



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A  
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

# NÁVRH DVOUOSÉ AUTOMATICKÉ UNIVERZÁLNÍ FRÉZOVACÍ HLAVY OSAZENÉ ELEKROVRETENEM S APLIKACÍ POHONU HARMONIC-DRIVE

DESIGN OF UNIVERSAL CUTTER HEAD WITH HARMONIC-DRIVE APPLICATION

## PŘÍLOHA DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. JAROMÍR UHLÍŘ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MICHAL HOLUB

BRNO 2010

# Obsah

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Výpočet zátěžného spektra univerzální frézovací hlavy</b> | <b>2</b>  |
| 1.1 Pracovní cyklus: maximální zatížení                         | 2         |
| 1.1.1 Ocel                                                      | 2         |
| 1.1.2 Hliník                                                    | 4         |
| 1.2 Pracovní cyklus: Střední obrábění                           | 6         |
| 1.2.1 Ocel                                                      | 6         |
| 1.2.2 Litina GG30                                               | 8         |
| 1.2.3 Hliník                                                    | 10        |
| 1.3 Pracovní cyklus: Dokončovací operace                        | 12        |
| 1.3.1 Ocel                                                      | 12        |
| 1.3.2 Litina GG30                                               | 14        |
| 1.3.3 Hliník                                                    | 16        |
| 1.4 Pracovní cyklus: Vrtání                                     | 18        |
| 1.4.1 Ocel                                                      | 18        |
| 1.4.2 Hliník                                                    | 20        |
| <b>2. Výpočet pohonů osy C</b>                                  | <b>22</b> |
| 2.1 Vstupní údaje                                               | 22        |
| 2.2 Výpočet                                                     | 23        |
| 2.3 Volba pohonu                                                | 33        |

Pozn.: Všechny výpočty obsažené v příloze této diplomové práce byly vytvořeny pomocí programu Mathcad 14.

## 1. Výpočet zátěžného spektra univerzální frézovací hlavy

### 1.1 Pracovní cyklus: Maximální zatížení

#### 1.1.1 Ocel

Zadané hodnoty:

Průměr frézy:  $D_1 := 80 \text{ mm}$

Řezná rychlost:  $v_{c1} := 180 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Posuv na zub:  $f_z := 0.2 \text{ mm}$

Počet zubů:  $z_1 := 10$

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r := 90^\circ$

Úhel posuvového pohybu  $\phi := 90^\circ$

Rozměry třísky  $a_p := 4 \text{ mm}$

$$a_e := \frac{1}{4} \cdot D_1 \text{ mm}$$

Materiál: konstrukční ocel 11 523

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1OCEL} := 1500 \text{ MPa}$

Exponent vlivu tloušťky třísky  $mc := 0.25$

Výpočet:

Jmenovitá tloušťka třísky

$$h_D := \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi) \cdot f_z$$

$$h_D = \sin(90^\circ) \cdot \sin(90^\circ) \cdot 0.2 \text{ mm}$$

$$h_D = 0.2 \text{ mm}$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_{Di}$  pro úhel  $\kappa_r$

$$b_{Di} := \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)}$$

$$b_{Di} = \frac{4 \text{ mm}}{\sin(90^\circ)}$$

$$b_{Di} = 4 \text{ mm}$$

Jmenovitý průřez třísky pro i-tý zub

$$A_{Di} := h_D \cdot b_{Di}$$

$$A_{Di} = 0.2\text{mm} \cdot 4\text{mm}$$

$$A_{Di} = 0.8 \text{ mm}^2$$

Počet zubů v záběru pro čelní frézování

$$\sin(\alpha) = \frac{\frac{a_e}{2}}{\frac{D_1}{2}} = \frac{\frac{20\text{mm}}{2}}{\frac{80\text{mm}}{2}}$$

