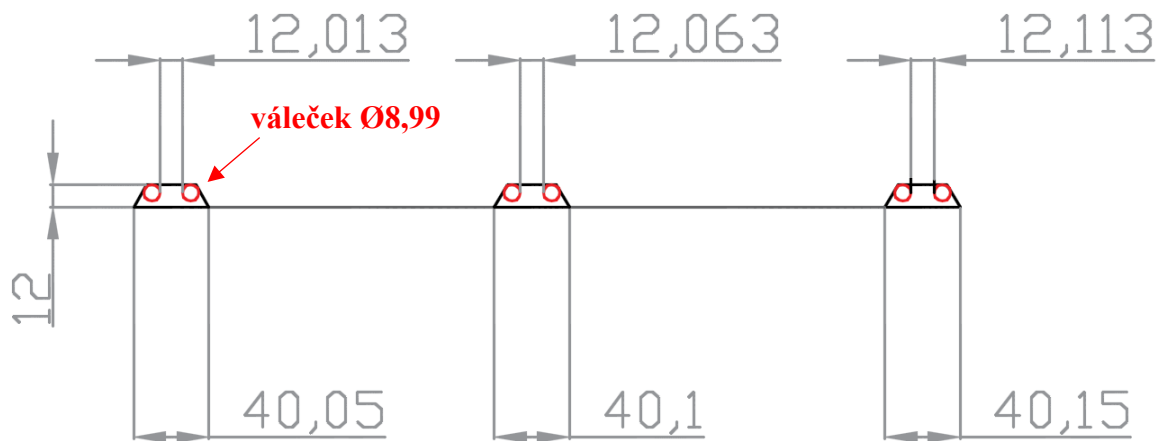
Obr. 50. Dokončení hloubky drážek



Obr. 51. Dokončení šířky drážek

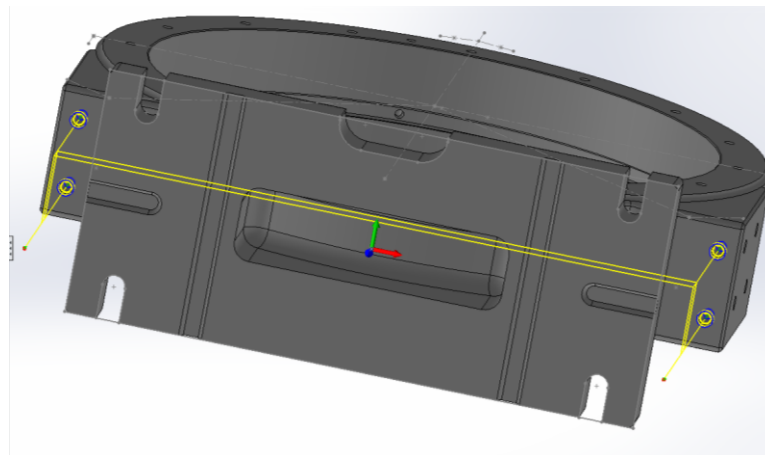
Pro dokončení šířky drážek (obr. 51) zvolíme znovu kulovou frézu 60° . Obsluha stroje musí dbát na nastavení rádiusové korekce nástroje k dokončení požadované šířky drážek. Proto obsluha stroje postupuje krok po kroku a odměřuje šířku drážek až po požadovaný rozměr.

Měření šířky drážek probíhá pomocí dvou válečků $\varnothing 8,99$ mm (obr. 52). Válečky se vloží do spodní části drážky se vzniklým R. Mezi dva válečky $\varnothing 8,99$ vložíme spojené Johansonovy měřky o šířce 12,133 mm pro dodržení střední tolerance šířky drážky.



Obr. 52. Měření šířky drážek pomocí válečků a Johansonových měrek

Po změření drážek se můžeme vrtat otvory pro závit M20 (H6). Z tabulky volíme otvor pro závit Ø17,5 mm. Vyvrtáme otvory pro závity, srážecem T4 srazíme hrany do hloubky 2 mm dle výkresové dokumentace a následně vyřežeme závity M20 (obr. 53).



