

# Optimalizace výroby horizontální frézky při využití paletového systému

Radovan Němec

---

Bakalářská práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radovan Němec**  
Osobní číslo: **T18445**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Optimalizace výroby horizontální frézky při využití paletového systému**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na dané téma.
2. Analýza současného stavu výroby.
3. Optimalizace výroby.
4. Zhodnocení navržených řešení.

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**  
Rozsah příloh:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **KOCMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.**
2. **FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.**
3. **ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: BEN – technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-7300-207-8.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Bednařík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství  
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 19. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> 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 24.5.2019

.....

---

<sup>1)</sup> 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.

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

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

<sup>3)</sup> 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 výtěžku 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 výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tématem této bakalářské práce je optimalizace a automatizace práce na CNC horizontální frézce s paletovým systémem ve společnosti PRECIZ s.r.o. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část se zabývá problematikou frézování a popsání součástí CNC strojů. Praktická část práce popisuje dosavadní fungování stoje, dále optimalizaci a automatizaci výroby při zavedení paletového systému. V závěru práce jsou zhodnocena navržená řešení.

Klíčová slova: Frézování, Paletový systém, CNC horizontální fréza

## **ABSTRACT**

The topic of this thesis is putting into operation the pallet system cooperating with CNC horizontal milling machine in PRECIZ s.r.o. The thesis contains two parts. The theoretical part is focused on types of milling and description of the CNC machines. The practical part compares the pre-existing working procedure together with optimization and automatization of the production by using the pallet system. In conclusion of this thesis, there are evaluated suggested solutions.

Keywords: Milling, Automatic pallet system, CNC horizontal milling machine

Velmi děkuji panu Ing. Martinovi Bendařkovi, Ph.D., vedoucímu bakalářské práce, za cenné rady, ochotu a trpělivost. Také bych chtěl poděkovat Ing. Lukošovi Guryčovi a Michalovi Stokláskovi za odborné rady a věcné připomínky ve firmě.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 FRÉZOVÁNÍ.....</b>	<b>12</b>
1.1 PODSTATA FRÉZOVÁNÍ .....	12
1.2 DRUHY FRÉZOVÁNÍ .....	13
1.2.1 Nesousledné frézování .....	13
1.2.2 Sousledné frézování .....	14
1.2.3 Středové frézování .....	14
1.3 ŘEZNÉ PODMÍNKY .....	15
1.3.1 Základní vzorce pro obrábění.....	15
1.4 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE .....	17
1.5 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY .....	18
1.5.1 Rychlořezné oceli .....	19
1.5.2 Frézy s břitovými destičkami .....	20
1.6 UPÍNÁNÍ FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ .....	21
1.6.1 Strmý kužel – SK .....	22
1.6.2 Upínací kužel HSK .....	22
1.6.3 Frézovací trn.....	23
1.7 ŘEZNÁ KAPALINA.....	23
<b>2 CNC STROJE.....</b>	<b>25</b>
2.1 POHONY .....	27
2.1.1 Pohon hlavního vřetene.....	27
2.1.2 Pohon posuvů.....	27
2.2 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM STROJE.....	28
2.2.1 Nulový bod stroje (M).....	29
2.2.2 Referenční bod stroje (R) .....	29
2.2.3 Nulový bod obrobku (W) .....	29
2.3 ODMĚŘOVACÍ SYSTÉMY .....	30
2.3.1 Přímé odměřování .....	30
2.3.2 Nepřímé odměřování.....	30
2.3.3 Inkrementální odměřování .....	31
2.3.4 Absolutní odměřování .....	31
2.4 MĚŘENÍ NÁSTROJŮ .....	32
2.4.1 Externí měření nástrojů .....	32
2.4.2 Měření nástrojů ve stroji .....	32
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>33</b>
<b>3 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE .....</b>	<b>34</b>
<b>4 POPIS STROJE.....</b>	<b>35</b>



4.1	PALETOVÝ PROSTOR STOJE.....	37
4.2	OTOČNÝ STĚNOVÝ VÝMĚNÍK PALET .....	38
4.3	OTOČNÝ STŮL CNC STOJE .....	39
4.4	UPÍNACÍ HYDRAULICKÉ ZAŘÍZENÍ AMFO .....	40
<b>5</b>	<b>ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY .....</b>	<b>41</b>
1.1	PŮVODNÍ FRÉZOVACÍ PROGRAM .....	45
1.2	NÁVRH FRÉZOVACÍHO PROGRAMU 1. VERZE .....	47
5.1	NÁVRH OBRÁBĚCÍHO PROGRAMU 2. VERZE .....	51
<b>6</b>	<b>OPTIMALIZACE VÝROBY .....</b>	<b>56</b>
6.1	ZAVEDENÍ PALETOVÉHO SYSTÉMU. ....	58
<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH ŘEŠENÍ.....</b>	<b>59</b>
7.1	VÝBĚR PROGRAMU .....	59
7.2	ÚSPORA PALETOVÉHO SYSTÉMU .....	59
7.3	CELKOVÁ ČASOVÁ ÚSPORA .....	59
7.4	FINANČNÍ ZHODNOCENÍ.....	59
7.5	DALŠÍ PLÁNOVANÉ KROKY OPTIMALIZACE DANÉHO PRACOVIŠTĚ .....	59
7.5.1	Popis funkce modulu sonda .....	60
7.5.2	Manipulační přípravek pro rychlé a snadné vyskládání obrobených kusů z paletového prostoru.....	60
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>68</b>

## ÚVOD

Při výrobním procesu jakýchkoliv součástí, je jedním z nejdůležitějších parametrů výrobní čas. Proto je nezbytné každý výrobní proces neustále optimalizovat a dosahovat tak tržně konkurenceschopných výrobních časů.

Tato bakalářská práce se věnuje tématu optimalizace a automatizace použití paletového systému na číslicově řízeném stroji ve firmě PRECIZ s.r.o. Optimalizace používání paletového systému má zapříčinit efektivnější a produktivnější výrobní procesy celého pracoviště při co nejvyšší možné míře bez obslužnosti.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány základní principy frézování. V praktické části je popsán současný stav výroby na daném pracovišti, který efektivně nevyužívá paletizační systém. Dále jsou navrženy nové varianty programů, změny využití paletizačního systému a prvky automatizace.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 FRÉZOVÁNÍ

Teorie obrábění je jedna z velmi důležitých výrobních metod strojírenské technologie. Tato technologie se používá pro výrobu hotových kusů, nástrojů pro jiné výrobní technologie jako jsou například tváření, slévání, stříhání, svařování, nekonvenční metody obrábění a jiné. Při procesu oddělování částic materiálů ve tvaru třísek aplikujeme celou řadu vědeckých disciplín – matematiku, fyziku a chemii. Technologie obrábění je nejpoužívanější metodou zpracovávání hutných polotovarů. V současné době se výzkumná činnost v této oblasti zabývá zejména rozvojem poznatků o vlastním procesu obrábění, zvyšováním výkonosti rezných nástrojů, inovací obráběcích strojů a automatizací řízení technologických procesů charakterizovaným vysokým využitím počítačové podpory. [1]

Získané poznatky z vědních oborů matematiky, fyziky a chemie se používají při zavádění, využívání, zdokonalování a optimalizaci nových perspektivních vědeckých metod výrobních procesů včetně jejich automatizace a optimalizace. Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Vlastní proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu obrobku se nazývá řezání, přesněji rezný proces. Rezný proces lze rozdělit na dané kategorie: [2]

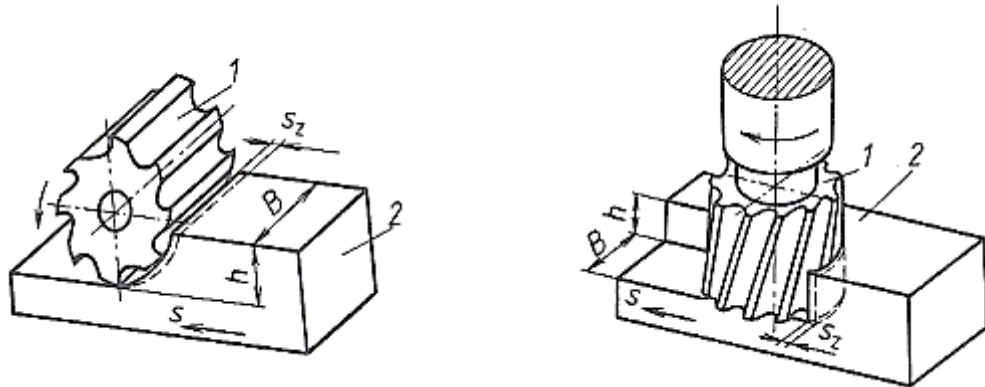
- kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání),
- diskontinuální (hoblování, obrážení),
- cyklický (frézování, broušení). [2]

## 1.1 Podstata frézování

Při frézování vykonává hlavní rezný pohyb nástroj (otáčivý) a obrobek koná pouze pohyb posuvný. Rezný pohyb je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje postupně vnikají do materiálu a odebírají třísky různého průřezu. Frézováním je rovněž možné obrábět rovinné nebo tvarové plochy vícebřitým nástrojem. Z hlediska chvění nástroje je vhodné, aby v záběru bylo více břitů současně. Frézování rozdělujeme na dva základní způsoby, těmi jsou frézování odvodem válcové frézy a čelem čelní frézy. [3]

## Válcové a čelní frézování

Frézování válcovou frézou odebíráme materiál na obvodě obrobku. Při čelním frézování zuby odebírají materiál na obvodě a zároveň na čele (Obr.1). [3]



Obr. 1. Frézování obvodem válcové frézy a frézování čelem čelní frézy

1 – fréza, 2 – obrobek, B – šířka, h – hloubka řezu, s – posuv,  $s_z$  – posuv na zub. [3]

## 1.2 Druhy frézování

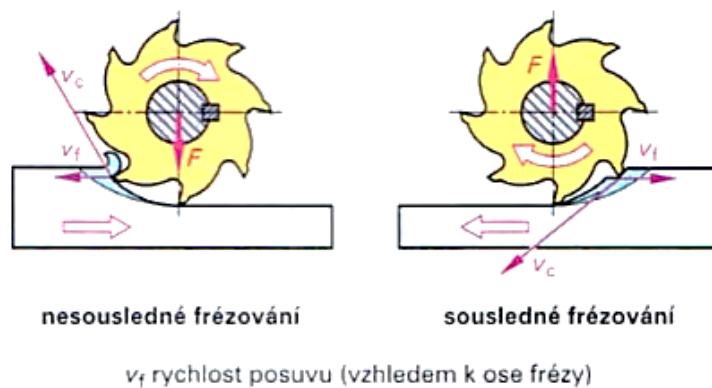
Frézování lze rozdělit na nesousledné a sousledné. Záleží, zda posuv materiálu směřuje při obvodovém frézování proti směru pohybu nebo ve směru pohybu břitu frézy. [4]

### 1.2.1 Nesousledné frézování

Při nesousledném obvodovém frézování zvětšuje posuv řeznou rychlost (Obr. 2.). Před vniknutím břitu do materiálu (třísky se začne tvořit až při určitém tlaku, při určité hloubce řezu) klouže břit po povrchu a opotřebovává se jeho hřbet. Po vniknutí břitu do materiálu se postupně zvětšuje tloušťka třísky a vzrůstá také řezná síla, která má snahu obrobek nadzvednout. K nadzvednutí by mohlo dojít např. uprostřed velkého zahloubení s tenkým dnem. Nesousledným frézováním je možné obrábět odlitky i válcované polotovary bez nebezpečí vy lámování břitu na tvrdém povrchu. Řezný výkon je poměrně malý a vertikální posuv stolu nesmí mít vůli, protože by se stůl mohl zvedat. [4] Nesousledné frézování má vliv na trvanlivost nástroje, zub zabírá z nulové tloušťky třísky, při tom dochází k zaoblení ostří, zub začne řezat až po dosažení určité tloušťky třísky. Před tím než dosáhne dané tloušťky třísky, dochází pouze k pěchování materiálu a ke tření hřbetu o obrobek. To má za následek opotřebení břitu nástroje. [3]

### 1.2.2 Sousedné frézování

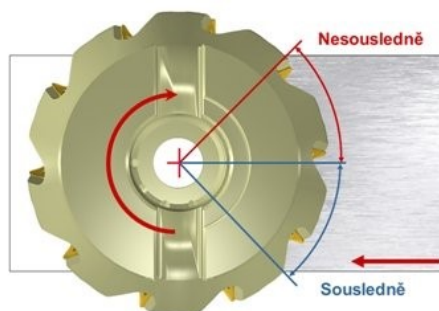
Při sousledném obvodovém frézování mají řezný pohyb a posuv stejný směr a břit začíná řez nárazem do materiálu a záběrem tlusté třísky (Obr. 2). Fréza je od obrobku odtlačována. Průřez tloušťky třísky se během záběru zmenšuje a klesá řezná síla. Kvalita obrobeného povrchu je lepší než při nesousledném frézování. Další výhody jsou delší trvanlivost nástroje, nástroj může mít větší hloubku řezu a větší výkon. Minimální hloubka řezu by měla být taková, aby byl v záběru minimálně jeden břit nástroje. [4]



Obr. 2. Nesousledné a sousledné obvodové frézování. [4]

### 1.2.3 Středové frézování

Při středovém frézování se vyskytují oba typy frézování jak nesousledné tak i sousledné. Je velmi nevhodné, protože dochází k silnému kolísání směru, ve kterém působí řezné síly. Využitím středového frézování dojde k tomu, že fréza tlačí do obrobku (nesousledně), nebo jej bude natahovat (sousledně). Při frézování tímto způsobem dochází k působení tlakového i tahového napětí, čímž může dojít ke vzniku vibrací během operace, a tak bude mít břit kratší životnost. Pro zvýšení životnosti břitu platí přímá úměra, čím více zubů zabírá do materiálu, tím lépe bude fréza obrábět bez rotačních vibrací. [5]



Obr. 3. Středové frézování. [5]

### 1.3 Řezné podmínky

Volba řezných podmínek je závislá na vlastnostech nástroje, stroje i obrobku. Zároveň je důležité také prostředí i požadované parametry frézovaných ploch obrobku.

Řezné podmínky pro frézování s orientačními hodnotami jsou uvedeny níže v tabulce (Tab. 1.). Hodnoty v tabulce jsou stanoveny pro středně těžké obrábění s hloubkou řezu 4 až 6 mm. Při hrubování se hloubka řezu pohybuje od 10 do 20 mm i více, při obrábění načisto obrábíme řezem o hloubce od 0,5 do 2 mm, přičemž by  $s_z$  neměl klesnout pod 0,05 mm – pak se již projevuje vliv poloměru ostří břitu nástroje, to platí hlavně u nástrojů z povlakovaných slinuchých karbidů. [3]

*Tab. 1. Hodnoty  $v_c$  v mm/min a  $s_z$  v mm/břit frézy pro frézu s vyměnitelnými břitovými destičkami ze SK. [4]*

Druh obrábění		Nelegované oceli Rm do 700 N/mm <sup>2</sup>	Legované oceli Rm do 1000 N/mm <sup>2</sup>	Litina do 180 HB
Hrubování	Vc	100 až 200	60 až 200	70 až 140
	Fz	0,1 až 0,4	0,1 až 0,4	0,1 až 0,5
Dokončování	Vc	100 až 300	80 až 220	90 až 300
	Fz	0,1 až 0,3	0,06 až 0,3	0,1 až 0,25

#### 1.3.1 Základní vzorce pro obrábění

Výpočet řezné rychlosti v [m/min]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

Výpočet otáček vřetene v [ot/min<sup>-1</sup>]

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (2)$$

Výpočet posuvu na zub v [mm/zub]

$$f_z = \frac{v_f}{Z_{eff} \cdot n} \quad (3)$$

Posuv na otáčku v [mm]

$$f_n = \frac{v_f}{n} \quad (4)$$

Velikost posuvu [mm/min<sup>-1</sup>]

$$v_f = f_n \cdot Z_{eff} \cdot n \quad (5)$$

Velikost úběru materiálu [cm<sup>3</sup>/min]

$$Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f}{1000} \quad (6)$$

Průměrná tloušťka třísky

$$h_m = f \cdot z \cdot \sqrt{\frac{a_c}{D}} \quad (7)$$

Měrná řezná síla [N/mm<sup>2</sup>]

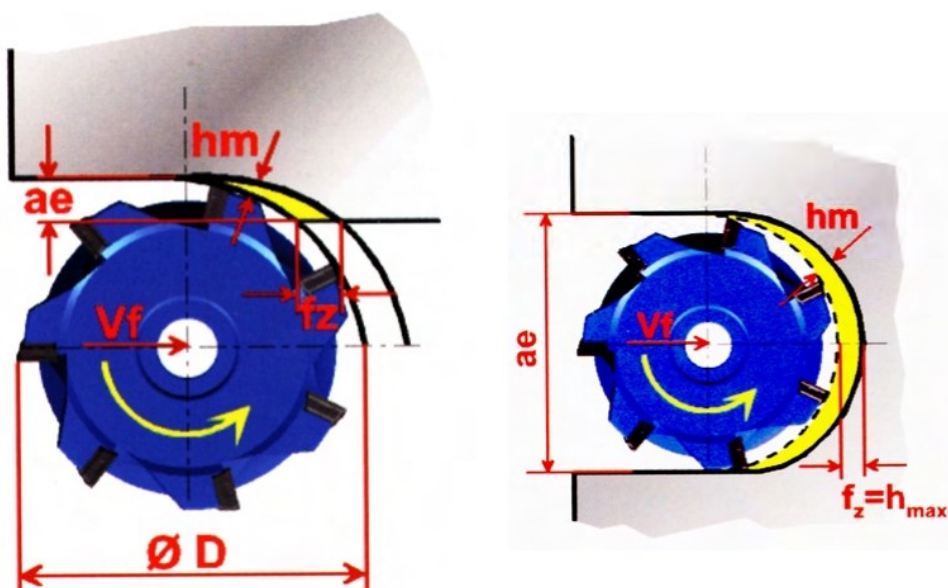
$$k_c = h_m^{-mc} \cdot k_{c1.1} \quad (8)$$