$$\sin(\alpha) = 0.25$$

$$\alpha = 14^\circ 28'$$

$$\psi = 2 \cdot \alpha$$

$$\psi = 2 \cdot 14^\circ 28'$$

$$\psi := 28^\circ$$

$$n_{z1} := z_1 \cdot \frac{\psi}{360^\circ}$$

$$n_{z1} = 10 \cdot \frac{28^\circ}{360^\circ}$$

$$n_{z1} = 0.778 \quad \text{volím} \quad n_1 := 1$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{cOCELI}$

$$k_{cOCELI} := \frac{k_{c1OCEL}}{(f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi))^{mc}}$$

$$k_{cOCELI} = \frac{1500}{(0.2\text{mm} \cdot \sin(90^\circ) \sin(90^\circ))^{0.25}}$$

$$k_{cOCELI} = 2.243 \times 10^3 \text{ MPa}$$

Výpočet řezné síly při čelním frézování

$$F_{cOCELI} := \sum_{i=1}^{n_1} (k_{cOCELI} \cdot A_{Di})$$

$$F_{cOCELI} = \sum_{i=1}^{n_1} (2.243 \cdot 10^3 \text{ MPa} \cdot 0.8 \text{ mm}^2)$$

$$F_{cOCELI} = 1.794 \times 10^3 \text{ N}$$

Výpočet řezného výkonu pro čelní frézování oceli 11 523

$$P_{cOCELI} := \frac{F_{cOCELI} \cdot v_{c1}}{60}$$

$$P_{cOCELI} = \frac{1.794 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 180 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60}$$

$$P_{cOCELI} = 5.383 \times 10^3 \text{ W}$$

### 1.1.2 Hliník

#### Zadané hodnoty:

Průměr frézy:  $D_3 := 50 \text{ mm}$

Řezná rychlost:  $v_{c3} := 700 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Posuv na zub:  $f_z := 0.15 \text{ mm}$

Počet zubů:  $z_3 := 3$

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r := 90^\circ$

Úhel posuvového pohybu  $\phi := 90^\circ$

Rozměry třísky  $a_p := 6 \text{ mm}$

$$a_e := \frac{2}{3} \cdot D_3 \text{ mm}$$

Materiál: Hliník

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1\text{HLINIK}} := 900 \text{ MPa}$

Exponent vlivu tloušťky třísky  $mc := 0.25$

#### Výpočet:

Jmenovitá tloušťka třísky

$$h_D := \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi) \cdot f_z$$

$$h_D = \sin(90^\circ) \cdot \sin(90^\circ) \cdot 0.15 \text{ mm}$$

$$h_D = 0.15 \text{ mm}$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_{Di}$  pro úhel  $\kappa_r$

$$b_{Di} := \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)}$$

$$b_{Di} = \frac{6 \text{ mm}}{\sin(90^\circ)}$$

$$b_{Di} = 6 \text{ mm}$$

Jmenovitý průřez třísky pro i-tý zub

$$A_{Di} := h_D \cdot b_{Di}$$

$$A_{Di} = 0.15 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm}$$

$$A_{Di} = 0.9 \text{ mm}^2$$

Počet zubů v záběru pro čelní frézování

$$\sin(\alpha) = \frac{\frac{a_e}{2}}{\frac{D_3}{2}} = \frac{\frac{33.3\text{mm}}{2}}{\frac{50\text{mm}}{2}}$$

$$\sin(\alpha) = 0.666$$

$$\alpha = 41^\circ 45'$$

$$\psi = 2 \cdot \alpha$$

$$\psi = 2 \cdot 41^\circ 45'$$

$$\psi = 83^\circ 30'$$

$$\psi := 83.5^\circ$$

$$n_{z3} := z_3 \cdot \frac{\psi}{360^\circ}$$

$$n_{z3} = 3 \cdot \frac{83.5^\circ}{360^\circ}$$

$$n_{z3} = 0.696 \quad \text{volím} \quad n_3 := 1$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{c.HLINIK}$