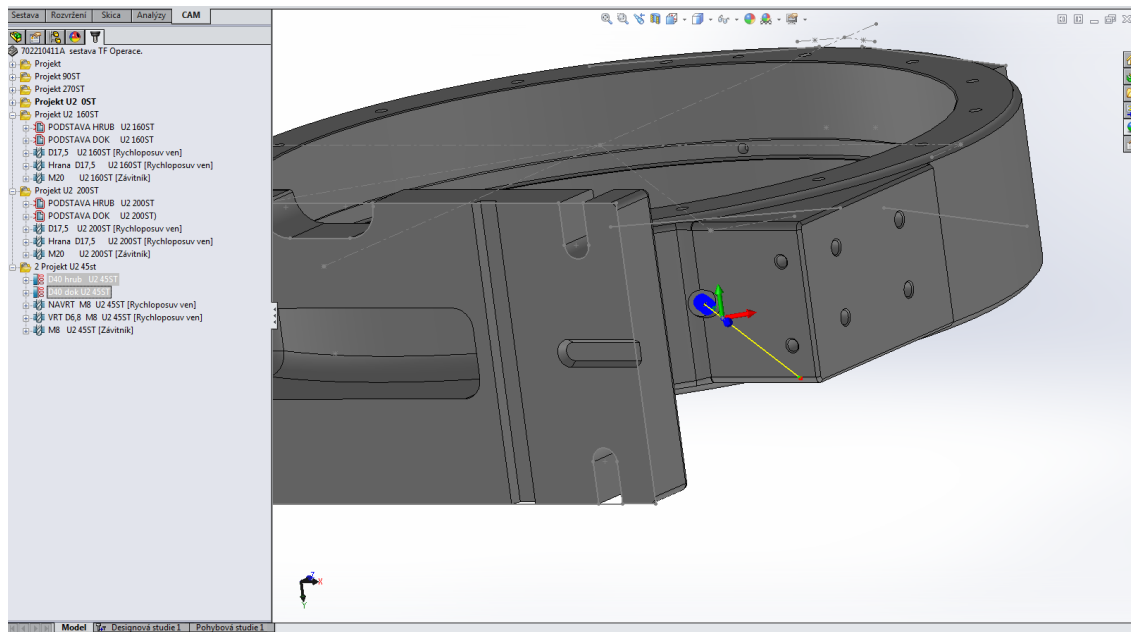
Obr. 53. Vrtání děr a řezání závitů pro M20

7.4.4 Obrábění ploch v B160° a B200°

Přesouváme se na horní plochu B200°, která má nulový bod G56. rovinnou hrubovací frézu Ø80 mm s VBD. Plochy obrábíme s přídatkem Z0,3 mm. Dokončíme rovinnou dokončovací frézou Ø125 s VBD.

Použijeme vrták Ø17,5 pro vrtání závitových děr dle roztečí (obr. 54). Srazíme hrany dle výkresu 4 mm a vyřežeme závity M20.

Totožný postup použijeme i pro plochu B160° v G55.



Obr. 56. Obrábění v $B45^\circ$ dle výkresové dokumentace „Detail X“

Celý proces je totožný s úhlem $B315^\circ$ a po změně nulového bodu bude postup totožný.

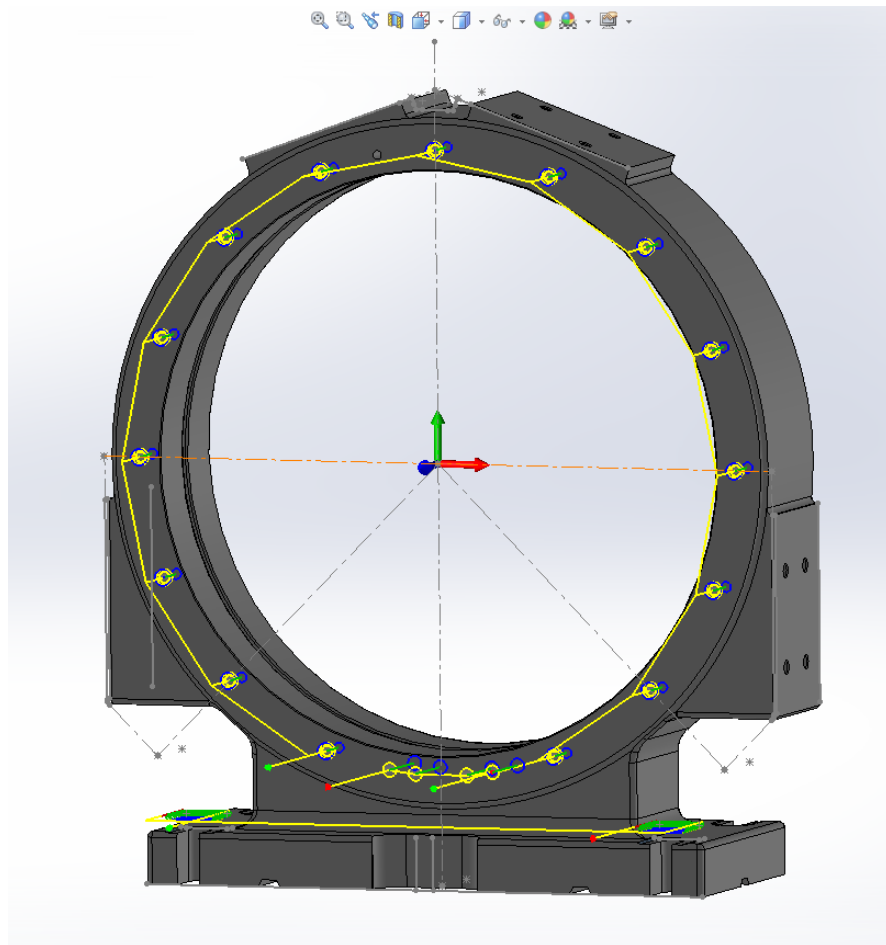
Zvolíme znovu nulový bod G54. Pomocí srážecí frézy srazíme hrany $0,7 \times 45^\circ$ na spodní podstavě.