Výkon vřetene [kW]

$$P_c = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} \quad (9)$$

Výkon motoru [kW]

$$P_{mot} = \frac{P_c}{\eta} \quad (10)$$

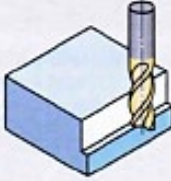


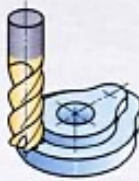
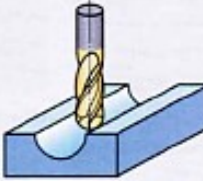
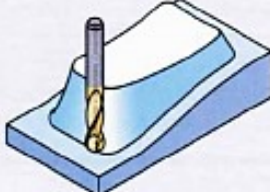


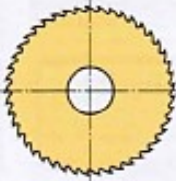




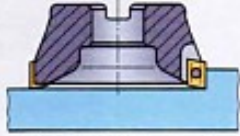

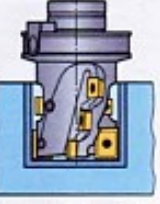
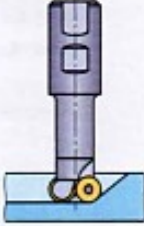


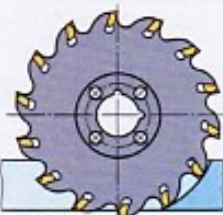


Obr. 4. Popis základních vzorců pro obrábění. [6]



### 1.4 Frézovací nástroje

Frézy je možné rozdělit do různých druhů. Podle upnutí je dělíme na nástrčné a stopkové, dále podle uspořádání a tvaru břitů nebo břitových destiček na hrubovací nebo dokončovací frézy a podle tvaru obráběných ploch na čelní, rohové, drážkové a kopírovací frézy. (Obr. 5). [4]

Tabulka: Frézovací nástroje	
<p>Stopkové frézy</p> <p>Nástroje z rychlořezné oceli, tvrdokovu nebo cermetu</p>	 <p>stopková čelní fréza polohrubozubá</p>  <p>stopková fréza (pro přesné drážky per)</p>  <p>vrtací drážková fréza (pro dlouhé drážky)</p>  <p>stopková fréza pro opracování obvodů</p>  <p>stopková fréza s kulovým čelem (pro kopírování)</p>  <p>kopírovací fréza pro opracování forem</p>
<p>Nástrčné frézy</p> <p>Z rychlořezné oceli nebo s připájenými břitovými SK destičkami</p>	 <p>válcová čelní fréza</p>  <p>kotoučová fréza</p>  <p>kotoučová pila na kov</p>    <p>profilové frézy (půlkruhová, prizmatická, úhlová)</p>
<p>Frézy s břitovými destičkami</p> <p>Břítové destičky ze SK, řezné keramiky (nitridové), diamantové (PKD) nebo z bornitridu (BN)</p>	 <p>frézovací hlava rovinná</p>  <p>frézovací hlava rohová</p>  <p>kopírovací fréza (frézování vnějších i vnitřních tvarů)</p>  <p>čelní válcová fréza (frézování rovinných ploch a rohů)</p>  <p>kopírovací fréza (frézování vnějších i vnitřních tvarů)</p>  <p>stopková profilová fréza (srážení hran, zahlubování, profilové drážky)</p>  <p>kotoučová fréza (frézování drážek, řezání)</p>  <p>řezací fréza</p>

Obr. 5. Rozdělení frézovacích nástrojů. [4]

## 1.5 Nástrojové materiály

Průběh řezného procesu výrazně závisí na vlastnostech řezné části nástroje, která je vyrobena z příslušného nástrojového materiálu.

Na nástrojový materiál se vztahují základní požadavky jako je tvrdost, odolnost proti opotřebení, tepelná vodivost, pevnost v ohybu a houževnatost. Uvedené vlastnosti by měl nástrojový materiál splňovat při vyšších a vysokých teplotách po dostatečně dlouhou dobu. Všechny kategorie řezných nástrojů vykazují vysoké řezivosti. Tím vykazují i vysoký řezný výkon, který způsobuje velký minutový úběr obráběného materiálu.

Pro řezné materiály se používají:

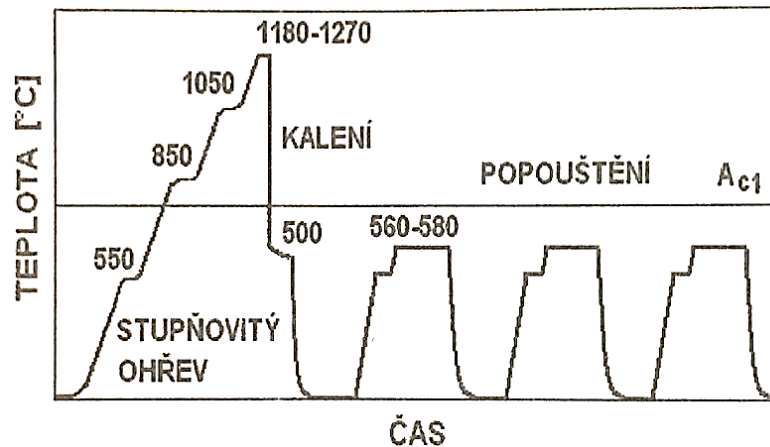
- nástrojové oceli uhlíkové,
- nástrojové oceli nízkolegované,
- rychlořezné oceli (HSS),
- stelly,
- slinuté karbidy, SK,
- slinuté karbidy s tvrdými povlaky,
- keramické nástrojové materiály, KM,
- polykrystalický kubický nitrid bóru, PKNB,
- polykrystalický diamant, PKD,
- přírodní diamant. [2]

Při využívání automatizovaných výrobních linek a obráběcích center se nejvíce používají nástroje s vyměnitelnými destičkami ze slinutého karbidu, včetně povlakovaných destiček, a to asi v 80 % případů. Ve zbylých případech se používají nástroje z rychlořezné oceli především pro nástroje jako jsou vrtáky, výhrubníky, výstružníky a tvarové nástroje. Aplikovatelnost nástrojů při jejich zapojení do začleněných výrobních úseků je podmíněna jejich vysokou kvalitou a stabilitou parametrů, čehož se dosahuje: [2]

- volbou vhodného druhu materiálu řezné části nástroje,
- volbou optimálních řezných parametrů (vhodná geometrie, optimální podmínky),
- výrobou a údržbou těchto nástrojů ve speciálních provozech. [2]

### 1.5.1 Rychlořezné oceli

Snaha o zvýšení řezného výkonu vedla k vysokému legování nástrojových ocelí. Tepelné zpracování probíhalo při teplotách kalení 1250-1290 °C, poté ochlazování v lázni při teplotě 620 °C a popouštění na teplotě 580-590 °C. Použití rychlořezných ocelí (HSS) umožňuje tvorbu třísek o teplotě 560 °C, používáním HSS lze dosáhnout řezné rychlosti až 35 m/min. [1]



Obr. 6. Průběh tepelného zpracování HSS. [1]

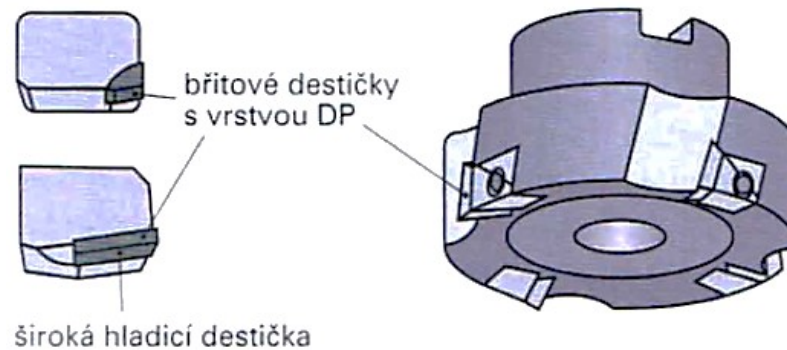
Tvrдость vysokolegovaných ocelí je určena zakalením na martenzit a přítomností karbidů legujících prvků chromu, wolframu, molybdenu a vanadu které se slučují s uhlíkem obsaženým v oceli. Vzniklé karbidy jsou velmi tvrdé a forma, jak jsou karbidy vyloučeny, ovlivňuje trvanlivost oceli. Vysokou prokalitelnost určuje vysoký počet legujících prvků. Ochlazovací rychlosti mohou být docela nízké a tím je možnost vzniklých deformací malá. Proces kalení u vysokolegovaných ocelí je složitější než u ocelí uhlíkových nebo nízkolegovaných. Obvykle se ohřev i ochlazování provádí postupně, a to etapovitě v několika prostředích o různé teplotě. Vysokolegované rychlostní oceli odolávají při obrábění teplotě zhruba 600 °C. Díky tomu jsou používány pro výkonné řezné stroje vystavené nárazům při přerušovaném řezu, jako jsou například nože, tvarové frézy, vrtáky, závitorezné nástroje, výstružníky a jiné. Důležitou podmínkou pro optimální využití rychlořezných nástrojů je použití vhodného řezného prostředí (řezných emulzí a olejů). [2]



Obr. 7. Fréza válcová čelní (HSS). [7]

### 1.5.2 Frézy s břitovými destičkami

Břítové destičky ze slinutých karbidů, které jsou většinou i povlakované, umožňují uplatnění fréz pro velkou řadu operací, jako jsou rychlostní i tvrdé frézování a rovněž frézování na sucho, bez použití řezné emulze. Břítovými destičkami, které jsou tvořeny z nitrídané keramiky (většinou z nitridu křemíku) je možné frézovat kalené, ocelové a litinové díly. [4]



Obr. 8. Fréza s břitovými destičkami. [4]

Slinuté karbidy (SK) se mezi tvrdými nástrojovými materiály vyznačují velkou pevností. Používají se pro vysokorychlostní obrábění a pro těžké přerušované řezy. Významným faktorem ovlivňující fyzikální a mechanické vlastnosti a tím i řezný výkon povlakovaných SK je druh povlaku a jeho tloušťka, metoda povlakování a substrát. Odolnost povlaku proti opotřebení závisí na typu povlaku, abrazní opotřebení je ovlivňováno tvrdostí, tepelné opotřebení termochemickou stabilitou. Tloušťka povlaku se pohybuje v rozmezí 5 až 10  $\mu\text{m}$ . Břit nástroje je při frézování vystaven rázům, u tlustých povlaků dochází k vydrolování, a proto jsou pro tento účel vhodnější použít povlaky tenké. [7]

Slinuté karbidy se vyrábí metodou práškové metalurgie spékáním wolframu, titanu, tantalu, chromu a dalších kovů. Při spékání (slinování) se používá jako pojivo kobalt. Tvrdost slinutých karbidů je dána samotnou povahou materiálu, proto se neprovádí tepelné zpracování ke zvýšení tvrdosti.

Slinuté karbidy předčí rychlořeznou ocel otěruvzdorností, jsou však křehké, mají sklon k vydrolování jsou obtížně obrobitelné, břit vydrží zahřátí až na 900 °C. Rozdělují se podle ISO na skupiny z hlediska řezného procesu:

- P – slinuté karbidy pro obrábění materiálu, dávající plynulou třísku.
- M – slinuté karbidy pro obrábění materiálu, dávající plynulou i krátkou třísku.
- K – slinuté karbidy pro obrábění materiálu, dávající krátkou třísku. [2]
- N – slinuté karbidy pro obrábění materiálu z neželezných kovů.
- S – slinuté karbidy pro obrábění tepelně odolných slitin na bázi, Fe, Ni, Co, Ti.
- H – slinuté karbidy pro obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí.
- O – Slinuté karbidy pro obrábění plastů. [12]

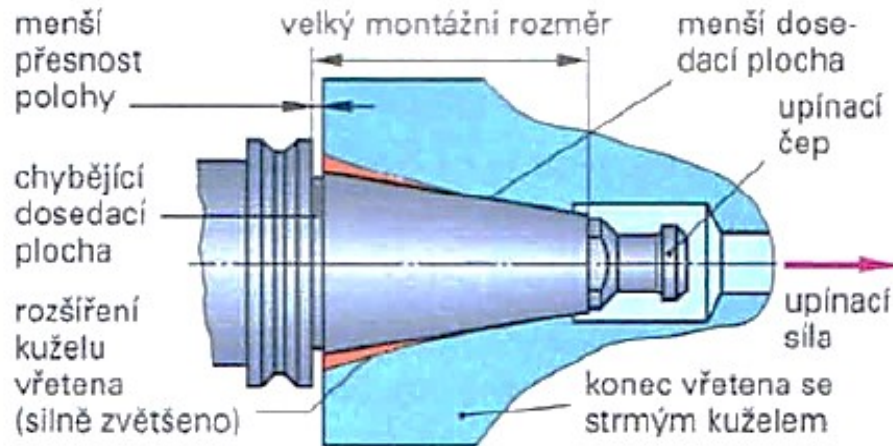
## 1.6 Upínání frézovacích nástrojů

Při frézování chceme dosáhnout co nejvyšší efektivity, proto používáme velkých úběrů obráběného materiálu, vysoké hodnoty řezných i posuvných rychlostí. Pro vysokou řeznou rychlost je potřeba vysokých otáček včetně a velké posuvové rychlosti, která způsobuje velké ohybové namáhání nástrojové sestavy, a to především při obrábění s velkým vyložením nástroje. Při zohlednění všech aspektů jsou na upínač kladeny vysoké nároky a musí splňovat mnoho základních kritérií:

- vysokou pevnost v ohybu,
- dokonalou dynamickou vyváženost,
- zajišťovat vysoké upínací síly schopné přenést velké kroutící momenty,
- zaručovat přesné upnutí s minimálním obvodovým házením nástroje,
- schopnost tlumit vibrace,
- přivádět řeznou kapalinu přímo do místa řezu,
- rychlé upínání i uvolňování nástroje. [8]

### 1.6.1 Strmý kužel – SK

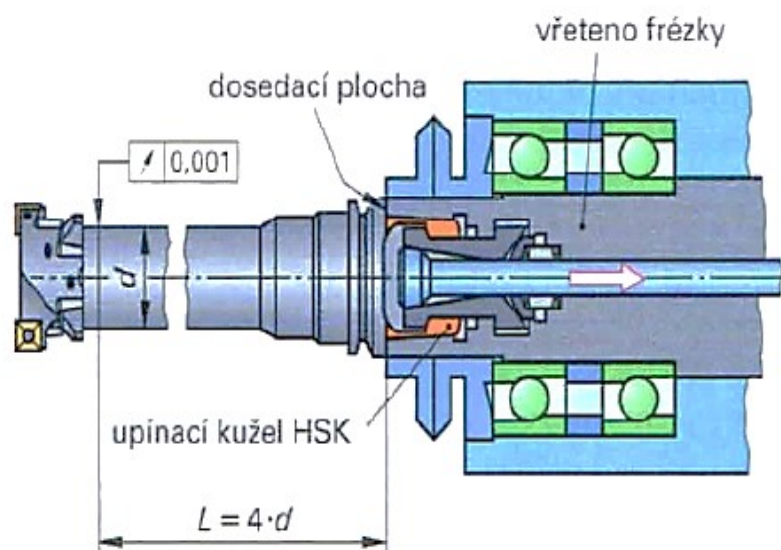
Při jeho poměrně velkém sklonu se lehce nasazuje i uvolňuje. Hlavní nevýhodou je malá tuhost uložení a nejistá axiální poloha. Rozšíření strmého kužele přetrvává díky rozsáhlému počtu frézek, které využívají toto upínání. [4]



Obr. 9. Nedostatky upínání strmým kuželem. [4]

### 1.6.2 Upínací kužel HSK

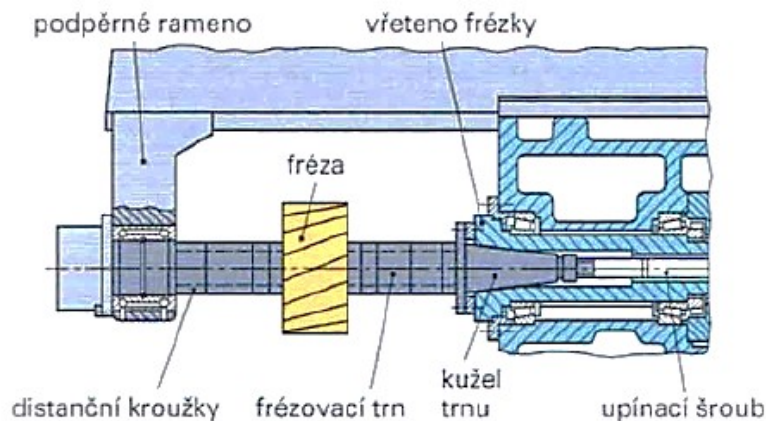
Vyhovuje nárokům na bezpečné a přesné upnutí frézy lépe, než je tomu u strmého kužele. Čelní doraz zajišťuje polohu nástroje a upínací rozpěrný trn s kuželovou rozpínací dutinou vycentruje a pak fixuje dutou stopku nástroje.