$$k_{c.HLINIK} := \frac{k_{c1HLINIK}}{(f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi))^{mc}}$$

$$k_{c.HLINIK} = \frac{900}{(0.15\text{mm} \cdot \sin(90^\circ) \sin(90^\circ))^{0.25}}$$

$$k_{c.HLINIK} = 1.446 \times 10^3 \quad \text{MPa}$$

Výpočet řezné síly při čelním frézování

$$F_{c.HLINIK} := \sum_{i=1}^{n_3} (k_{c.HLINIK} A_{Di})$$

$$F_{cHLINIK} = \sum_{i=1}^{n_1} (1.446 \cdot 10^3 \text{MPa} \cdot 0.9\text{mm}^2)$$

$$F_{c.HLINIK} = 1.302 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Výpočet řezného výkonu pro čelní frézování

$$P_{cHLINIK} := \frac{F_{c.HLINIK} v_{c3}}{60}$$

$$P_{cHLINIK} = \frac{1.302 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 700 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60}$$

$$P_{cHLINIK} = 1.518 \times 10^4 \quad \text{W}$$

## 1.2 Pracovní cyklus: Střední obrábění

### 1.2.1 Ocel

#### Zadané hodnoty:

Průměr frézy:  $D_4 := 32 \text{ mm}$

Řezná rychlost:  $v_{c4} := 180 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Posuv na zub:  $f_z := 1.2 \text{ mm}$

Počet zubů:  $z_4 := 3$

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r := 90^\circ$

Úhel posuvového pohybu  $\phi := 90^\circ$

Rozměry třísky  $a_p := 1 \text{ mm}$

$$a_e := \frac{1}{5} \cdot D_4 \text{ mm}$$

Materiál: konstrukční ocel 11 523

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1OCEL} := 1500 \text{ MPa}$

Exponent vlivu tloušťky třísky  $mc := 0.25$

#### Výpočet:

Jmenovitá tloušťka třísky

$$h_D := \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi) \cdot f_z$$

$$h_D = \sin(90^\circ) \cdot \sin(90^\circ) \cdot 1.2 \text{ mm}$$

$$h_D = 1.2 \text{ mm}$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_D$

$$b_{Di} := \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)}$$

$$b_{Di} = \frac{1.1 \text{ mm}}{\sin(90^\circ)}$$

$$b_{Di} = 1 \text{ mm}$$

Jmenovitý průřez třísky pro i-tý zub

$$A_{Di} := h_D \cdot b_{Di}$$

$$A_{Di} = 1.2 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm}$$

$$A_{Di} = 1.2 \text{ mm}^2$$

Počet zubů v záběru pro čelní frézování

$$\sin(\alpha) = \frac{\frac{a_e}{2}}{\frac{D_4}{2}} = \frac{\frac{6.4\text{mm}}{2}}{\frac{32\text{mm}}{2}}$$

$$\sin(\alpha) = 0.2$$

$$\alpha = 11^{\circ}32'$$

$$\alpha = 11.53$$

$$\psi = 2 \cdot \alpha$$

$$\psi = 2 \cdot 11^{\circ}32'$$

$$\psi = 23^{\circ}4'$$

$$\psi := 23.07^{\circ}$$

$$n_{z4} := z_4 \cdot \frac{\psi}{360^{\circ}}$$

$$n_{z4} = 3 \cdot \frac{23.07^{\circ}}{360^{\circ}}$$

$$n_{z4} = 0.192 \quad \text{volím} \quad n_4 := 1$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{cOCELI}$

$$k_{cOCELI} := \frac{k_{c1OCEL}}{(f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi))^{mc}}$$

$$k_{cOCELI} = \frac{1500}{(1.55\text{mm} \cdot \sin(90^{\circ}) \sin(90^{\circ}))^{0.25}}$$