7.5 Upnutí č. 3

Obrobek upneme vertikálně dle stejného postupu jako v případě upnutí č. 1. Při upnutí č. 3 bude spodní podstava podložena čtyřmi stejně vysokými podložkami na paletě stroje.

Budou zde použity operace z upnutí č. 1. (obr. 57). Obrábíme pouze v $B0^\circ$ G54 dle stejných zásad a zvolení nulového bodu jako při upnutí č. 1.

Seznam operací pro upnutí č. 3: vrtáme otvor pro závity $\varnothing 17,5$ mm, srazíme hrany, řežeme závity M20, navrtáme materiál pro otvory $\varnothing 24$ mm a vrtáme průchozí otvory $\varnothing 24$ mm a dokončíme vybrání pro šrouby. Znovu obsluha musí přizpůsobit nulový bod dle příkazu G52 Y0 pro vytvoření stejně hlubokých plošek pro šrouby.



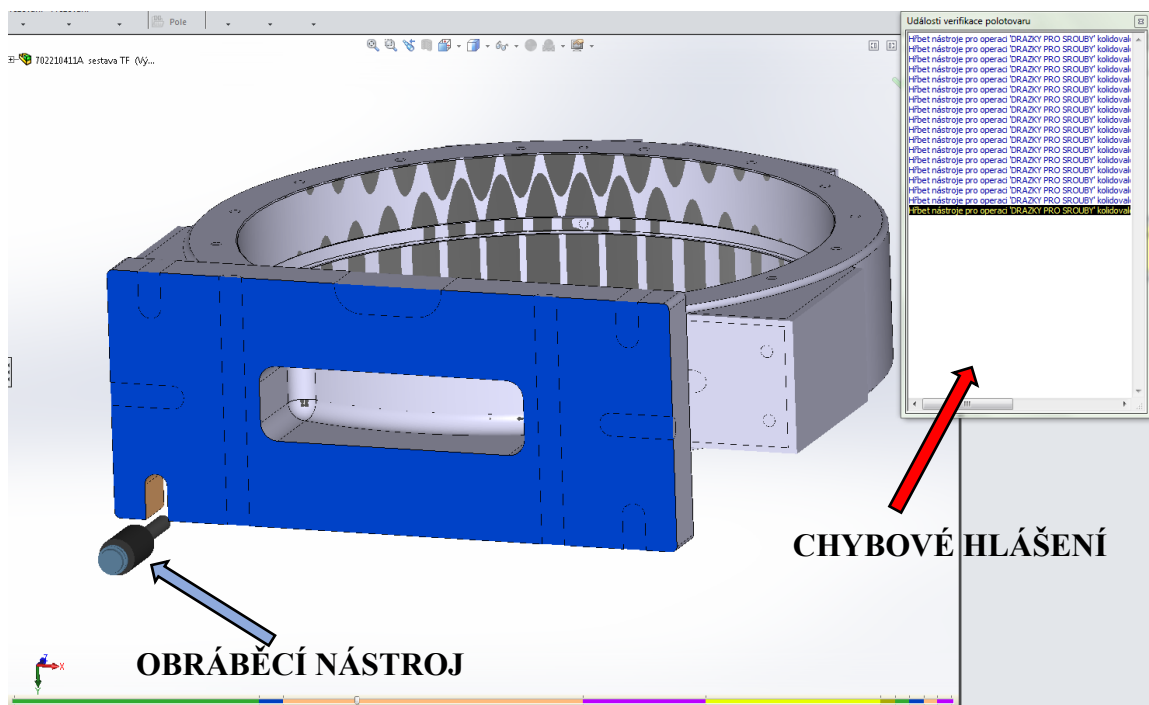
Obr. 57. Operace pro upnutí č. 3

Použité nástroje pro obrábění v upnutí č. 3 se nachází v příloze P III.