Obr. 10. Upínací systém HSK. [4]

### 1.6.3 Frézovací trn

Používá se k upínání válcových a kotoučových fréz. Možné je i upnutí více fréz na jeden trn a tím vytvoření daného profilu. Točivý moment se přenáší přes těsné pero, poloha nástrojů je vymezena kroužky. Konec trnu je uložen v ložisku podpěrného ramene pro zamezení pohybu trnu při velkých řezných silách. Kvůli tomu je fréza umístěna co nejbližší k vřetenu frézky. Při upínání válcových fréz se používá kleštinové upínací pouzdro, které svírá kleštinu pomocí závitů. Při utažení působí axiální síla na frézovací nástroj. [4]



Obr. 11. Frézovací trn horizontální frézky. [4]

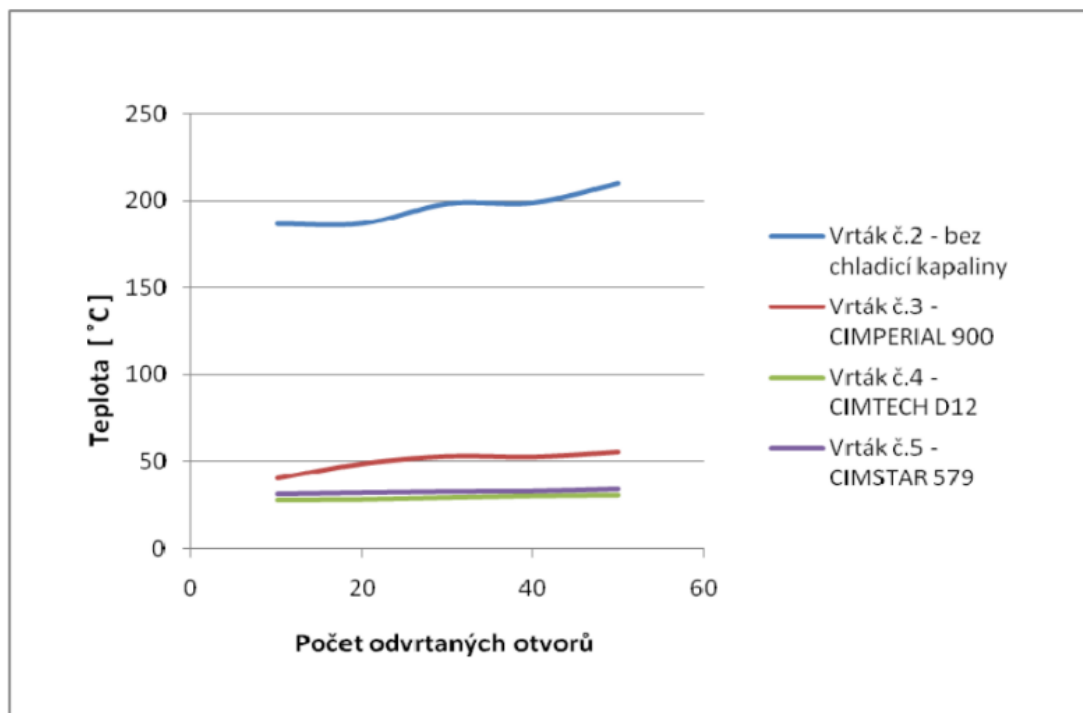
## 1.7 Řezná kapalina

Řezná kapalina je při obrábění důležitá svou funkcí. Touto funkcí je odvod tepla z místa řezu, díky čemuž dochází ke zmenšení vnitřního i vnějšího tření. Při použití vhodného řezného prostředí lze získat vyšší úběr, který je hospodárnější o 50 až 200 % ve srovnání s frézováním za sucha. Dále tím lze prodloužit životnost a trvanlivost břitu nástroje a také zlepšit kvalitu obráběné plochy. Rovněž můžeme zvýšit řeznou rychlost a posuv a použít větší hloubku řezu. [1,2]

Využití řezné kapaliny se projevuje:

- lepší drsností součástí,
- rozměrovou přesností,
- poklesem celkové elektrické energie,
- sníženou spotřebou řezných nástrojů,
- sníženým fyzickým opotřebením obráběcího stroje.

Pro řezné prostředí jsou nejvyužívanější kapaliny, kvůli chladicímu a mazacímu účinku, mají i funkci čistící, odvod třísek z místa řezu. Při řadě operací se nově začal používat vzduch jako chladicí médium, přičemž je chladicí kapalina rozptýlena v nepatrných kapičkách, které tvoří mlhu. Rovněž u obrábění litiny, protože materiál obsahuje grafit pracující jako pevné mazivo. Řezné prostředí můžou vytvářet i konzistentní prostředky, jako je například tuk nebo prášková maziva. Použitím těchto variant sice snížíme tření, ale neumožňujeme intenzivní odvod tepla z místa řezu. Proto se tahle možnost využívá jen výjimečně, například při řezání závitů nebo při speciálních obráběcích operacích. [1,2]



Obr. 12. Graf závislosti teplot na špičce nástroje na počtu odvrтанých děr. [9]



## 2 CNC STROJE

Číslicově řízené stroje (CNC) jsou ovládány pomocí řídicího systému a vytvořeného programu. Stroj se řídí pomocí programu, který obsahuje požadované informace o činnostech. Program tvoří posloupnosti oddělených skupin znaků, které nazýváme bloky nebo věty. Program je vytvořen za účelem řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součástí.

Zavedení CNC přispělo ke zvýšení produktivity, frézovací operace jsou prováděny rychleji, přesněji a spolehlivěji. CNC stroje zajišťují široký rozsah různých technologií obrábění, také v oblasti tváření a řezání materiálu (například vodním paprskem, plamenem, laserem) a mnoha dalších oblastech. Stroje jsou doplněné manipulačními prostředky, prostředky pro kontrolu kvality a případně dalšími jinými moduly, které ze stroje tvoří pružné výrobní linky. CNC stroje jsou snadno přeprogramovatelné a díky tomu se dají používat jak pro sériovou výrobu tak i pro kusovou.

**Program obsahuje informace, které lze rozdělit na:**

- **Geometrické**

Udávají dráhy nástroje, které jsou dány rozměry obráběné součásti, způsob obrábění součásti. Popisují příjezdy a odjezdy nástroje k obrobku.

- **Technologické**

Parametry technologie obrábění, s ohledem na řezné podmínky (otáčky, řezná rychlost, posuv, případně hloubka řezu).

- **Pomocné**

Příkazy, které určují pomocné funkce (například zapnutí čerpadla chladicí kapaliny, směr otáček vřetene, zapnutí dopravníku třísek).

- **Počítač**

Průmyslový počítač s řídicím systémem je součástí stroje. Tvořen je obrazovkou a ovládacím panelem, kterým lze ovládat CNC. Díky příslušnému softwaru řídicího systému lze vytvářet CNC program přímo na stoji. [10]

- **Řídicí obvody**

V této oblasti se logické signály převádějí na silnoproudé elektrické signály, kterými se přímo ovládají jednotlivé části stroje, jako jsou například motory vřetene a posuvu, ventilátory atd.).

- **Interpolátor**

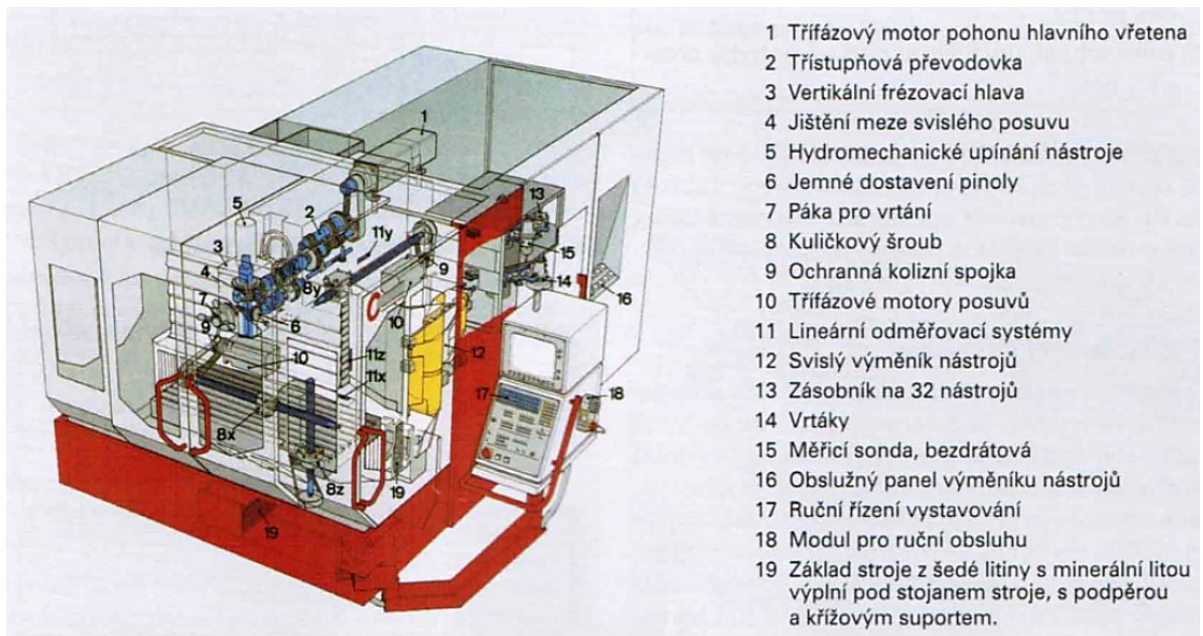
Používá se pro řešení dráhy nástroje, která je zadaná geometrií, a výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje.

- **Porovnávací obvod**

Stroj je vybaven zpětnou vazbou, jenž přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách suportů v souřadných osách, v jednotlivých bodech dráhy pohybu. Souřadnice se poté porovnávají s hodnotami v programu. Jestliže je zjištěn rozdíl, pohony posuvů dostanou povel k dosažení původních hodnot. Pokud chceme využít porovnávací obvod musí být stroj vybaven odměřováním například pravítka umístěnými na suportech, pomocí těchto pravítek lze zjistit dosažené souřadnice.

- **Řídicí panel**

Řídicí panel je vybaven monitorem, klávesnicí, ovládacími prvky, signalizačními prvky, pomocí něhož se ovládá stroj a provádí se úprava programu. [10]



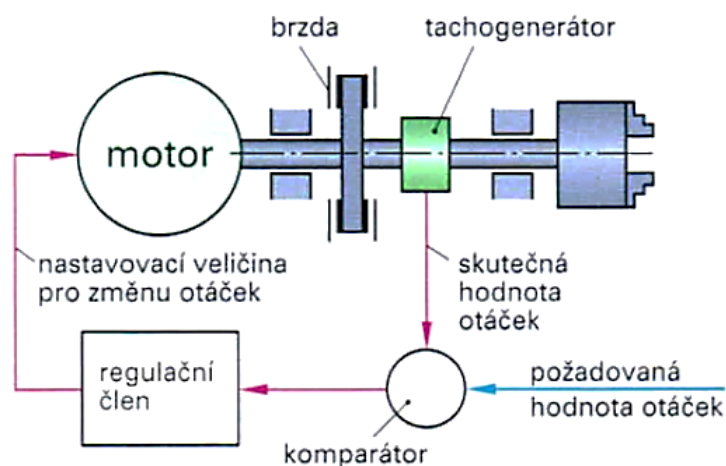
Obr. 13. Popis CNC stroje. [4]

## 2.1 Pohony

Pro pohon hlavního vřetene a pohony posuvů se používají elektromotory s řízením a regulací otáček.

### 2.1.1 Pohon hlavního vřetene

Používá se třífázový nebo stejnosměrný motor s řízením a regulací otáček. K regulaci otáček vřetene se používá tachogenerátor, jehož výstupní napětí je úměrné otáčkám. Napětí se porovnává v komparátoru s nastavovacím (řídícím) napětím a regulační odchylka se přivádí na vstup regulačního členu. Jeho výstupem je nastavovací veličina ovládající napájecí zdroj motoru, ve kterém dochází ke kmitočtu pro trojfázový motor, nebo proud pro stejnosměrný motor. [4]

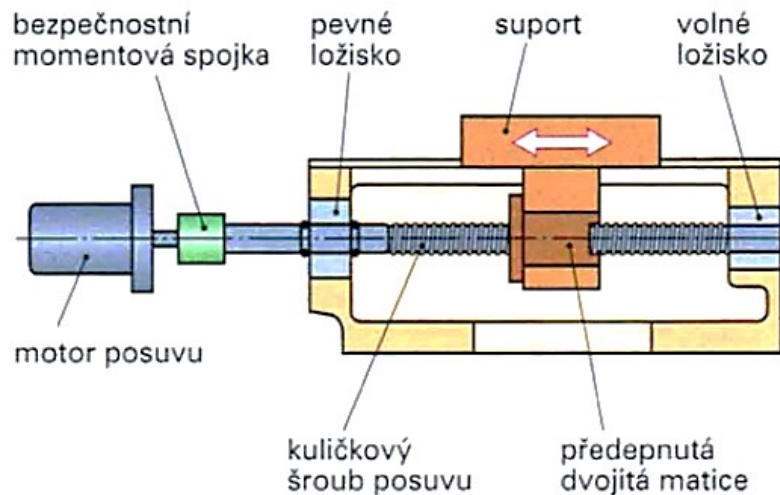


Obr. 14. Pohon s regulací otáček. [4]

### 2.1.2 Pohon posuvů

Pro suporty se stejně jako pro vřeteno používá třífázový motor napájený řízeným frekvenčním měničem nebo stejnosměrné motory s regulací otáček. V případě přetížení se mezi motor a kuličkový šroub dává jako bezpečnostní prvek momentová spojka zabraňující škodám. Požadavky pro pohon suportů jsou:

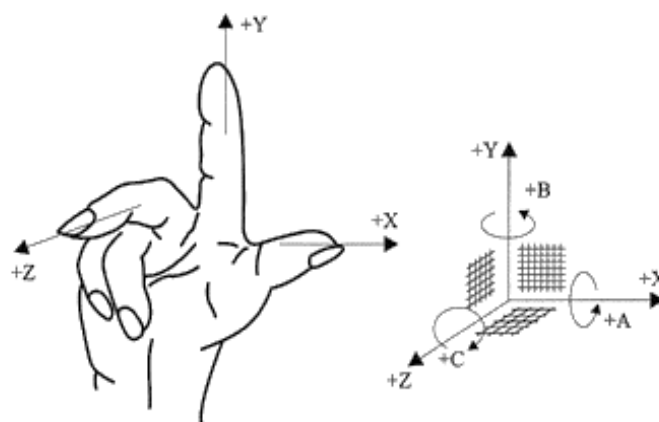
- překonávání velkého a proměnného odporu při pohybu sání,
- rovnoměrný pohyb malými i velkými rychlostmi,
- velké zrychlení a zpomalení pohybu, rychlé změny polohy suportu,
- velká přesnost opakovaného vystavení do určité pozice,
- velká tuhost, udržující suport při pohybu přesně v ose. [4]



Obr. 15. Pohon posuvu s kuličkovým šroubem. [4]

## 2.2 Souřadnicový systém stroje

CNC stroje používají kartézský souřadnicový systém. Systém je pravotočivý, pravouhlý s osami X, Y, Z. Každá z těchto os má otáčivý pohyb, který se označuje A, B, C (Obr. 16.). Je stanoveno, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, kladný smysl osy je stanoven od obrobku k nástroji. Tento systém je nezbytný pro řízení stroje, nástroj se pohybuje v kartézském systému podle zadaných příkazů z řídicího systému nebo z vytvořeného programu. V případě potřeby lze kartézský systém posouvat a otáčet. Souřadnicový systém je používán při tvorbě programu pro obrábění součástí. Při zapnutí stroje se aktivuje souřadnicový systém stroje, který má svůj počátek (tzv. nulový bod stroje), který musí být přesně definován. Souřadnicový systém má několik nulových bodů. [10]



Obr. 16. Kartézský souřadnicový systém. [10]