$$k_{cOCELI} = 1.433 \times 10^3 \text{ MPa}$$

Výpočet řezné síly při čelním frézování

$$F_{cOCELI} := \sum_{i=1}^{n_4} (k_{cOCELI} \cdot A_{Di})$$

$$F_{cOCELI} = \sum_{i=1}^{n_4} (1.355 \cdot 10^3 \text{MPa} \cdot 1.8\text{mm}^2)$$

$$F_{cOCELI} = 1.72 \times 10^3 \text{ N}$$

Výpočet řezného výkonu pro čelní frézování oceli 11 523

$$P_{cOCELI} := \frac{F_{cOCELI} \cdot v_{c4}}{60}$$

$$P_{cOCELI} = \frac{2.44 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 180 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60}$$

$$P_{cOCELI} = 5.159 \times 10^3 \text{ W}$$



### 1.2.2 Litina GG30

#### Zadané hodnoty:

Průměr frézy:  $D_5 := 32 \text{ mm}$

Řezná rychlost:  $v_{c5} := 150 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Posuv na zub:  $f_z := 1.3 \text{ mm}$

Počet zubů:  $z_5 := 3$

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r := 90^\circ$

Úhel posuvového pohybu  $\phi := 90^\circ$

Rozměry třísky  $a_p := 1 \text{ mm}$

$$a_e := \frac{1}{5} \cdot D_5 \text{ mm}$$

Materiál: konstrukční litina GG30

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1GG30} := 1400 \text{ MPa}$

Exponent vlivu tloušťky třísky  $m_c := 0.28$

#### Výpočet:

Jmenovitá tloušťka třísky

$$h_D := \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi) \cdot f_z$$

$$h_D = \sin(90^\circ) \cdot \sin(90^\circ) \cdot 1.3 \text{ mm}$$

$$h_D = 1.3 \text{ mm}$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_{Di}$  pro úhel  $\kappa_r$

$$b_{Di} := \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)}$$

$$b_{Di} = \frac{1 \text{ mm}}{\sin(90^\circ)}$$

$$b_{Di} = 1 \text{ mm}$$

Jmenovitý průřez třísky pro i-tý zub

$$A_{Di} := h_D \cdot b_{Di}$$

$$A_{Di} = 1.3 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm}$$

$$A_{Di} = 1.3 \text{ mm}^2$$

Počet zubů v záběru pro čelní frézování

$$\sin(\alpha) = \frac{\frac{a_e}{2}}{\frac{D_5}{2}} = \frac{\frac{21.33\text{mm}}{2}}{\frac{32\text{mm}}{2}}$$

$$\sin(\alpha) = 0.6656$$

$$\alpha = 41^\circ 43'$$

$$\psi = 2 \cdot \alpha$$

$$\psi = 2 \cdot 41^\circ 43'$$

$$\psi = 83^\circ 26'$$

$$\psi := 83.46^\circ$$

$$n_{z5} := z_5 \cdot \frac{\psi}{360^\circ}$$

$$n_{z5} = 3 \cdot \frac{83.46^\circ}{360^\circ}$$

$$n_{z5} = 0.696 \quad \text{volím} \quad n_5 := 1$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{cGG30}$

$$k_{c.GG30} := \frac{k_{c1GG30}}{(f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi))^{mc}}$$

$$k_{c.GG30} = \frac{1400}{(1.7\text{mm} \cdot \sin(90^\circ) \sin(90^\circ))^{0.28}}$$

$$k_{c.GG30} = 1.301 \times 10^3 \quad \text{MPa}$$

Výpočet řezné síly při čelním frézování

$$F_{cGG30} := \sum_{i=1}^{n_5} (k_{c.GG30} \cdot A_{Di})$$

$$F_{cGG30} = \sum_{i=1}^{n_5} (1.207 \cdot 10^3 \text{MPa} \cdot 2.04\text{mm}^2)$$

$$F_{cGG30} = 1.691 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Výpočet řezného výkonu pro čelní frézování litiny GG30

$$P_{cGG30} := \frac{F_{cGG30} \cdot v_{c5}}{60}$$

$$P_{cGG30} = \frac{2.462 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 150 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60}$$

$$P_{cGG30} = 4.228 \times 10^3 \quad \text{W}$$

### 1.2.3 Hliník

#### Zadané hodnoty:

Průměr frézy:  $D_6 := 25 \text{ mm}$

Řezná rychlost:  $v_{c6} := 700 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Posuv na zub:  $f_z := 0.15 \text{ mm}$