8 VERIFIKACE

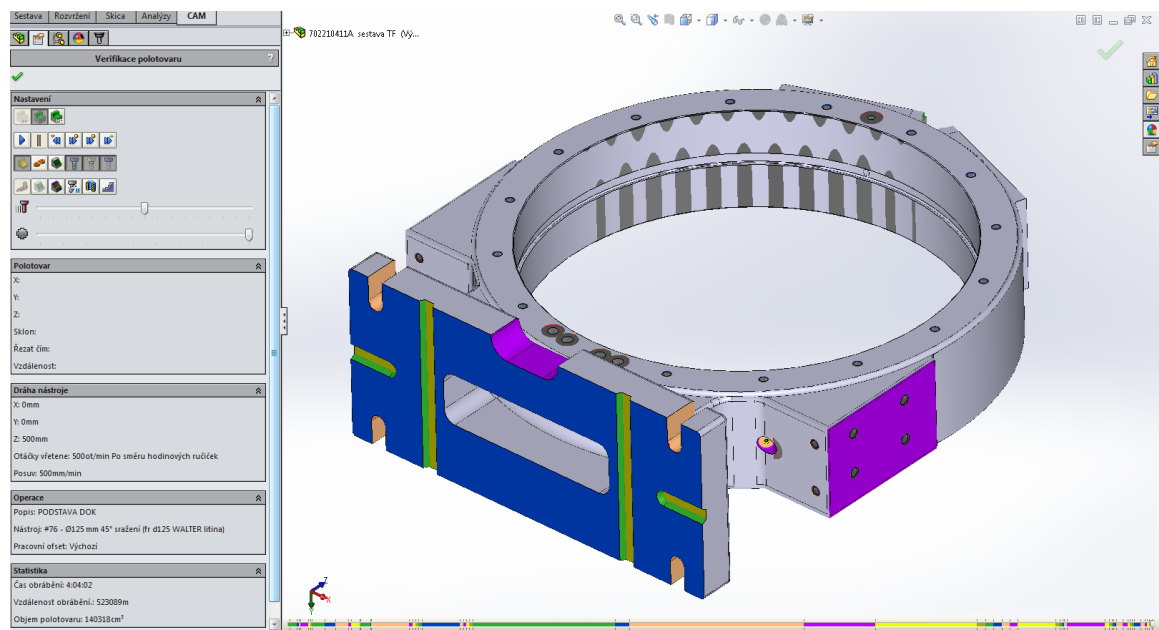
Kontrola simulací obráběcího procesu je již dávno nedílnou součástí CAM systémů. Můžeme použít širokou škálu nástrojů pro realistické odebrání materiálu a vyhodnocování dosažených rozměrů.

Ještě před vygenerování NC kódu a jeho spuštěním na CNC stroji můžeme kontrolovat celý postup obrábění. Simulace dokáže zajistit kontrolu proti kolizím všech součástí CNC stroje.



Obr. 58. Nahlášení kolize kvůli nedostatečné délce nástroje

Při verifikaci obráběcí operace bylo zaznamenáno chybové hlášení, které bylo způsobené nedostatečnou délkou nástroje. Verifikace umožňuje automatickou kontrolu na kolize samotného nástroje, dráku a držáku nástroje. Po zjištění chybového hlášení byly provedeny nezbytné změny k odstranění. Byla provedena změna délky nástroje v CAM systému a volba jiné délky fyzického nástroje na obráběcím stroji.



Obr. 59. Verifikace spodní podstavy a bočních ploch

Byla provedena úspěšná verifikace (obr. 59). Na výsledném modelu tělesa jsou jednotlivé provedené operace na tělese zvýrazněny pomocí odlišných barev. Výsledný polotovaru můžeme snadno porovnat s požadovaným tvarem dílu a nalézt místa, ve kterých ještě zbývá obrobit materiál. Následně můžeme provést úpravy jednotlivých operací k dosažení požadovaného tvaru polotovaru.