### 2.2.1 Nulový bod stroje (M)

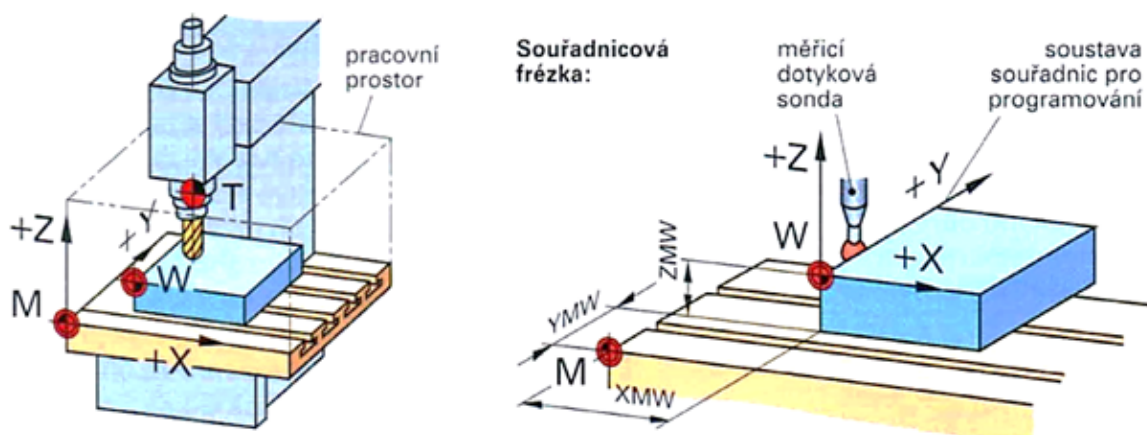
Nulový bod souřadného systému stroje, jenž je označován písmenem M, stanovuje výrobce stroje, výchozí bod nelze změnit. K nulovému bodu stroje se vztahují míry všech odměřovacích systémů. U frézek nalezneme nulový bod stroje v roztahu pracovního prostoru většínou v místě krajní polohy stolu frézky, v závislosti na výrobci může být poloha značně odlišná. [4, 10]

### 2.2.2 Referenční bod stroje (R)

Označován písmenem R, slouží ke kalibrování (nastavení nuly) inkrementálního odměřovacího systému. Stroj po zapnutí musí najet do referenčního bodu stroje. Bod je určen a stanoven výrobcem. Vzdálenosti nulového bodu stroje M a referenčního bodu stroje R jsou přesně odměřeny v souřadnicové soustavě stroje a vloženy do paměti řídicího systému jako konstanty. [4, 10]

### 2.2.3 Nulový bod obrobku (W)

Počátek souřadnic kartézského systému se vkládá do nejvhodnějšího místa obrobku, který se nazývá nulový bod obrobku a označuje se W. Nulový bod obrobku je vhodné vkládat do příslušného místa, aby se značně zjednodušilo vyčítání jednotlivých geometrických bodů na obrobku. Používáme ho, abychom nemuseli při programování geometrického tvaru obrobku vztahovat všechny rozměry k nulovému bodu stroje. Když by se nulový bod obrobku určoval dle nulového bodu stroje, musely by být při každém výpočtu zahrnuty i korekční hodnoty, proto raději stanovuje programátor všechny rozměry k nulovému bodu obrobku W. [4, 10]



Obr. 17. Nulové body souřadnicového systému. [4]

## 2.3 Odměřovací systémy

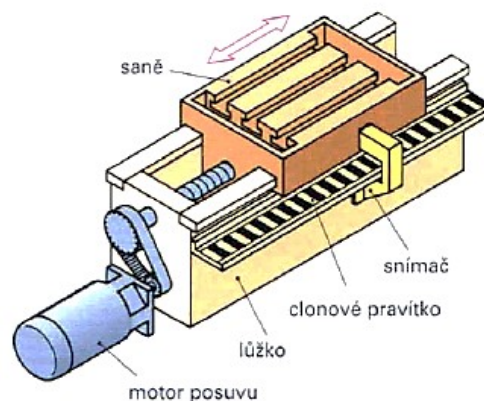
Součástí regulační smyčky je regulační systém. Pomocí odměřovacího systému je měřena poloha stolu stroje nebo nástroje. Tato poloha je skutečná hodnota a tato hodnota je porovnávána s požadovanou hodnotou. Otáčky motorku jsou regulací upraveny tak, aby se snižovala odchylka mezi skutečnou a požadovanou hodnotou, což nazýváme regulační odchylkou.

Odměřovací systém používá několik způsobů odměřování, které se liší především přesností, náročností instalace a cenou. Přičemž nejpřesnější hodnoty odměřování poskytují přímé odměřovací systémy. Nejčastěji se používají inkrementální odměřovací systémy.

Magneticky nebo indukčně je snímáno ozubení, opticky jsou snímány čárky (proužky) průhledného clonového pravítka, popřípadě kola, nebo jsou opticky snímány kódy polohy. Údaje jsou dále zpracovány CNC systémem. Clonová pravítka a kola pracují na principu světelné závory a dělící je na šterbinová nebo skleněná s napařenými kovovými čárkami a magnetické snímače jsou na principu Hallovy sondy. [4]

### 2.3.1 Přímé odměřování

Pravítka je umístěna zpravidla na lůžku s vedením a snímač na saních suportu stroje eventuálně naopak. Odměřovací zařízení musí být chráněno proti znečištění a poškození.

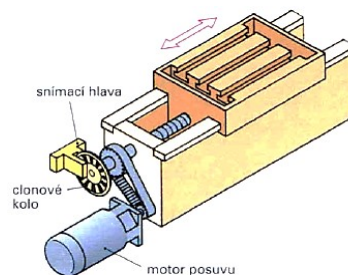


Obr. 18. Přímé odměřování. [4]

### 2.3.2 Nepřímé odměřování

Nepřímé odměřování se liší od přímého v tom, že odměřovací systém je umístěn na ose kuličkového šroubu. Na kuličkovém šroubu je nasazené clonové kolo a při jeho otáčení dochází ke snímání pomocí fotosnímače. Z otáčení clonového kola a stoupání závitu kuličkového

šroubu vypočte CNC řídicí jednotka polohu suportu. Při používání nepřímého odměřování může dojít k systematické chybě. Chyba způsobená nepřesně vyrobeným šroubem (natažený šroub má větší stoupání) může být opravena programem, ve kterém je uložena korekční křivka. Systém je plně zakrytován a je odolný proti znečištění. [4]



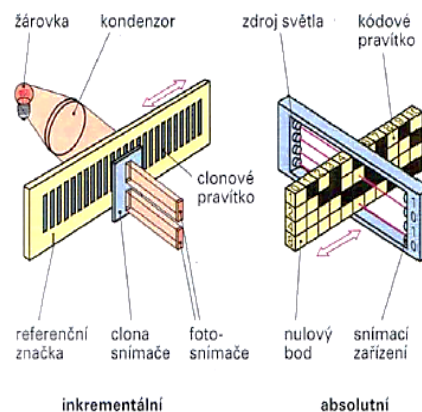
Obr. 19. Nepřímé odměřování. [4]

### 2.3.3 Inkrementální odměřování

Při inkrementálním odměřování se přičítají nebo odčítají počty impulzů odpovídající čárkám na pravítku nebo clonovém kole a tento počet odpovídá velikosti dráhy mezi dvěma polohami. Při snímání jsou zachycovány referenční značky určitých známých poloh, aby systém našel polohu po zapnutí stroje nebo při výpadku proudu. Při používání inkrementálního systému se musí stroj po zapnutí napájení napolohovat. Nejprve na referenční značky, aby nastavily nulové hodnoty v odměřování polohy v daných osách. [4]

### 2.3.4 Absolutní odměřování

Absolutní odměřování používá kódová pravítka a kódové úhlooměry, které jsou snímány více snímači. Kombinace tmavých a průhledných míst je kódem čísla, jenž udává souřadnici (absolutní polohu). Při zapnutí stroje zná systém přesnou polohu suportu. [4]



Obr. 20. Inkrementální a absolutní odměřování. [4]

## 2.4 Měření nástrojů

Při obrábění může být použito více nástrojů v programu. Nástroje mohou být různé, mají jiné délkové a rádiusové korekce, proto při každé výměně nástroje musí být v paměti korekce stroje uloženy délkové a rádiusové rozměry konkrétního nástroje, které je nutno používat při výpočtech souřadnic bodů nástroje. Nástroje se měří pomocí snímacího zařízení. [4, 10]

### 2.4.1 Externí měření nástrojů

Měření nástrojů mimo stoj se nazývá externí měření. Upínací držák s nástrojem je upnut v adaptéru měřicího zařízení. Při měření se najede pomocí optického kříže snímače na část nástroje, kterou chceme změřit, a příslušná část se zobrazí na obrazovce. Na měřicím zařízení je možno měřit více typů upínacích trnů. Vzdálenost měřeného nástroje se automaticky měří od vrcholového bodu nástroje po referenční bod upínače. Údaje se automaticky uloží do paměti korekcí nástroje nebo se vytisknou přes tiskárnu pro etikety, které je součástí měřicího zařízení, kde jsou vypsány změřené údaje nástroje, které se poté zapíší do CNC stroje jako korekce nástroje. [4]



Obr. 21. Zařízení pro měření nástrojů Zoller. [11]

### 2.4.2 Měření nástrojů ve stroji

Mnohé stroje jsou vybaveny optickým měřicím systémem, který umožňuje měřit nástroj ve stroji. Řezný bod nástroje najede pod vláknový kříž měřicí lupy. Najetím na měřicí kříž se nástroj změní a zapíše do korekcí nástroje. Korekci nástroje je možné zjistit také najetím nástroje na dotek vzorového obrobku. Poté měření probíhá odečtením souřadnic na panelu stroje a zapsáním do korekcí nástroje. [4]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Cílem bakalářské práce bude analýza současného stavu výroby, ve které bude popsáno dočasné fungování provozu stroje a celého pracoviště a následná optimalizace výroby na stroji DMG 100 H, při které budou stěžejní změny v použití paletového systému.

Hlavním cílem je, aby stroj při nachystání obrobků na frézovací paletu stroje obráběl v automatickém režimu při co možná nejvyšší míře bez obslužnosti a v co možná nejkratším čase.

V závěru práce budou zhodnoceny navržená řešení, proveden výpočet návratnosti a popsány další kroky optimalizace daného pracoviště.

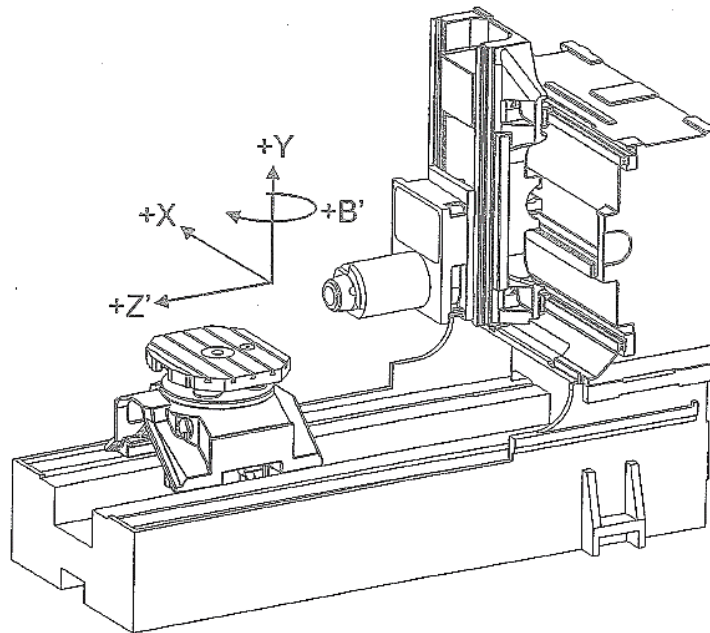
## 4 POPIS STROJE

DMG 100 H je CNC horizontální frézka s paletovým systémem, kterým lze obrábět v automatickém režimu. Stroj disponuje zásobníkem nástrojů, ve kterém jich lze skladovat až 120. Při velkém průměru nástroje musí být vynechána okolní místa v zásobníku nástrojů, aby si nástroje vzájemně neprekážely. Výkon motoru je 0,75kW. Maximální otáčky stroje jsou  $8000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$  a maximální posuv  $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Odvod třísek zajišťují zkosené hrany v obráběcím prostoru a šnekový dopravník třísek.

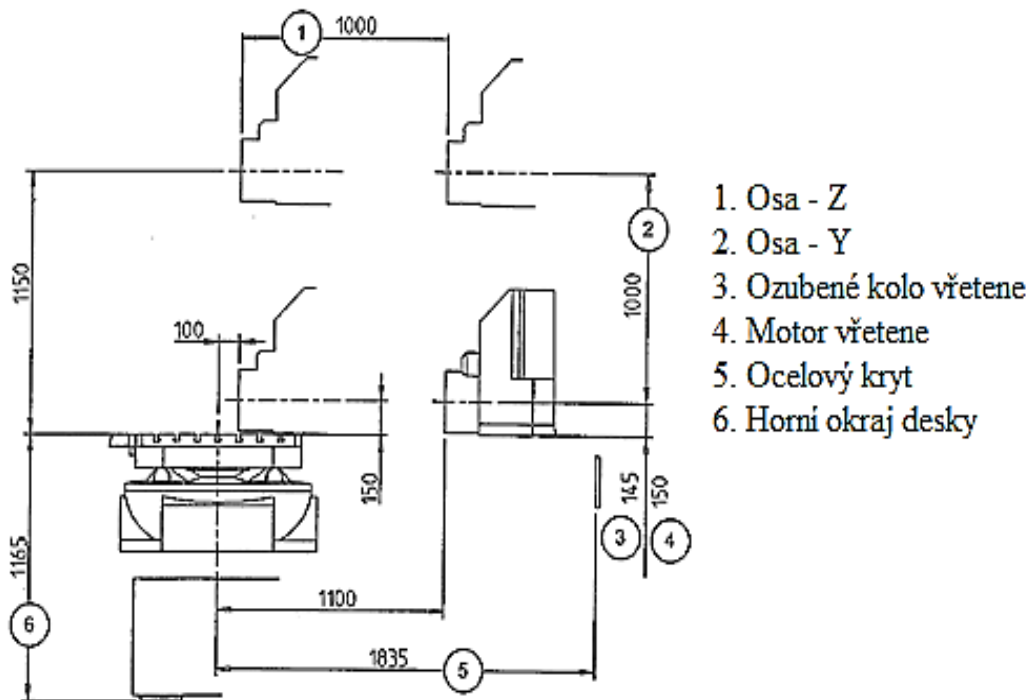


*Obr. 22. Obráběcí centrum DMC 100 H.*

Frézovací rozsah stroje v osách X,Y,Z je 1000 mm a osa rotace B 360°, limity stroje jsou vyobrazeny níže (Obr. 23.). Maximální hodnoty rozjezdů stroje znázorňuje Obr. 24.



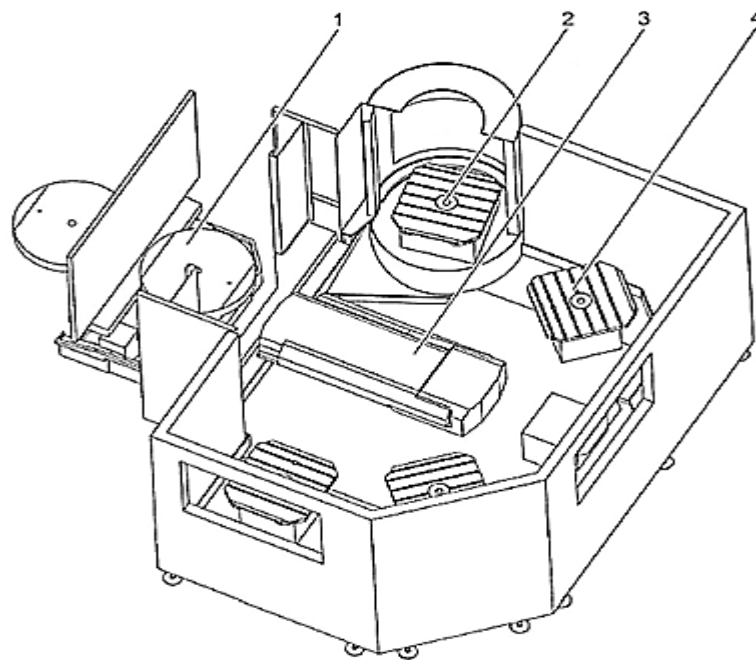
Obr. 23. Limity stroje. [13]



Obr. 24. Rozjezdy CNC stroje. [13]

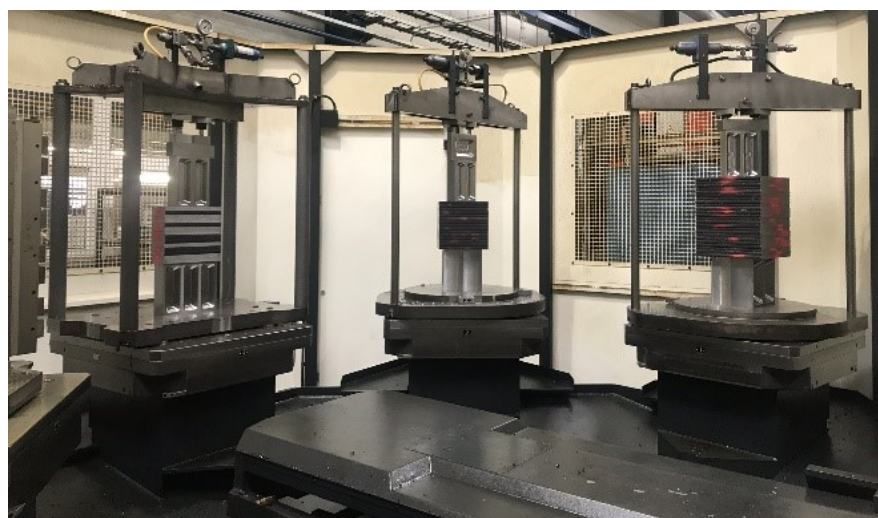
#### 4.1 Paletový prostor stroje

Stroj má k dispozici celkem 12 upínacích přípravků, přičemž 5 jich může být v paletovém prostoru stroje a 1 v obráběcím sektoru. Zbývající přípravky jsou umístěny v určeném prostoru vedle stroje. Je více typů přípravků, protože stoj obrábí různé zakázky, při kterých se používají rozličné přípravky. Výměna palet probíhá v předávacím prostoru. Příslušnou paletu do předávacího prostoru dopraví rotující jednotka.