Počet zubů:  $z_6 := 3$

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r := 90^\circ$

Úhel posuvového pohybu  $\phi := 90^\circ$

Rozměry třísky  $a_p := 3 \text{ mm}$

$$a_e := \frac{2}{3} \cdot D_6 \text{ mm}$$

Materiál: Hliník

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1\text{HLINIK}} := 900 \text{ MPa}$

Exponent vlivu tloušťky třísky  $mc := 0.25$

#### Výpočet:

Jmenovitá tloušťka třísky

$$h_D := \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi) \cdot f_z$$

$$h_D = \sin(90^\circ) \cdot \sin(90^\circ) \cdot 0.15 \text{ mm}$$

$$h_D = 0.15 \text{ mm}$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_{Di}$  pro úhel  $\kappa_r$

$$b_{Di} := \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)}$$

$$b_{Di} = \frac{3 \text{ mm}}{\sin(90^\circ)}$$

$$b_{Di} = 3 \text{ mm}$$

Jmenovitý průřez třísky pro i-tý zub

$$A_{Di} := h_D \cdot b_{Di}$$

$$A_{Di} = 0.15 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm}$$

$$A_{Di} = 0.45 \text{ mm}^2$$

Počet zubů v záběru pro čelní frézování

$$\sin(\alpha) = \frac{\frac{a_e}{2}}{\frac{D_3}{2}} = \frac{\frac{16.667\text{mm}}{2}}{\frac{25\text{mm}}{2}}$$

$$\sin(\alpha) = 0.666$$

$$\alpha = 41^\circ 45'$$

$$\psi = 2 \cdot \alpha$$

$$\psi = 2 \cdot 41^\circ 45'$$

$$\psi = 83^\circ 30'$$

$$\psi := 83.5^\circ$$

$$n_{z6} := z_6 \cdot \frac{\psi}{360^\circ}$$

$$n_{z6} = 3 \cdot \frac{83.5^\circ}{360^\circ}$$

$$n_{z6} = 0.696 \quad \text{volím} \quad n_6 := 1$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{c.HLINIK}$

$$k_{c.HLINIK} := \frac{k_{c1HLINIK}}{(f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi))^{mc}}$$

$$k_{c.HLINIK} = \frac{900}{(0.15\text{mm} \cdot \sin(90^\circ) \sin(90^\circ))^{0.25}}$$

$$k_{c.HLINIK} = 1.446 \times 10^3 \quad \text{MPa}$$

Výpočet řezné síly při čelním frézování

$$F_{c.HLINIK} := \sum_{i=1}^{n_6} (k_{c.HLINIK} A_{Di})$$

$$F_{cHLINIK} = \sum_{i=1}^{n_6} (1.446 \cdot 10^3 \text{MPa} \cdot 0.45\text{mm}^2)$$

$$F_{c.HLINIK} = 650.777 \quad \text{N}$$

Výpočet řezného výkonu pro čelní frézování

$$P_{cHLINIK} := \frac{F_{c.HLINIK} v_{c6}}{60}$$

$$P_{cHLINIK} = \frac{650\text{N} \cdot 700 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60}$$