9 DOPORUČENÍ PRO VÝROBU

Z pozice programátora je doporučení pro výrobu následující. Obsluha stroje musí být opatrná a věnovat zvýšenou pozornost obrábění některých částí. Délkové korekce nástrojů musí být dodrženy a v případě nutnosti musí být upravena délková nebo rádiusová korekce nástroje.



Obr. 60. Manipulace s obrobkem

Doporučení pro bezpečnost manipulace s obrobkem při umístění do polohy upnutí č. 2. Obrobek dle 3D modelu váží téměř 920 kg. Obsluha musí být schopna stabilně zvednout obrobek a umístit ho pomocí jeřábu na paletu stroje. Na obrobek byly do určených závitů na čelní ploše umístěna závitová oka M20 (obr. 60). K zachování stability musí být použity ocelové řetězy dvou rozdílných délek.



Obr. 61. Doraz pro upnutí č. 2

Obsluha stroje může zvolit doraz (obr. 61) pro jednodušší umístění obrobku na paletu stroje dle požadovaných rozměrů. Pomocí dorazů si obsluha může usnadnit upnutí obrobku především při obrábění více obrobků.

Doporučení pro dokončování šířky rozměru drážek platí při hloubce drážek 12 mm. Průměrová korekce nástroje T85 kulová fréza 60° byla nastavena na rozměr R10,2 (DR -0,32).

ZÁVĚR

V teoretické části mé bakalářské práce byly zpracovány poznatky z odborné domáčí, ale i anglicky psané literatury na téma obsluha a programování CNC horizontálního stroje.

Pro zhotovení praktické části bakalářské práce jsem nejprve navrhl model obrobku, upravil zmíněné nevyhovující prvky modelu v CAD systému. Následně jsem naprogramoval zvolený obrobek na horizontálním CNC obráběcím stroji v CAM systému. V programování byly následně popsány důležité zásady pro zdárné dokončení obrábění. V práci byla popsána volba vhodných upnutí obrobku, volba nulových bodů, obráběcích nástrojů, obráběcích podmínek a poznatků pro výrobu. Praktická část mé práce je zakončena verifikací a doporučením pro výrobu.

Příloha P I, II, III obsahuje seznam nástrojů pro všechny tři upnutí obrobku.

Bakalářská práce obsahuje v příloze P IV přehledem názvů vygenerovaných programů a podprogramů, které byly použity v praktické výrobě. Příloha P V obsahuje fotografie z praktické výroby obrobku dle vygenerovaného G – kódu.

K bakalářské práci je přiložen CD – ROM, který obsahuje výrobní výkres obrobku a podrobně vygenerovaný G – kód pro praktickou výrobu obrobku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 122 s. ISBN 80-7300-207-8.
- [2] Mohammed, Abdullah. *Lab Sheet for CNC Laboratory*. Department of Production Engineering and Metallurgy. [online], [b.r.] [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: http://uotechnology.edu.iq/dep-production/lab_cnc_files/CNCLabsheet.pdf
- [3] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP a Jana PETRŮ. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-2941-8.
- [4] POLZER, A. *Akademie CNC obrábění*. Technický týdeník – Průmyslový portál. [online]. 2009 [cit. 2017-01-05]. Dostupný z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-1_8536.html
- [5] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [6] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. 244 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [7] VAŇÁK, Antonín. *Technologie frézování* [online]. 2007 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: http://www.sszts.cz/stary_web/stary_web/esf/TEC_fr.pdf
- [8] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. 227 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [9] Katedra obrábění a montáže, TU v Liberci. *Řezné podmínky při obrábění*. [online] 2001 [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_rp.pdf
- [10] Silent Tools. *Uživatelská příručka*. [online] 2012 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: www.sandvik.coromant.com/cz
- [11] HUMÁR, Anton. *Technologie I, Technologie Obrábění – 1. část*. [online], 2003 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [12] *Nástrojové materiály* [online], [b.r.] [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: http://utopm.fsid.cvut.cz/podklady/ON/2013_1_Nastrojove_materialy.pdf