- |                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| 1. Předávací prostor                 | 3. Rotující jednotka |
| 2. Místo pro manipulaci s přípravkem | 4. Výměnná paleta    |

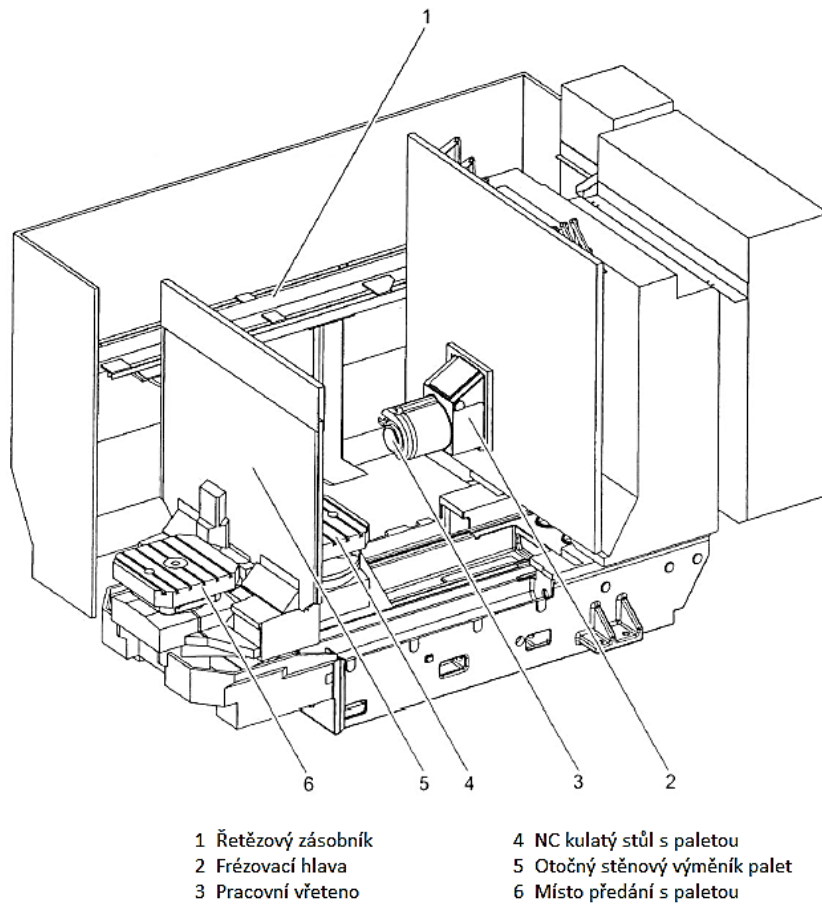
*Obr. 25. Schéma paletového prostoru stroje. [13]*



*Obr. 26. Paletový prostor stroje.*

## 4.2 Otočný stěnový výměník palet

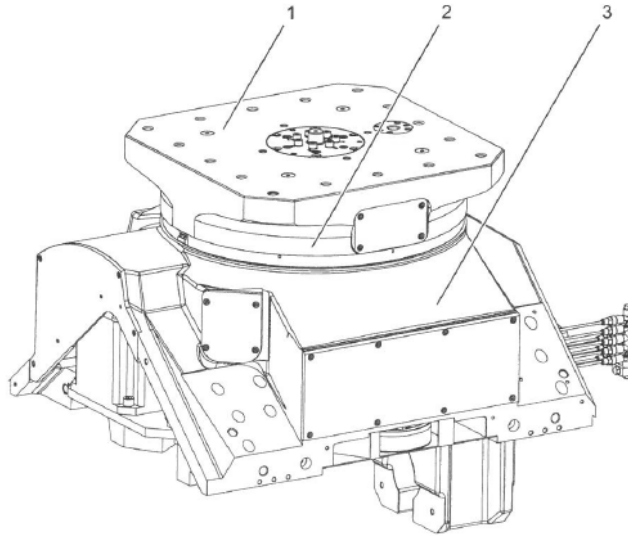
Otočný stěnový výměník palet rozděluje stroj na pracovní (obráběcí) část stroje a paletový prostor a zajišťuje předání palet z paletového prostoru do pracovního prostoru. Při automatickém režimu je paleta s neofrézovanými kusy připravena v oblasti pro předání palet, po dokončení obrábění otočný výměník palet vymění palety s kusy. Ofrézované kusy přemístí do prostoru, kde je obsluha stoje vyskládá na určený vozík.



Obr. 27. Pracovní a výměnná oblast stroje DMG 100 H. [13]

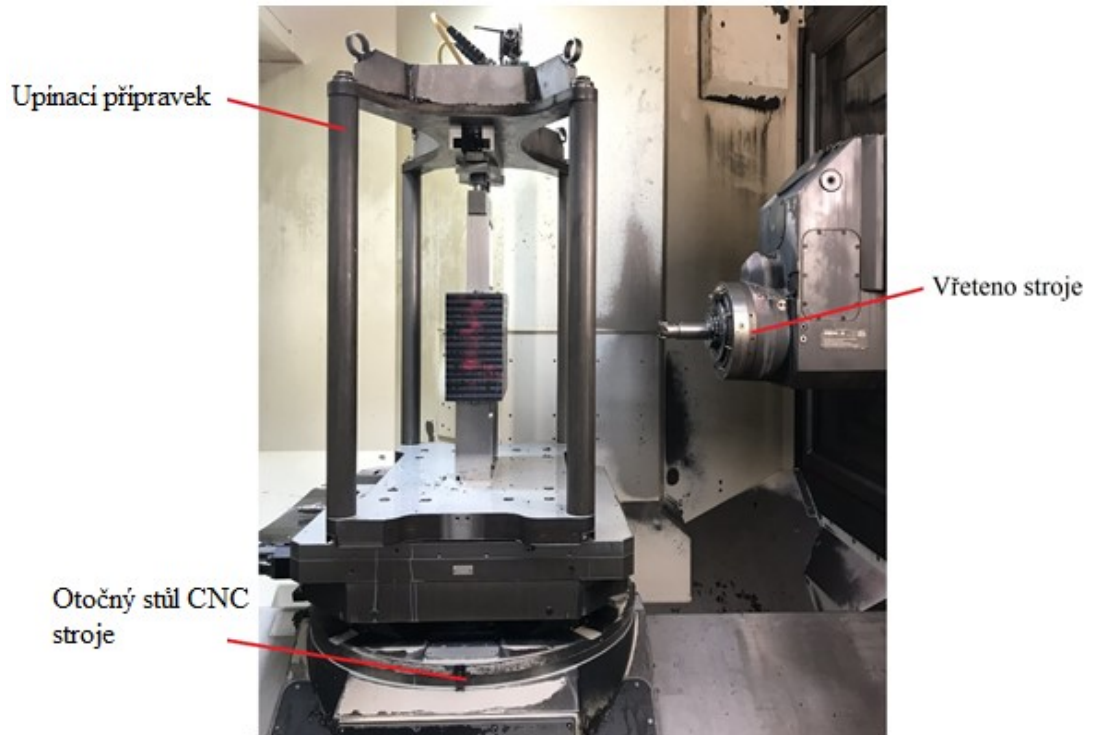
### 4.3 Otočný stůl CNC stroje

Otočný stůl (nosič palet) se nachází v pracovní oblasti stroje. Paleta je usazena na nosiči palet, obrobky pro frézování jsou upnuté v přípravku na paletě a paleta vůči otočnému stolu je upnuta hydraulickým systémem stroje. Otočný stůl disponuje kanálovou hydraulikou. Upnutím zajistíme přesnou polohu palety. Otočný stůl lze otočit do libovolné polohy v rozmezí 0-360°.



1. Paleta 2. Paletový výměník 3. NC stůl

Obr. 28. Otočný stůl CNC stroje. [13]



Obr. 29. Pracovní prostor stroje.

#### 4.4 Upínací hydraulické zařízení AMFO

Stroj je vybaven hydraulickým upínacím systémem AMFO. Ten umožňuje rychlé, snadné a opakovaně přesné upínání přípravků na paletu stroje. Při používání systému AMFO trvá upnutí přípravku na paletu stroje zpravidla několik sekund, tím obsluha stroje ušetří značnou část času.



*Obr. 30. Hydraulický systém AMFO. [13]*



*Obr. 31. Upínací přípravek s AMFO upínáním.*



## 5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY

V kapitole bude popsán současný stav a průběh výroby na stroji. Obsluze stroje je dodán od mistra seznam práce. Seznam obsahuje zakázky, jež mají být obsluhou v daný den vyráběny. Výroba má určitou posloupnost. Tato posloupnost je určena podle termínu dodání zákazníkovi.

DMG													
Rozpis práce na :													
Poznámky:													
Čas	Ks	Datum	Druh	Zakázka	Artikl	PGM	Operace	Materiál	Šířka	Síla	Délka	Jmeno	Poznámka
80	6	8.5	KU	295042	137058A	A	d+m3	7131	330	24	705	Uniemetaal B.V.	m3
90	4	8.5	KU	294712	145021I	A	d+m3+u	7131	300	15	592	Uniemetaal B.V.	m3
75	9	8.5	KU	294715	154039P	A	d+m3+u	7131	300	15	351	Uniemetaal B.V.	m3
145	8	17.5	KU	295152	249440D	A	d+m2	7131	172	26	750	Uniemetaal B.V.	
110	6	17.5	KU	295153	233009J	A	d+m2	7131	197	26	750	Uniemetaal B.V.	
120	6	17.5	KU	295154	241648A	A	d+m2	7131	221	26	750	Uniemetaal B.V.	
50	3	8.5	KU	292145	807009	A	f+d+m2/3	7131	171,8	20	249,8	Uniemetaal B.V.	m2
70	6	8.5	KU	292144	137255I	A	f+d+m3	7131	236,8	20	249,8	Uniemetaal B.V.	m3
55	3	8.5	KU	292146	128723K	A	f+d+m3+u	7131	280	21	296	Uniemetaal B.V.	m3
1010	100	17.5	KU	295158	147883R	A	d+m3+u	7131	299	15	300	Uniemetaal B.V.	m3

Obr. 32. Seznam práce. [13]

Každá zakázka má svoji kartu, tzv. postup práce. Tento postup je ve formátu A4 a obsahuje důležité informace, kterými jsou např.:

1. Číslo zakázky a artiklu, podle kterého se má zakázka vyrábět.
2. Technologický postup s časovou normou
3. Datum expedice a mnoho dalších informací.

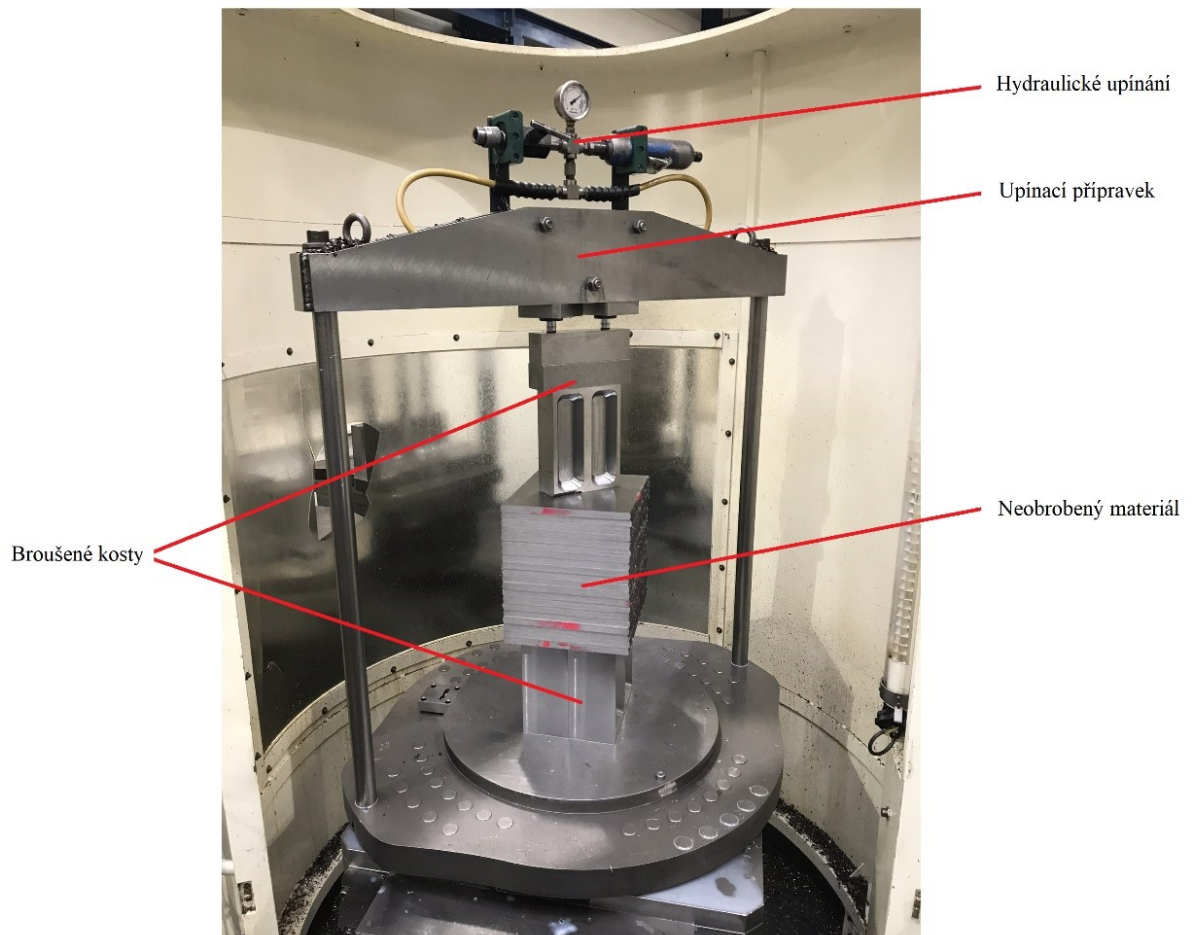
Karta je vytištěna při zadání zakázky a přidělena k příslušnému vozíku s přiděleným materiálem. Po přidělení k materiálu se zakázka řídí podle technologického postupu vypsánoho na kartě.

Č.	Operace/Polozice	Text položky	Výběhový díl	Ser díl	Měr	T.Č šíř	Měr	Mno Počec	Měr	Pou	Man odbi	Posky Přech	SkSt	Str	Mzd nast	Mzd	Úbe	Úbe	Úbe	Fi	Fi	Fi
1	FL7131020003060004100K	509885						27,8	kg		<input type="checkbox"/>			K	0	0	0					
2	A A6020	výdej RM 1.7131 306,00x20,00x4100,0			min		min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 6020		K	0	0	0					
3	A A3113	DE - dělit Kasto 500;na 560+2 x (306			min	3,5	min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 3113		K	3	3	0					
4	A A3112	DE - dělit Kasto 1000, Cross;na 285+			min	6	min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 3112		K	3	3	0					
5	A A3810	ME - jehlit po řezání			min	1,5	min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 3891		K	7	7	0					
6	A A3212	BPV brousit -silu na 16,6 +-0,1;otáč			min	10	min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 3212		K	1	1	0					
7	A A3131	CNC - programování			min		min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 9999		K	0	0	0					
8	A A3136	FV CNC DMC -frézovat ve stohu obvod	11	min	19	min	min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 3136		K	6	6	0					
9	A A3139	FV CNC Matec III - frézovat komplet	35	min	38	min	min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 3139		K	6	6	0					
10	A A3889	ME - jehlit KS díly;pilovat 1x45°, o			min	24	min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 3891		K	7	7	0					
11	A A3893	Značit KS díly;logo + art + OBEN na	10	min	1	min	min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 3850		K	11	11	0					
12	A A3812	RO - rovnat nahotovo			min	4,5	min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 3811		K	7	7	0					
13	A A9999	info při balení postupovat dle det			min		min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 9999		K	0	0	0					
14	A A8021	naskladnění hotových výrobků			min		min	1			<input type="checkbox"/>	Konec 8021		K	0	0	0					

Obr. 33. Technologický postup zakázky. [13]

Níže je v bodech zapsán přesný postup práce, který obsluha stroje vykonává:

1. Zahájení práce:
  - a. Příslušnou práci lze nalézt v seznamu práce.
2. Vyhledání zakázky:
  - a. Konkrétní zakázku lze nalézt díky kartě na vozíku, kde je vypsané číslo zakázky a artikl. Na vozíku jsou kusy, které mají být obsluhou obráběny.
3. Příprava práce:
  - a. Příslušný vozík je dovezen ke stoji, podle druhu zakázky je zvolen vhodný upínací přípravek.
  - b. Pokud přípravek není v paletovém prostoru stroje, musí se přípravek nachystat a pomocí jeřábu upínací přípravek do prostoru stoje přemístit.