$$P_{cHLINIK} = 7.592 \times 10^3 \quad \text{W}$$

## 1.3 Pracovní cyklus: Dokončovací operace

### 1.3.1 Ocel

#### Zadané hodnoty:

|                               |                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------|
| Průměr frézy:                 | $D_7 := 16 \text{ mm}$                      |
| Řezná rychlost:               | $v_{c7} := 260 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ |
| Posuv na zub:                 | $f_z := 0.15 \text{ mm}$                    |
| Počet zubů:                   | $z_7 := 2$                                  |
| Úhel nastavení hlavního ostří | $\kappa_r := 90^\circ$                      |
| Úhel posuvového pohybu        | $\phi := 90^\circ$                          |
| Rozměry třísky                | $a_p := 1 \text{ mm}$                       |
|                               | $a_e := 1 \text{ mm}$                       |

Materiál: konstrukční ocel 11 523

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1OCEL} := 1500 \text{ MPa}$

Exponent vlivu tloušťky třísky  $mc := 0.25$

#### Výpočet:

Jmenovitá tloušťka třísky

$$\begin{aligned}h_D &:= \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi) \cdot f_z \\h_D &= \sin(90^\circ) \cdot \sin(90^\circ) \cdot 0.15 \text{ mm} \\h_D &= 0.15 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_D$

$$\begin{aligned}b_{Di} &:= \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)} \\b_{Di} &= \frac{1 \text{ mm}}{\sin(90^\circ)} \\b_{Di} &= 1 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jmenovitý průřez třísky pro i-tý zub

$$\begin{aligned}A_{Di} &:= h_D \cdot b_{Di} \\A_{Di} &= 0.15 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm} \\A_{Di} &= 0.15 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Počet zubů v záběru pro čelní frézování

$$\sin(\alpha) = \frac{\frac{a_e}{2}}{\frac{D_7}{2}} = \frac{\frac{1\text{mm}}{2}}{\frac{16\text{mm}}{2}}$$

$$\sin(\alpha) = 0.6656$$

$$\alpha = 3^\circ 34'$$

$$\alpha = 3.58^\circ$$

$$\psi = 2 \cdot \alpha$$

$$\psi = 2 \cdot 3^\circ 34'$$

$$\psi = 7^\circ 9'$$

$$\psi := 7.16^\circ$$

$$n_{z7} := z_7 \cdot \frac{\psi}{360^\circ}$$

$$n_{z7} = 2 \cdot \frac{7.16^\circ}{360^\circ}$$

$$n_{z7} = 0.04 \quad \text{volím} \quad n_4 := 1$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{cOCELI}$

$$k_{cOCELI} := \frac{k_{c1OCEL}}{(f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi))^{mc}}$$

$$k_{cOCELI} = \frac{1500}{(0.15\text{mm} \cdot \sin(90^\circ) \sin(90^\circ))^{0.25}}$$

$$k_{cOCELI} = 2.41 \times 10^3 \quad \text{MPa}$$

Výpočet řezné síly při čelním frézování

$$F_{cOCELI} := \sum_{i=1}^{n_4} (k_{cOCELI} \cdot A_{Di})$$

$$F_{cOCELI} = \sum_{i=1}^{n_4} (2.41 \cdot 10^3 \text{MPa} \cdot 0.15\text{mm}^2)$$

$$F_{cOCELI} = 361.543 \quad \text{N}$$

Výpočet řezného výkonu pro čelní frézování oceli 11 523

$$P_{cOCELI} := \frac{F_{cOCELI} \cdot v_{c7}}{60}$$

$$P_{cOCELI} = \frac{361.5\text{N} \cdot 260 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60}$$

$$P_{cOCELI} = 1.567 \times 10^3 \quad \text{W}$$

### 1.3.2 Litina GG30

#### Zadané hodnoty:

|                               |                        |                 |
|-------------------------------|------------------------|-----------------|
| Průměr frézy:                 | $D_8 := 12$            | mm              |
| Řezná rychlost:               | $v_{c8} := 470$        | $\frac{m}{min}$ |
| Posuv na zub:                 | $f_z := 0.139$         | mm              |
| Počet zubů:                   | $z_8 := 2$             |                 |
| Úhel nastavení hlavního ostří | $\kappa_r := 90^\circ$ |                 |
| Úhel posuvového pohybu        | $\phi := 90^\circ$     |                 |
| Rozměry třísky                | $a_p := 0.5$           | mm              |
|                               | $a_e := 0.5$           | mm              |