- [13] SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. 2nd ed. New York: Industrial Press, c2003. ISBN 0831131586.
- [14] Stráňský, Petržík. *Horizontální obráběcí centra – řada FMH, typ FMH-800* [online] [b.r.] [cit. 2017-01-28]. Dostupné z: <http://www.stranskyapetrzik.cz/stroje/feeler/hmc/fmh/fmh-800/fmh-800-konstrukce>
- [15] HOOD-DANIEL, Patrick. a James F. KELLY. *Build your own CNC machine*. New York: Distributed to the book trade by Springer-Verlag New York, c2009. ISBN 9781430224907.
- [16] Katalog firmy sandvik. *Závity* [online], 2012 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/technical%20guides/cs-cz/c-2920-031.pdf>
- [17] SADÍLEK, Marek a Zuzana SADÍLKOVÁ. *Počítačová podpora procesu obrábění: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2770-4.
- [18] Walsh, Eamonn. *CNC machining benefits from PLC operation linked to PC control, networking* [online]. 2014 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.brainboxes.com/article/items/cnc-machining-benefits-from-plc-operation-linked-to-pc-control-networking>
- [19] *Multifunkční obráběcí centrum Mazak Integrex I-200ST-Matrix 2* [online]. 2014 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.kastr.cz/obraben4.php>
- [20] *CNC Machining Services Information* [online]. [b.r.] [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: http://www.globalspec.com/learnmore/part_fabrication_production/machine_shop_services/cnc_machining_services
- [21] *CNC Planer Type Horizontal Boring & Milling Machine with Ram* [online]. 2011 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.ecvv.com/product/3213065.html>
- [22] *Frézování, způsoby* [online]. 2016 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: http://www.tch.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/frezovani_zpusoby/frezovani-valcovou-a-celni-frezou.jpg.html
- [23] *Souřadnicový systém CNC stroje* [online]. [b.r.] [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1221>

- [24] *Fanuc CNC* [online]. 2015 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.farpost.ru/khabarovsk/service/auto/repair/remont-chpu-fanuc-cnc-0i-0i-md-0i-td-0i-tb-0i-pd-0i-tc-32i-b-31i-b-37636829.html>
- [25] Tomek stroje a nářadí. *Závitníky* [online] [b.r.] [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <http://www.tomek-naradi.cz/zavitnik-m20-x-2-5/>
- [26] *Obecný úvod do problematiky CNC programování - část první.* [online] [b.r.] [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: http://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
- [27] Jk-nástroje. [online] <http://jk-nastroje.cz/shop/45-prodlouzene/113-dokoncovaci-freza-o-20-mm-prodlouzena.html>
- [28] *Cenová nabídka DOOSAN HM1250.*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC	Computer Numerical Control (počítačem řízený NC stroj)
NC	Numerical Control (číslicově řízení operací obrábění)
RAM	Random Access Memory (operační paměť)
PLC	Program Logic Controller (programovatelný logický automat)
HSC	High Speed Cutting (vysokorychlostní obrábění)
CAD	Computer Aided Design (počítačem podporované projektování)
CAM	Computer Aided Manufacturing
HSM	High Speed Machining (Vysokorychlostní obrábění)
SK	Slinuté karbidy
RO	Rychlořezná ocel
G-kód	(ISO kód) název programovacího jazyka, podle kterého se řídí NC a CNC stroje
STEP	Standart for the Exchange of Product model data
Software	Počítačový program
F	Posuv v NC kódu [mm/min]
S	Otáčky v NC kódu [ot/min]
T	Číslo nástroje
G	Přípravné funkce
M	Pomocné funkce
VBD	Vyměnitelná břitová destička
CR	Rádus obráběcí části nástroje
TAPER	Úhel obráběcí části nástroje
Z min	Maximální využití nástroje v ose Z
2D	Dvojměrný
3D	Trojměrný