*Obr. 34. Upínací přípravek.*

#### 4. Příprava frézování:

- a. Po přemístění upínacího přípravku do paletového prostoru stoje může začít chystání kusů pro frézování. Místo pro chystání kusů se nachází na vyvýšeném pódiu, aby se nemusel každý kus nosit velkou vzdálenost, pro vyzvednutí vozíku s kusy na vyvýšené pódium se používá vysokozdvižný vozík.
- b. Do středu upínacího přípravku vloží broušené kostky jako podklad pro obráběné kusy. Podklad musí být určité výšky, aby nedošlo k zafrézování do přípravku.
- c. Pro lepší zajištění polohy se používají pravítka (dorazy), která se umístí na přípravek, a po nastavení určité vzdálenosti, která odpovídá rozměru poloviny obrobku, se tím dosáhne vystředění kusů vůči přípravku. Pravítka slouží jako doraz pro skládání kusů do sloupce.
- d. Sloup s kusy má určitý počet kusů, který může být vyskládán na sebe. Tento počet je stanoven programátorem, podle počtu kusů v zakázce a rozměru polotovaru. Počet kusů, které lze vyskládat do sloupu, je zapsán v seřizovacím listu.
- e. Následuje vložení broušených kostek na frézované kusy a stlačení hydraulikou.

#### 5. Frézování:

- a. Po vykonání předešlého je od řídicího panelu paleta přemístěna do frézovacího prostoru.
- b. Následuje stanovení nulového bodu obrobku, který je stanoven programátorem, při vytváření programu. Uvedený bod je graficky znázorněn pomocí osového kříže v seřizovacím listu.
- c. Nulový bod obrobku je stanoven obsluhou dotykovou sondou, která je součástí stroje.
- d. Následuje úprava programu, změření přibližné hodnoty pomocí metru, může nastat, že kusy jsou nařezány v různých délkách, což způsobuje větší přírůstek na obrábění, se kterým nebylo počítáno. Musí být přidány dráhy na nástroji, kdyby nebyly, nástroj by frézoval příliš velkou třísku a mohl by se zničit.

- e. Karta zakázky obsahuje technickou dokumentaci. Z výkresu dílce jsou zjištěny tolerované míry. Podle těchto tolerovaných rozměrů je do programu zapísána obsluhou délková a rádiusová korekce nástroje a jsou upraveny otáčky podle materiálu, který se bude obrábět.
6. Dokončení frézování:
- a. Po ofrézování kusu jsou změřeny tolerované míry.
  - b. Korekce nástroje je změněna tak, aby byla tolerovaná míra na střed tolerance a šlichtovací nástroje ofrézují obrobek na střed tolerance při optimalizovaných korekcích nástroje.
  - c. Následuje přemístění palety z obráběcího prostoru stroje do paletového prostoru, kde jsou ofrézované kusy vyskládány zpátky na vozík.

## 1.1 Původní frézovací program

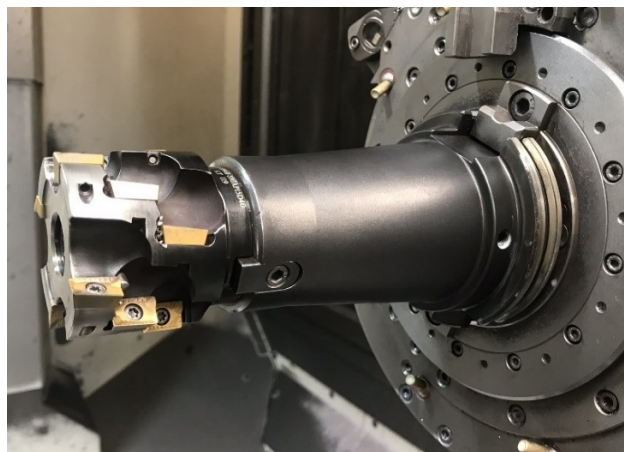
Čelní fréza DIJET s průměrem 66 mm vyhrubuje plochy obrobku. Čelní fréza SECO s průměrem 80 mm ofrézuje plochy obrobku na hotovou míru. Nástroj PRAMET s průměrem 63 mm vyfrézuje vybrání obrobku. Celkový čas obrábění je 81:59 minut.

Tab. 2. Hodnoty původní verze programu

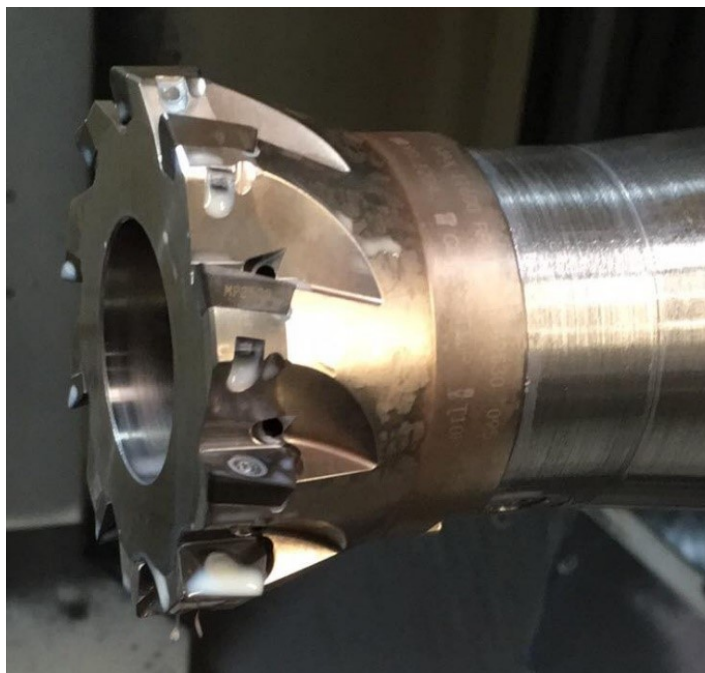
Frézovací program 1. verze			
Nástroj	Otáčky (ot·min <sup>-1</sup> )	Posuv (mm·min <sup>-1</sup> )	Frézovací čas (min)
Čelní fréza DIJET D-66 R8	1317	5200	46:14
Čelní válcová fréza PRANMET D-63	1000	600	15:54
Čelní fréza SECO D-80	1300	700	19:42
Celkový frézovací čas			81:59



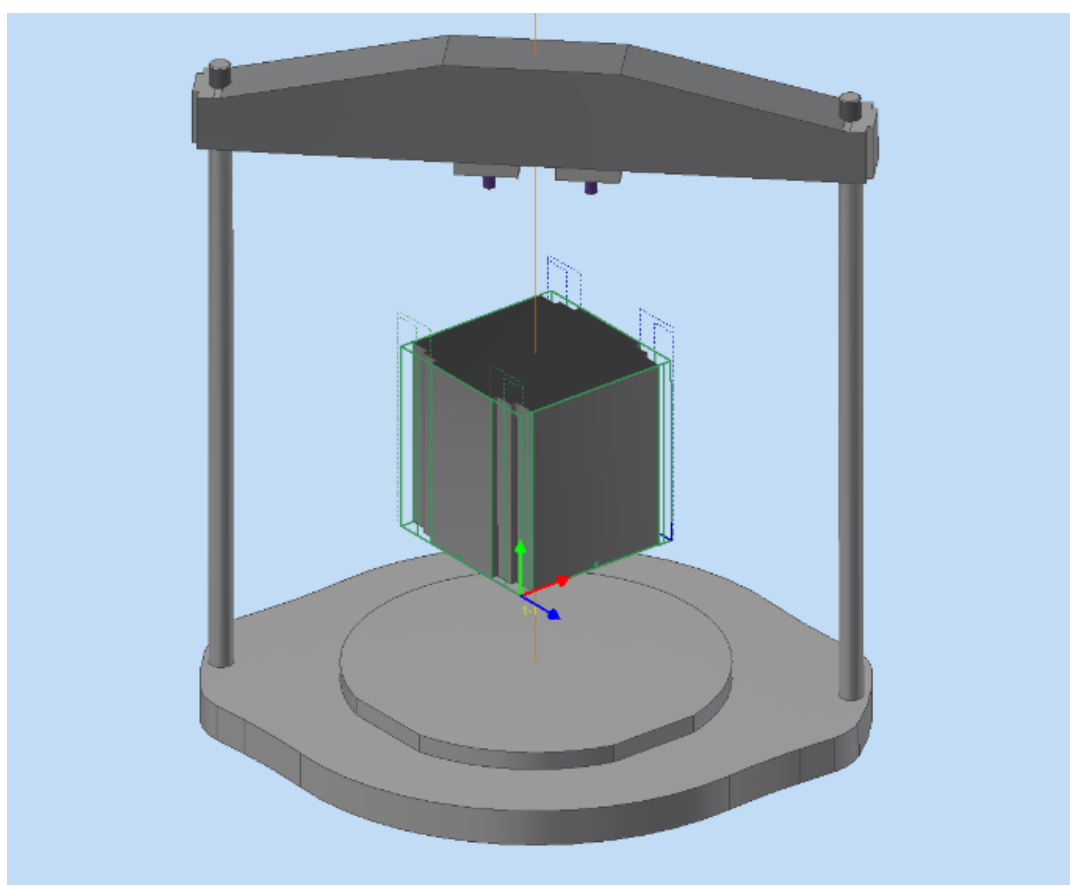
Obr. 35. Čelní fréza DIJET D-66 R8.



Obr. 36. Čelní válcová fréza PRAMET D-63.



*Obr. 37. Válcová fréza D-80 SECO.*



*Obr. 38. Model pro obrábění. [13]*

## 1.2 Návrh frézovacího programu 1. verze

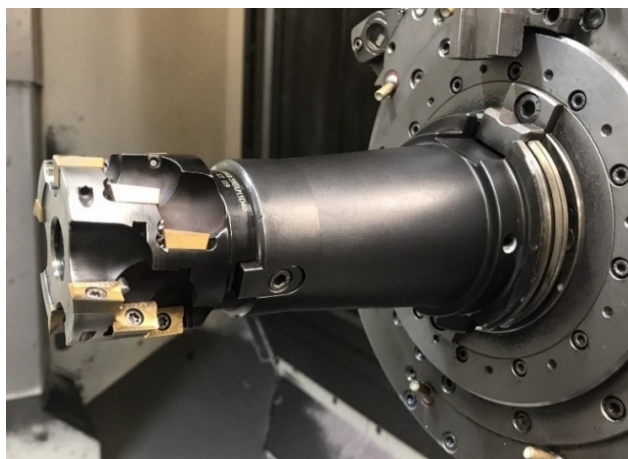
Oproti původní verzi byla odebrána válcová fréza SECO a nahrazena válcovou frézou PRAMET s průměrem 66 mm, která frézuje výsledné vybrání i celkové plochy obrobku. Hrubovací nástroj DIJET zůstává stejný. Při nahrazení nástroje SECO ubyla výměna nástroje a ušetřen čas programu.

Tab. 3. Hodnoty programu 1. verze



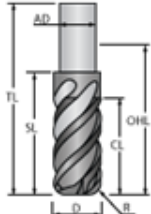


Stávající program			
Nástroj	Otáčky (ot·min <sup>-1</sup> )	Posuv (mm·min <sup>-1</sup> )	Frézovací čas (min)
Čelní fréza DIJET D-66 R-8	1317	5200	46:14
Válcová fréza PRANMET D-63	1300	700	31:30
Celkový frézovací čas			77:55



Obr. 39. Čelní fréza DIJET D-66 R8.



Obr. 40. Čelní válcová fréza PRAMET D-63.

		Nastavení projektu pro:			MS	
		147883_1_MOR_SDMC_2				
Jednotky	mm					
Typ obrobku	Frézování					
CNC-řízení	M4_Sin840D_DMC100H_Preciz					
Číslo programu	5000					
Subroutine number	1					
Adaptér nástroje	BT40					
Obráběný materiál						
Operace	21					
POZOR	hrany a hloubky dolad' dle TP řezné podmínky dle tab. OHN					
	sloup 20 ks					
Velikost polotovaru	X:313.1 Y:317.1 Z:314.215					
Model	P:\Dokumenty\VYROBA\PGM\CAM\PROJEKT\KS NDR\147883_1_MOR_S.iam					
Adresář	P:\Dokumenty\VYROBA\PGM\CAM\PROJEKT\KS NDR\147883_1_MOR_SDMC_TEST.PRT					
Poznámky k obrobku						
Název projektu	147883_1_MOR_SDMC_TEST					
X min	X max	Y min	Y max	Z min	Z max	
-293.327	305.129	-39.6	356.7	-306.244	9	
Celkový čas:				1:17:55		
<b>T195-Spindle-1A Popis nástroje: Dijet_66_R8</b>						
				D=66	R=8	Počet zubů: 5
Toroidní fréza - trn_221 ID:195				AD=60	OHL=35	
				SL=10	Cutting time: 0:46:14	
				CL=10	mm	
				TL=50	H=646.1	
<b>T209-Spindle-1A Popis nástroje: Kuku-63-PRAMET</b>						
				D=63	Počet zubů: 4	
Válcová fréza - Weldon_20 ID:209				AD=60	OHL=59	
				SL=50	Cutting time: 0:31:30	
				CL=40	mm	
				TL=89	H=685	
Index	Název operace - (Typ Operace)					
	Nul. Bod	Otáčky Dok.	Posuv XY/Posuv	Posuv Z/Posuv pro Dc	Čas	
	Číslo nástroje		Chlazení nástroje			
	Popis					
	X min	X max	Y min	Y max	Z min	Z max
1	FM_celo_2_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1317	5200	5200	0:06:22	
	195-Spindle-1A					
	12.777	305.129	-39.6	356.7	-287.438	9



Obr. 41. Seřizovací list programu 1. verze 1/3.

2	FM_kant_2_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1317	5200	5200	0:06:21	
	195-Spindle-1A					
	12.638	286.462	-39.6	356.7	-306.244	9
3	FM_celo_1_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1317	5200	5200	0:06:22	
	195-Spindle-1A					
	-287.438	-0.2	-39.6	356.7	-287.438	9
4	F_osazeni_252_C1_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1317	5200	5200	0:03:29	
	195-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	-293.327	23.288	-35	352.1	-293.327	2
5	F_osazeni_251_C1_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1317	5200	5200	0:03:29	
	195-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	-6.89	23.788	-35	352.1	-23.788	2
6	F_osazeni_272_C1_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1317	5200	5200	0:04:00	
	195-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	-258.262	13.3	-35	352.1	-258.262	2
7	FM_kant_1_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1317	5200	5200	0:06:21	
	195-Spindle-1A					
	12.638	286.462	-39.6	356.7	0.2	9
8	F_osazeni_251_C2_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1317	6000	6000	0:03:08	
	195-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	6.888	298.109	-35	352.1	-23.788	2
9	F_osazeni_252_C2_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1317	6000	6000	0:03:08	
	195-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	275.812	298.13	-35	352.1	-293.327	2
10	F_osazeni_272_C2_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1317	6000	6000	0:03:34	
	195-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	41.953	298.15	-35	352.1	-258.262	2
11	FM_celo_2_sl_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1300	700	700	0:03:00	
	209-Spindle-1A					
	96.881	299.1	-37.8	354.9	-203.334	9
12	FM_kant_2_1 - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1300	700	700	0:04:48	
	209-Spindle-1A					
	42.184	256.916	-37.8	354.9	-300.215	9

Obr. 42. Seřizovací list programu 1. verze 2/3.

13	FM_celo_1_sl_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1300	700	700	0:03:00	
	209-Spindle-1A					
	-203.334	0	-37.8	354.9	-203.334	9
14	FM_kant_1_1 - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1300	700	700	0:04:48	
	209-Spindle-1A					
	42.184	256.916	-37.8	354.9	0	9
15	F_osazeni_272_C2_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1300	700	700	0:03:47	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	43.653	286.1	-35	352.1	-256.562	2
16	F_osazeni_251_C2_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1300	700	700	0:02:05	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	8.588	276.1	-35	352.1	-23.988	2
17	F_osazeni_252_C2_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1300	700	700	0:02:05	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	275.612	291.627	-35	352.1	-291.627	2
18	F_osazeni_272_C1_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1300	700	700	0:03:47	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-256.562	13.5	-35	352.1	-256.562	2
19	F_osazeni_252_C1_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1300	700	700	0:02:05	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-291.627	23.488	-35	352.1	-291.627	2
20	F_osazeni_251_C1_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1300	700	700	0:02:05	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-8.59	23.988	-35	352.1	-23.988	2

Obr. 43. Seřizovací list programu 1. verze 3/3.

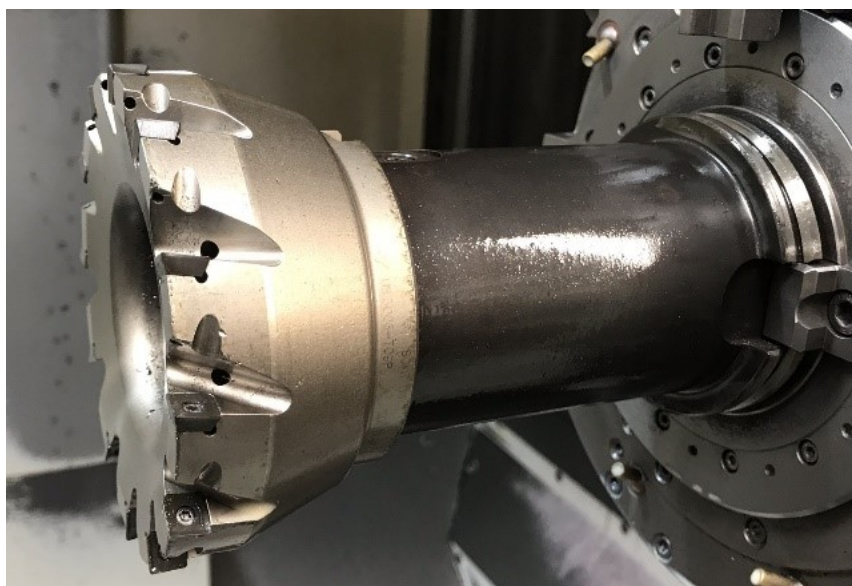
## 5.1 Návrh obráběcího programu 2. verze

Při testování nástroje DIJET bylo zjištěno, že má velký řezný odpor, způsobený velkým poloměrem plátek na nástroji. Při větších řezných podmínkách může docházet ke chvění nástroje a tím pádem k horší jakosti výsledného povrchu obrobku. Proto byl nahrazen čelní válcovou frézou POKOLM s průměrem 52 mm, která využívá hrubovací technologie high feed (rychlořezného posuvu), jenž spočívá ve větším posuvu nástroje a menším úběrem materiálu. Při využití této technologie zajistíme stabilnější upnutí obrobků.

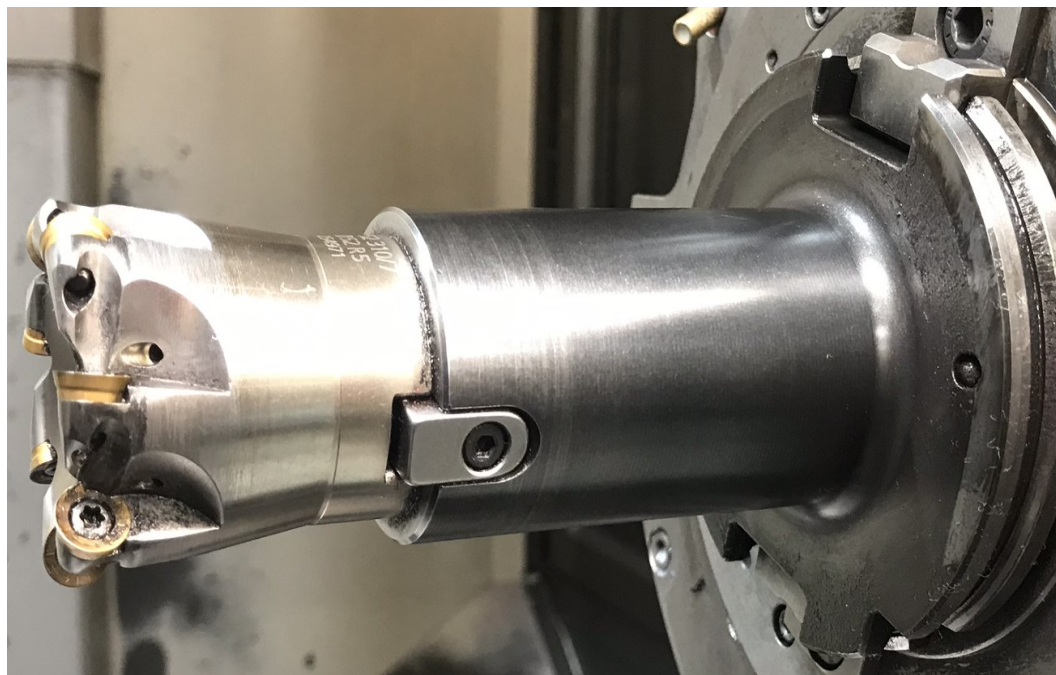
Pro zefektivnění obrábění byla přidána čelní fréza s průměrem 125 mm, která nahrazuje čelní válcovou frézu s průměrem 63 mm při obrábění čelních ploch. Díky nahrazení za větší průměr nástroje má program méně drah nástroje a tím pádem menší čas obrábění. Čelní válcová fréza PRAMET D-63 byla v programu ponechána. Třetí verze programu dosáhla výsledného frézovacího času 65:12 minut.

Tab. 4. Hodnoty programu 2. verze.

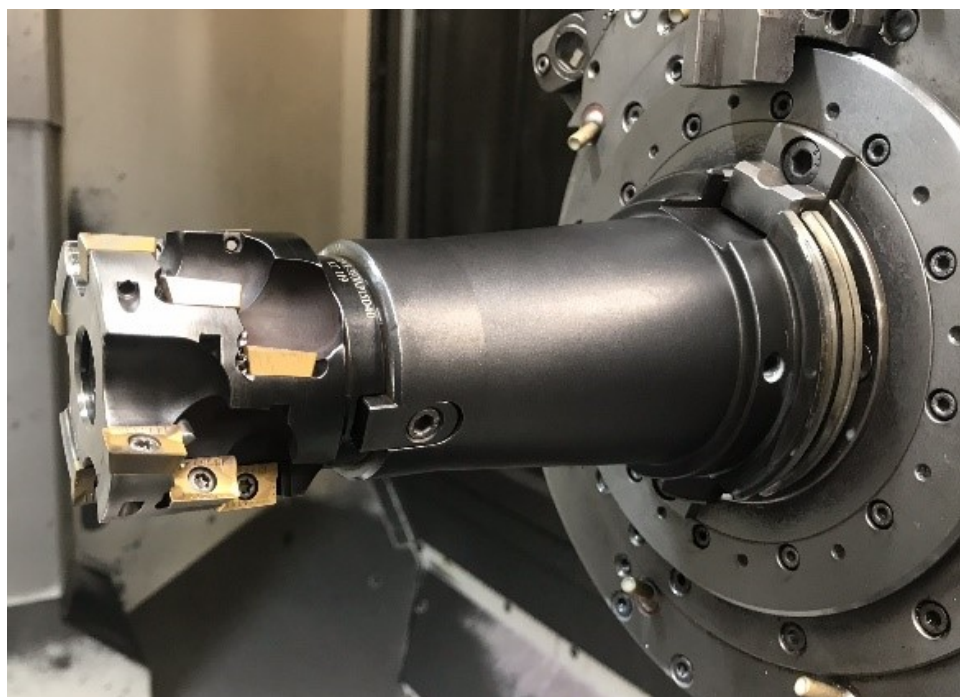
Upravený program			
Nástroj	Otáčky (ot·min <sup>-1</sup> )	Posuv (mm·min <sup>-1</sup> )	Frézovací čas (min)
Čelní fréza PRAMET D-125	1000	1000	08:20
Čelní fréza POKOLM D-52 R-5	1700	6000	41:12
Čelní válcová fréza PRANMET D-63	1300	700	15:30
Celkový frézovací čas			65:12




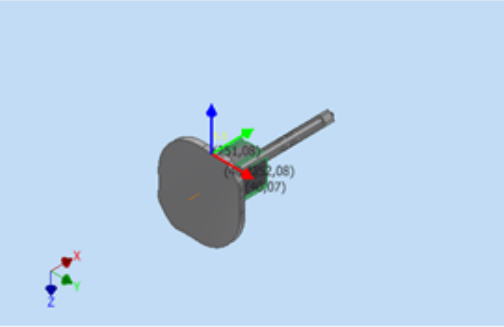

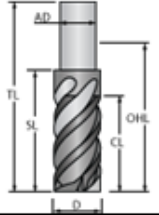

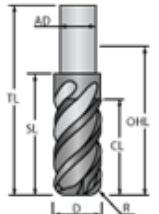

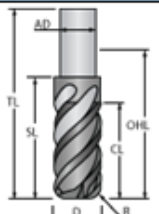
Obr. 44. Čelní fréza PRAMET D-125.



*Obr. 45. Čelní fréza POKOLM D-52 R-5.*



*Obr. 46. Čelní válcová fréza PRANMET D-63 .*

		Nastavení projektu pro:			MS	
		147883_MOR_1OP_SDMC_3				
Jednotky	mm					
Typ obrobku	Frézování					
CNC-řízení	M4_Sin840D_DMC100H_Preciz					
Číslo programu	5000					
Subroutine number	1					
Adaptér nástroje	BT40					
Obráběný materiál						
Operace	21					
POZOR	hrany a hloubky dolad' dle TP					
	řezné podmínky dle tab. OHN					
	sloup 20 ks					
Velikost polotovaru	X:314.18 Y:304 Z:313.1					
Model	P:\Dokumenty\VYROBA\PGM\CAM\PROJEKT\KS NDR\147883_MOR_sloup.ipt					
Adresář	P:\Dokumenty\VYROBA\PGM\CAM\PROJEKT\KS NDR\147883_MOR_1OP_SDMC.PRT					
Poznámky k obrobku						
Název projektu	147883_MOR_1OP_SDMC					
X min	X max	Y min	Y max	Z min	Z max	
-260.185	306.209	-63.5	367.5	-305.129	9	
				Celkový čas:	1:05:12	
<b>T209-Spindle-1A Popis nástroje: Kuku-63-PRAMET</b>						
				D=63	Počet zubů: 4	
Válcová fréza - Weldon_20 ID:209				AD=60		
				OHL=59		
				SL=50		
				CL=40	Cutting time: 0:15:30	
				TL=89	H=685	mm
<b>T211-Spindle-1A Popis nástroje: Freza-125-pramet</b>						
				D=125	R=0.8	Počet zubů: 12
Toroidní fréza - trn_227 ID:211				AD=90		
				OHL=61		
				SL=21		
				CL=9.5	Cutting time: 0:08:20	
				TL=61	H=689.1	mm
<b>T238-Spindle-1A Popis nástroje: Pokolm_52_R5</b>						
				D=51.95	R=5	Počet zubů: 7
Toroidní fréza - trn_221 ID:238				AD=51		
				OHL=35		
				SL=10		
				CL=10	Cutting time: 0:41:12	
				TL=50	H=646.1	mm

Obr. 47. Seřizovací list programu 2. verze 1/3.

Index	Název operace - (Typ Operace)					
	Nul. Bod	Otáčky Dok.	Posuv XY/Posuv	Posuv Z/Posuv pro Dc	Čas	
	Číslo nástroje	Chlazení nástroje				
	Popis					
	X min	X max	Y min	Y max	Z min	Z max
1	FM_celo_2_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1700	6000	6000	0:05:48	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	13.031	306.209	-31.17	335.17	-286.069	9
2	FM_kant_2_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1700	6000	6000	0:05:48	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	13.151	287.029	-31.17	335.17	-305.129	9
3	F_osazení_252_K2_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1700	6000	6000	0:02:58	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	13.893	286.287	-30	334	-298.129	2
4	F_osazení_251_K2_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1700	6000	6000	0:02:58	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	13.923	286.257	-30	334	-298.108	2
5	F_osazení_272_K2_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1700	6000	6000	0:03:23	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	48.923	251.257	-30	334	-298.15	2
6	FM_celo_1_hr_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1700	6000	6000	0:05:10	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	-260.185	-0.2	-31.17	335.17	-260.185	9
7	FM_kant_1_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1700	6000	6000	0:05:48	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	13.151	287.029	-31.17	335.17	0.2	9
8	F_osazení_251_K1_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1700	6000	6000	0:02:58	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	13.923	13.925	-30	334	-23.81	2
9	F_osazení_252_K1_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1700	6000	6000	0:02:58	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	286.285	286.287	-30	334	-23.31	2
10	F_osazení_272_K1_ - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1700	6000	6000	0:03:23	
	238-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Proud vzduchu vřetenem				
	48.923	251.147	-30	334	-13.3	2

Obr. 48. Seřizovací list programu 2. verze 2/3.

11	FM_kant_1_sl_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1000	1000	1000	0:01:43	
	211-Spindle-1A					
	104.223	195.847	-63.5	367.5	0	9
12	FM_celo_2_1 - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	1000	1000	1000	0:02:27	
	211-Spindle-1A					
	43.525	300.18	-63.5	367.5	-255.575	9
13	FM_kant_2_sl_ - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1000	1000	1000	0:01:43	
	211-Spindle-1A					
	104.223	195.957	-63.5	367.5	-299.1	9
14	FM_celo_1_1 - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (4- Poloha)	1000	1000	1000	0:02:27	
	211-Spindle-1A					
	-255.575	0	-63.5	367.5	-255.575	9
15	F_osazeni_251_K1_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1300	700	700	0:02:02	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	8.598	8.6	-35	339	-24.01	2
16	F_osazeni_252_K1_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1300	700	700	0:02:02	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	291.61	291.612	-35	339	-23.51	2
17	F_osazeni_272_K1_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1300	700	700	0:03:41	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	43.598	256.472	-35	339	-13.5	2
18	F_osazeni_252_K2_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1300	700	700	0:02:02	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	8.568	291.612	-35	339	-276.1	2
19	F_osazeni_251_K2_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1300	700	700	0:02:02	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	8.598	291.582	-35	339	-276.1	2
20	F_osazeni_272_K2_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (3- Poloha)	1300	700	700	0:03:41	
	209-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	43.598	256.582	-35	339	-286.1	2

Obr. 49. Seřizovací list programu 2. verze 3/3.

## 6 OPTIMALIZACE VÝROBY

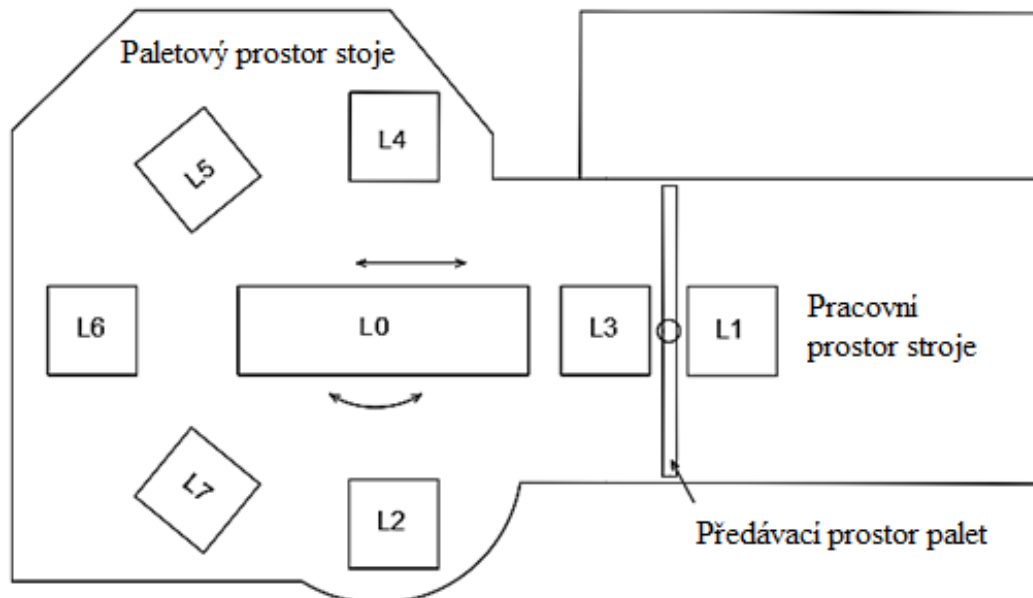
Stroj dokáže obrábět v automatickém režimu. To znamená, že obsluha stroje v čase, kdy stroj obrábí, chystá další díly pro obrábění. Díky tomu výměna dílů probíhá v překrytém čase a ušetří značnou část kapacit stroje.

### 1. Příprava práce

- a. Obsluhou stroje jsou nachystány kusy pro frézování do upínacího přípravku.
- b. Paleta s kusy se přemístí do pracovního prostoru stroje a stanoví se nulový bod dotykovou sondou.

### 2. Automatický režim

- a. Obsluhou stroje se musí naprogramovat stroj pro automatický režim. V případě stejných obráběcích programů je pouze stroji určena priorita (řazení) palet, které si bude automaticky brát z paletového prostoru stroje. Paletový prostor má své schéma, podle kterého se zapíše místo palety.



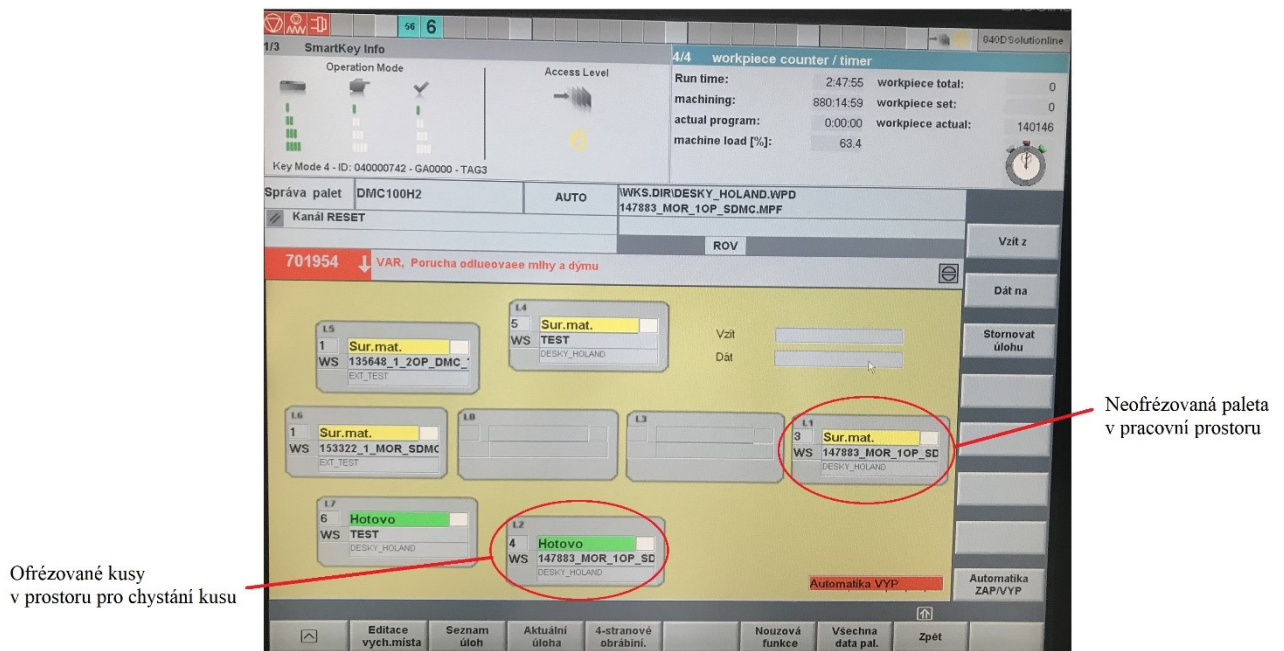
Obr. 50. Schéma rozmístění palet. [13]

- c. Obsluhou stroje je spuštěno frézování první palety s neofrézovanými kusy.
- d. Při frézování první z palet se pohlídá správný nájezd nástroje na pozici a poté se mohou začít chystat další kusy pro frézování.