D	Průměr nástroje
R	Rádus
DR	Rádusová korekce
H	Délková korekce nástroje
ISO	International Organisation for Standardization
X,Y,Z	Lineární osy
v_c	Řezná rychlost [m/min]
TiN	Nitrid titanu
TiC	Karbid titanu
$Al_2 O_3$	Oxid hlinitý
μm	Mikrometr
mm	Milimetr
kg	Kilogram
kW	Kilowatt
Nm	Newton metr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Obsluha moderního CNC stroje [18].....	11
Obr. 2. Děrný pásek	13
Obr. 3. První komerční NC obráběcí stroj Milwaukee-Matic-II [5].....	13
Obr. 4. Víceúčelové obráběcí centrum Mazak Integrex [19]	15
Obr. 5. Pětiosé frézování (5D) [20]	16
Obr. 6. Složení horizontální frézky [21]	17
Obr. 7. Schéma obráběcího stroje DOOSAN HM1250 [28]	19
Obr. 8. Frézování čelní a válcovou frézou [22]	20
Obr. 9. Sousedné (vlevo) a nesousedné obrábění ((vpravo) [10]	21
Obr. 10. Základní pojmy frézování [7]	21
Obr. 11. Definování kartézských souřadnic – pravotočivá soustava [23]	23
Obr. 12. Symboly nulových bodů	24
Obr. 13. Řídicí panel CNC stroje [24]	25
Obr. 14. Různé typy frézovacích nástrojů [16].....	26
Obr. 15. Závit. fréza (nahore), tvářecí závit., strojní závit. (dole) [25]	27
Obr. 16. Vyvrtávací nástroje - (zleva) hrubovací, (uprostřed, vpravo) jemný [10]....	28
Obr. 17. Měnicí se vlastnosti obrábění a třísky v závislosti na úhlu VBD [10]	28
Obr. 18. Složení bloku [26]	31
Obr. 19. Absolutní programování [26]	34
Obr. 20. Inkrementální programování [26].....	34
Obr. 21. Schéma použití CAD/CAM systému [17]	35
Obr. 22. Prostředí v SolidWorks (CAM).....	37
Obr. 23. Výkresová dokumentace výrobku	40
Obr. 24. Část výkresové dokumentace v řezu C-C.....	41
Obr. 25. Spodní podstava vč. detailu drážky	41
Obr. 26. Vytvořený 3D CAD model obrobku	42
Obr. 27. Vhodná kotoučová fréza	43
Obr. 28. Změna zahloubení pro šroub	43
Obr. 29. Změna kontury horní plochy pro závity	44
Obr. 30. Vymodelovaný model odlitku	44
Obr. 31. Vrchní pohled na 3D model pro upnutí č. 1	46
Obr. 32. Rozmístění odlitku na paletě pro upnutí č. 1	46

Obr. 33. Označení odlitku na přední straně odlitku	47
Obr. 34. Názorné upnutí odlitku pomocí upínek	47
Obr. 35. První nulový bod G54.....	48
Obr. 36. Znázornění nulového bodu G55 v B90°	49
Obr. 37. Válcová hrubovací (nahore) a dokončovací fréza (dole) [27]	50
Obr. 38. Dráhy nástroje – obrábění válcovou frézou Ø20.....	50
Obr. 39. Vrtání otvorů Ø17,5 a řezání závitů M20.....	51
Obr. 40. Plátkový vrták Ø17,5 mm.....	52
Obr. 41. Průchozí otvory Ø24 + zahloubení pro šrouby.....	53
Obr. 42. Fréza pro srážení hran.....	54
Obr. 43. Upnutí č. 2 vč. nulových bodů.....	55
Obr. 44. Výškové podmínky podložek	56
Obr. 45. Nulový bod G54 v upnutí č.2	56
Obr. 46. Nulový bod G55 v B160°	57
Obr. 47. Nulový bod G57 v B45°	57
Obr. 48. Hrubovací a dokončovací operace spodní podstavy v B0°	58
Obr. 49. Dráhy nástroje v operaci vybrání pro šrouby	58
Obr. 50. Dokončení hloubky drážek	59
Obr. 51. Dokončení šířky drážek	59
Obr. 52. Měření šířky drážek pomocí válečků a Johansonových měrek	60
Obr. 53. Vrtání děr a řezání závitů pro M20.....	60
Obr. 54. Frézování a závity v B200°	61
Obr. 55. Detail X vybrání	61
Obr. 56. Obrábění v B45° dle výkresové dokumentace „Detail X“	62
Obr. 57. Operace pro upnutí č. 3.....	63
Obr. 58. Nahlášení kolize kvůli nedostatečné délce nástroje	64
Obr. 59. Verifikace spodní podstavy a bočních ploch.....	65
Obr. 60. Manipulace s obrobkem.....	66
Obr. 61. Doraz pro upnutí č. 2	67

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Vývoj NC a CNC obráběcích strojů [3]	14
Tab. 2. Hlavní charakteristiky a skladba stroje [28]:	18
Tab. 3. Orientační hodnoty řezných rychlostí dle materiálu [9]	22
Tab. 4. Tabulka vlastností povlaků [12]	29
Tab. 5. Význam alfanumerických symbolů	31
Tab. 6. Seznam nejdůležitějších přípravných funkcí (G-funkce)	32
Tab. 7. Seznam nejdůležitějších pomocných funkcí (M – funkce)	33
Tab. 8. Řezné podmínky pro válcovou frézu T41 a T42	50
Tab. 9. Tabulka použitých závitů.....	51
Tab. 10. Řezné podmínky pro T52 a T4	52
Tab. 11. Řezné podmínky pro G3/8“, Ø24 a zahloubení.....	53
Tab. 12. Obráběcí podmínky pro B90° a B270°	54
Tab. 13. Obráběcí podmínky pro T43.....	55

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: SEZNAM NÁSTROJŮ PRO UPNUTÍ Č. 1	78
PŘÍLOHA P II: SEZNAM NÁSTROJŮ PRO UPNUTÍ Č. 2	79
PŘÍLOHA P III: SEZNAM NÁSTROJŮ PRO UPNUTÍ Č. 3	80
PŘÍLOHA P IV: SEZNAM VYGENEROVANÝCH PROGRAMŮ	81
PŘÍLOHA P V: VÝROBA ZADANÉHO OBROBKU V PRAXI	82

PŘÍLOHA P VI: CD – ROM obsahující tyto soubory:

- Výkresová dokumentace
- Vygenerovaný G - kód

PŘÍLOHA P I: SEZNAM NÁSTROJŮ PRO UPNUTÍ Č. 1

Č. NÁSTR.	Ø NÁSTR.	CR	TAPER	Z MIN	NÁSTROJ
T2	16	0	90°	-5	VRTÁK
T4	28	0	45°	-5,3	ÚKOS. FR.
T41	20	0	-	-30	VÁLC. FR.
T42	20	0	-	-29	VÁLC. FR.
T51	20	0	-	-58	P. ZÁVIT.
T52	17,5	0	-	-61	VRTÁK
T59	17	-	-	-	G3/8
T78	16	0	120°	-140	VRTÁK
T83	24	0	120°	-132	VRTÁK
T6	80	1,5	-	-0,3	FRÉZA
T61	21	0	-	-53	VRTÁK
T62	24	0	-	-50	P. ZÁVIT.
T76	125	0	45°	0	ÚKOS. FR.
T88	34,54	0	45°	-7,3	ÚKOS. FR.
T43	40	1,2	-	-9	FR.















PŘÍLOHA P II: SEZNAM NÁSTROJŮ PRO UPNUTÍ Č. 2

Č. NÁSTR.	Ø NÁSTR.	CR	TAPER	Z MIN	NÁSTROJ
T50	20	0	90°	-340	P. ZÁVIT.
T52	17,5	0	-	-343	VRTÁK
T76	125	0	45°	0	ÚKOS FR.
T85	20,4	0	30°	-12	KUL. FR.
T6	80	1,5	-	0,3	FR. TOR.
T7	63	1,5	-	-95	FR. TOR.
T89	26	1	-	-11,85	FR. TOR.
T89				-93	
T1	13	0	90°	-140,25	VRTÁK
T30	6,8	0	130°	-158,85	VRTÁK
T59	8	0	-	-156,45	P. ZÁVIT.
T4	28	0	45°	-5,3	ÚKOS FR.
T51	20	0	-	-45	P. ZÁVIT.
T76	125	0	45°	0	ÚKOS FR.

PŘÍLOHA P III: SEZNAM NÁSTROJŮ PRO UPNUTÍ Č. 3

Č. NÁSTR.	Ø NÁSTR.	CR	TAPER	Z MIN	NÁSTROJ
T52	17,5	0	-	-61	VRTÁK
T4	28	0	45°	-5,3	ÚKOS. FR.
T51	20	0	-	-58	P. ZÁVIT.
T2	16	0	90°	-5	VRTÁK
T83	24	0	120°	-132	VRTÁK
T43	40	1,2	-	-9	FR. TOR.

PŘÍLOHA P IV: SEZNAM VYGENEROVANÝCH PROGRAMŮ

	O4000 HL PGM UPN1	Type: NC File
	O4001 UPN1 Plosky pro srouby	Type: File
	O4100 HL PGM UPN2	Type: NC File
	O4101 Hrub podstava Z+12	Type: File
	O4102 Dok velke vybrani	Type: File
	O4103 Dok vybrani pro sroub	Type: File
	O4104 Hrub 60ST vybrani	Type: File
	O4105 Hrub podstava 160st	Type: File
	O4106 Hrub podstava 200st	Type: File
	O4109 zahloubení D40 45st	Type: File
	O4111 zahloubeni D40 315st	Type: File
	O4113 hrana 0,7x45 podstava	Type: File
	O4200 HL PGM UPN3	Type: NC File
	O4201 UPN3 Plosky pro srouby	Type: File

PŘÍLOHA P V: VÝROBA ZADANÉHO OBROBKU V PRAXI