## 3. Frézování

- a. Stroj frézuje v pracovním prostoru stroje L1 a v místě L2 jsou chystány neobrobené kusy do upínacího přípravku.
- b. Po nachystání kusů zadá obsluha stroje stav palety do CNC systému a přemístí paletu na prázdné místo. Systém stroje paletu označí jako surový materiál. V grafickém zobrazení na obrazovce stroje lze vidět stav palet.



Obr. 51. Schéma paletového systému ve stroji.

- c. V paletovém prostoru je rotující mechanismus L0, jenž zajišťuje transport palet do pracovního (obráběcího) prostoru stroje. Před pracovním prostorem je předávací prostor, který dělí paletový a pracovní prostor a zajišťuje výměnu palet z pracovního prostoru do paletového prostoru stroje.
- d. Obrobenou paletu systém vyhodnotí jako hotovou. Následuje otočení stěnového výměníku palet, který má již nachystanou paletu s neobrobenými kusy, po otočení není potřeba definovat znovu nulový bod obrobku, protože je shodný s předěšlým, stroj zahájí frézování kusů.
- e. Systém vyhodnotí ofrézovanou paletu jako hotovou a přemístí ji do prostoru L2. Kde obsluha stroje vyskládá ofrézované kusy a nachystá další surový materiál pro další frézování.

## 6.1 Zavedení paletového systému.

Paletový systém spočívá v tom, že obsluha stroje nachystá danou práci do více upínacích přípravků. Kusy pro frézování mají stejný přípravek i nulový bod, díky dorazům přípravku budou mít i stejnou polohu. První paletu s přípravkem, na kterém jsou upnuté neobrobené kusy, vyvolá obsluha do pracovního prostoru stroje a pomocí sondy určí nulový bod obrobku, od kterého se vztahují všechny hodnoty CNC programu pro obrábění. Při dodržení všech zásad budou mít všechny přípravky stejný nulový bod. Tím pádem obsluha stroje stanoví nulový bod obrobku pouze na první paletě a ten se bude shodovat s ostatními nulovými body zbývajících obrobků.

Poté obsluha zvolí prioritu obrábění, v jakém pořadí stroj palety bude frézovat. Posledním krokem je spuštění programu, za podmínky, že stroj správně najíždí na určené souřadnice a zahájí frézování, může obsluha stroje odejít nebo začít chystat další práci v oblasti L2 (Obr. 50). Bylo změřeno, že obsluha stroje chystá kusy do frézovacího přípravku průměrně 21 minut. Při využití paletového systému se čas chystání neofrézovaných kusů překrývá s frézováním.

## **7 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH ŘEŠENÍ**

### **7.1 Výběr programu**

Pro zakázku byly vytvořeny 2 verze programů. Z těchto verzí byla vybrána 2. verze, protože má nejkratší čas obrábění. Úspora programu v obráběcím čase je 16:47 minuty pro jeden upínací přípravek, kde je celkem naskládáno 20 kusů obrobků. V této verzi frézovacího programu byla použita nová válcová fréza PRAMET D-125. Jeho pořizovací cena byla 14 700kč má celkem 12 lůžek pro frézovací destičky. Cena jedné destičky je 174kč, destička má celkem 4 hrany, které se po otupení dají otáčet.

### **7.2 Úspora paletového systému**

Použitím paletového systému bylo ušetřeno pro každý sloup s kusy 21 minut.

### **7.3 Celková časová úspora**

Celková časová úspora je 37 minut na jeden sloup, který obsahuje celkem 20 kusů. Firma za rok vyrobí přibližně 1000 kusů dané zakázky. Pro daný počet kusů je časová úspora, při úpravě programu a zavedení paletového systému 30,8 hodiny.

### **7.4 Finanční zhodnocení**

Režijní náklady pro stoj DMH 100 H jsou 1400kč/hod, a tak dosahuje celková úspora při 1000 kusech 43 166kč. Přičemž takhle finanční úspora je pouze pro danou zakázku. Při využití paletového systému pro více zakázek bude finální úspora mnohem vyšší.

### **7.5 Další plánované kroky optimalizace daného pracoviště**

Aplikace modulu sonda systému InventorCAM do procesu obrábění (pro eliminaci chybovosti, snížení podílu lidské práce a zvýšení produktivity). V době dokončení bakalářské práce bylo zavedení modulu sonda ve fázi schvalování investice vedení firmy.

### 7.5.1 Popis funkce modulu sonda

Obsluha stroje nachystá dílec/dílce do upínacího přípravku dle seřizovacího listu, vyvolá program a zahájí obrábění. Před zahájením obrábění se zahájí cyklus měření polotovaru (soustavy) sondou, měřicí sonda najede pod úroveň sloupu v definované vzdálenosti, posuv sondy ve vertikálním směru směrem nahoru, pokud nedojde k dotyku s polotovarem, sonda se přiblíží o daný krok a proces měření se opakuje. Jakmile dotek sondy najede do materiálu, sonda se v daném místě zastaví a naměřenou hodnotu zapíše do paměti. Poté pokračuje dále v pohybu směrem nahoru, narazí-li na další materiál, porovná hodnoty a větší zapíše do tabulky.

Podarí se tedy zaznamenat nejvyšší místo soustavy polotovaru, cyklus stroje automaticky upraví dráhy pro obrábění a obrábění se zahájí optimálně vzhledem k definici. Tedy bude-li polotovar větší než zadaný programátorem, automaticky se doplní hrubovací operace, bude-li polotovar menší než definovaný, hrubovací operace se automaticky sníží o například jeden přejezd, aby nedocházelo k obrábění na prázdno.

Obsluha stroje v průběhu procesu obrábění neprovádí pozastavení programu a kontrolní měření před dokončovací operací. Měření je prováděno sondou, kterou předem programátor naprogramoval. Měřené hodnoty budou viditelné na panelu stroje a obsluha musí zahájení dalšího kroku potvrdit.

Obsluha stroje po dokončení obrábění díl neměří (základní hodnoty). Měření provede sonda, hodnoty budou viditelné na panelu stroje. Poté je dílec přesunut na další operace na zodpovědnost obsluhy stroje.

### 7.5.2 Manipulační přípravek pro rychlé a snadné vyskládání obrobených kusů z paletového prostoru

Obsluze stroje díky manipulačnímu přípravku odpadne zdlouhavé a fyzicky náročné vyskládání obrobených kusů z paletového systému. Nově dojde k přemístění kusů naráz v jednom balíku. Úspora času a fyzické náročnosti práce na daném pracovišti.

V době dokončení bakalářské práce bylo zavádění manipulačního přípravku ve fázi výběrového řízení (konstrukční zpracování a výroba).

## ZÁVĚR

Výsledkem této bakalářské práce je optimalizace a automatizace použití paletového systému a zefektivnění výrobního procesu na CNC horizontální fréze ve společnosti PRECIZ s.r.o.

Při zkrácení času výroby kusů byl upraven frézovací program součásti. Práce obsahuje dva různé návrhy. Pro finální výrobu byla použita 3. verze programu, která snížila obráběcí čas z původních 81:59 minuty na obráběcí čas 65:12 minuty. Vše díky novým obráběcím nástrojům, využívající technologie high feed (vysokorychlostního úběru) a většímu průměru jednoho z nástrojů. Nová verze programu snížila obráběcí čas o 16:47 minuty na jeden sloup v přípravku, který obsahuje 20 kusů.

Optimalizace práce paletového systému setří značnou část kapacity stoje, výroba je efektivnější a produktivnější. Při využití paletového systému stroj frézuje v automatickém režimu. V čase, kdy stroj obrábí, obsluha stoje chystá další kusy pro frézování. Tudíž výměna dílů probíhá v překrytém čase a šetří značnou část kapacit stoje. Dochází tak k časovým úsporám v průměru 21 minut na jednu paletu.

Firma za rok vyrobí přibližně 1000 kusů obrobků dané zakázky. Při takovém množství je časová úspora 30,8 hodiny. Celková finanční úspora je tedy 43 166kč. Zhodnocení je pouze pro jednu zakázku. Při optimálním využití paletového systému pro většinu zakázek tak dosáhneme výrazných úspor.

K celému procesu optimalizace a zefektivnění (v co největší možné míře bezobslužné) výroby na daném pracovišti přispěje výraznou měrou dokončení rozpracovaných změn viz kapitola 7.5.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obránění, tváření a nástroje. Brno: CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [2] KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [3] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. Strojírenská technologie 3 - 1. díl: Metody, stroje a nástroje pro obrábění. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [4] DILINGER, Josef. Moderní strojírenství: pro školu a praxi. Praha: Europa - Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [5] www.mmspektrum.com [online]. 2013 [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-kompenzacni-pristup-pri-frezovani-poloha-frezy.html>
- [6] Taegutec [online]. , 6 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: [http://www.taegutec.cz/inn-tool/prirucka\\_obraben\\_2114.pdf](http://www.taegutec.cz/inn-tool/prirucka_obraben_2114.pdf)
- [7] NAKOL s.r.o [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://www.nakol.cz/freza-valcova-celni---dlouha-421940-polohrubozuba>
- [8] HUMÁR, Anton. Slinutí karbidy a řezná keramika pro obrábění. Brno: CCB, spol. s r.o., 1995. ISBN 80-85825-10-4.
- [8] TECHNOLOGIE I ZÁKLADNÍ METODY OBRÁBĚNÍ – 1. část. Ust.fme.vutbr [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004 [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obraben/opy-save/zakl\\_met\\_obr/zakl\\_met\\_obr\\_1.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obraben/opy-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf)
- [9] [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/8911/pech%C3%A1%C4%8Dek\\_2009\\_bp.pdf?sequence=1](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/8911/pech%C3%A1%C4%8Dek_2009_bp.pdf?sequence=1)
- [10] ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-207-8.
- [11] Zoller [online]. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.zoller.info/de/produkte/einstellen-messen/bildverarbeitung/pilot-10.html>
- [12] [online]. [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: [https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/13843/mod\\_resource/content/1/4.%20%C5%98EZN%C3%89%20MATERI%C3%81LY.pdf](https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/13843/mod_resource/content/1/4.%20%C5%98EZN%C3%89%20MATERI%C3%81LY.pdf)

[13] Interní materiály firmy

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$V_c$	Řezná rychlost
$n$	Počet otáček vřetene
$D$	Průměr nástroje
$f_z$	Posuv na zub
$V_f$	Velikost posuvu
$Z_{eff}$	Počet efektivních břitů nástroje
$f_n$	Posuv na otáčku
$Q$	Velikost úběru materiálu
$a_e$	Pracovní záběr
$a_p$	Hloubka záběru třísky
$h_m$	Průměrná tloušťka třísky
$k_c$	Měrná řezná síla
$m_c$	Nárůst měrné řezné síly
$k_{c1,1}$	Měrná řezná síla v závislosti $a_p = 1 \text{ mm}$ , $a_e = 1 \text{ mm}$
$P_c$	Výkon vřetene
$P_{mot}$	Výkon motoru
$\eta$	Účinnost
mm	Milimetr
$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Milimetr za minutu
$\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$	Otáčka za minutu
$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	Metr za minutu
min	Mínuta
kč	Koruna česká
%	Procento



---

N	Newton
kW	Kilowatt
CNC	Computer Numeric Control, číslicové řízení počítačem
NC	Numeric control,
Rm	Mez pevnosti v tahu
HB	Tvrdost podle brinella
N/mm <sup>2</sup>	Newton na milimetr čtvereční
°C	Stupeň celsia
°	Stupeň
Fe	Železo
Ni	Nikl
Co	Kobalt
Ti	Titan
HSS	High speed steel, rychle řezná ocel
SK	Slinuté karbidy
KM	Keramické materiály

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Frézování obvodem válcové frézy a frézování čelem čelní frézy.....</i>	13
<i>Obr. 2. Nesousledné a sousledné obvodové frézování. [4].....</i>	14
<i>Obr. 3. Středové frézování. [5].....</i>	14
<i>Obr. 4. Popis základních vzorců pro obrábění. [6].....</i>	16
<i>Obr. 5. Rozdělení frézovacích nástrojů. [4].....</i>	17
<i>Obr. 6. Průběh tepelného zpracování HSS. [1].....</i>	19
<i>Obr. 7. Fréza válcová čelní (HSS). [7].....</i>	19
<i>Obr. 8. Fréza s břitovými destičkami. [4].....</i>	20
<i>Obr. 9. Nedostatky upínání strmým kuželem. [4].....</i>	22
<i>Obr. 10. Upínací systém HSK. [4].....</i>	22
<i>Obr. 11. Frézovací trn horizontální frézky. [4].....</i>	23
<i>Obr. 12. Graf závislosti teplot na špičce nástroje na počtu odvrtných děr. [9].....</i>	24
<i>Obr. 13. Popis CNC stroje. [4].....</i>	26
<i>Obr. 14. Pohon s regulací otáček. [4].....</i>	27
<i>Obr. 15. Pohon posuvu s kuličkovým šroubem. [4].....</i>	28
<i>Obr. 16. Kartézský souřadnicový systém. [10].....</i>	28
<i>Obr. 17. Nulové body souřadnicového systému. [4].....</i>	29
<i>Obr. 18. Přímé odměřování. [4].....</i>	30
<i>Obr. 19. Nepřímé odměřování. [4].....</i>	31
<i>Obr. 20. Inkrementální a absolutní odměřování. [4].....</i>	31
<i>Obr. 21. Zařízení pro měření nástrojů Zoller. [11].....</i>	32
<i>Obr. 22. Obráběcí centrum DMC 100 H. ....</i>	35
<i>Obr. 23. Limity stroje. [13].....</i>	36
<i>Obr. 24. Rozjezdy CNC stroje. [13].....</i>	36
<i>Obr. 25. Schéma paletového prostoru stroje. [13].....</i>	37
<i>Obr. 26. Paletový prostor stroje. ....</i>	37
<i>Obr. 27. Pracovní a výměnná oblast stroje DMG 100 H. [13].....</i>	38
<i>Obr. 28. Otočný stůl CNC stroje. [13].....</i>	39
<i>Obr. 29. Pracovní prostor stroje. ....</i>	39
<i>Obr. 30. Hydraulický systém AMFO. [13].....</i>	40
<i>Obr. 31. Upínací přípravek s AMFO upínáním. ....</i>	40
<i>Obr. 32. Seznam práce. [13].....</i>	41

<i>Obr. 33. Technologický postup zakázky. [13]</i> .....	41
<i>Obr. 34. Upínací přípravek</i> .....	42
<i>Obr. 35. Čelní fréza DIJET D-66 R8</i> .....	45
<i>Obr. 36. Čelní válcová fréza PRAMET D-63</i> .....	45
<i>Obr. 37. Válcová fréza D-80 SECO</i> .....	46
<i>Obr. 38. Model pro obrábění. [13]</i> .....	46
<i>Obr. 39. Čelní fréza DIJET D-66 R8</i> .....	47
<i>Obr. 40. Čelní válcová fréza PRAMET D-63</i> .....	47
<i>Obr. 41. Seřizovací list programu 1. verze 1/3</i> .....	49
<i>Obr. 42. Seřizovací list programu 1. verze 2/3</i> .....	49
<i>Obr. 43. Seřizovací list programu 1. verze 3/3</i> .....	50
<i>Obr. 44. Čelní fréza PRAMET D-125</i> .....	51
<i>Obr. 45. Čelní fréza POKOLM D-52 R-5</i> .....	52
<i>Obr. 46. Čelní válcová fréza PRANMET D-63</i> .....	52
<i>Obr. 47. Seřizovací list programu 2. verze 1/3</i> .....	53
<i>Obr. 48. Seřizovací list programu 2. verze 2/3</i> .....	54
<i>Obr. 49. Seřizovací list programu 2. verze 3/3</i> .....	55
<i>Obr. 50. Schéma rozmístění palet. [13]</i> .....	56
<i>Obr. 51. Schéma paletového systému ve stroji</i> .....	57

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Hodnoty <math>v_c</math> v mm/min a <math>s_z</math> v mm/břit frézy pro frézu .....</i>	15
<i>Tab. 2. Hodnoty původní verze programu .....</i>	45
<i>Tab. 3. Hodnoty programu 1. verze .....</i>	47
<i>Tab. 4. Hodnoty programu 2. verze. ....</i>	51