Materiál: konstrukční litina GG30

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1GG30} := 1400$  MPa

Exponent vlivu tloušťky třísky  $m_c := 0.28$

#### Výpočet:

Jmenovitá tloušťka třísky

$$h_D := \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi) \cdot f_z$$

$$h_D = \sin(90^\circ) \cdot \sin(90^\circ) \cdot 0.139 \text{ mm}$$

$$h_D = 0.139 \text{ mm}$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_{Di}$  pro úhel  $\kappa_r$

$$b_{Di} := \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)}$$

$$b_{Di} = \frac{0.5 \text{ mm}}{\sin(90^\circ)}$$

$$b_{Di} = 0.5 \text{ mm}$$

Jmenovitý průřez třísky pro i-tý zub

$$A_{Di} := h_D \cdot b_{Di}$$

$$A_{Di} = 0.139 \text{ mm} \cdot 0.5 \text{ mm}$$

$$A_{Di} = 0.07 \text{ mm}^2$$

Počet zubů v záběru pro čelní frézování

$$\sin(\alpha) = \frac{\frac{a_e}{2}}{\frac{D_8}{2}} = \frac{\frac{0.5\text{mm}}{2}}{\frac{12\text{mm}}{2}}$$

$$\sin(\alpha) = 0.0416$$

$$\alpha = 2^{\circ}23'$$

$$\psi = 2 \cdot \alpha$$

$$\psi = 2 \cdot 2^{\circ}23'$$

$$\psi = 4^{\circ}46'$$

$$\psi := 4.775^{\circ}$$

$$n_{z8} := z_8 \cdot \frac{\psi}{360^{\circ}}$$

$$n_{z8} = 2 \cdot \frac{4.775^{\circ}}{360^{\circ}}$$

$$n_{z8} = 0.027 \quad \text{volím} \quad n_g := 1$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{cGG30}$

$$k_{c.GG30} := \frac{k_{c1GG30}}{(f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi))^{mc}}$$

$$k_{c.GG30} = \frac{1400}{(0.139\text{mm} \cdot \sin(90^{\circ}) \sin(90^{\circ}))^{0.28}}$$

$$k_{c.GG30} = 2.433 \times 10^3 \quad \text{MPa}$$

Výpočet řezné síly při čelním frézování

$$F_{cGG30} := \sum_{i=1}^{n_g} (k_{c.GG30} \cdot A_{Di})$$

$$F_{cGG30} = \sum_{i=1}^{n_g} (2.433 \cdot 10^3 \text{MPa} \cdot 0.07\text{mm}^2)$$

$$F_{cGG30} = 169.071 \quad \text{N}$$

Výpočet řezného výkonu pro čelní frézování litiny GG30

$$P_{cGG30} := \frac{F_{cGG30} \cdot v_{c8}}{60}$$

$$P_{cGG30} = \frac{169.071\text{N} \cdot 470 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60}$$

$$P_{cGG30} = 1.324 \times 10^3 \quad \text{W}$$



### 1.3.3 Hliník

#### Zadané hodnoty:

Průměr frézy:  $D_g := 12 \text{ mm}$

Řezná rychlost:  $v_{c9} := 630 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Posuv na zub:  $f_z := 0.139 \text{ mm}$

Počet zubů:  $z_g := 2$

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r := 90^\circ$

Úhel posuvového pohybu  $\phi := 90^\circ$

Rozměry třísky  $a_p := 0.5 \text{ mm}$

$a_e := 0.5 \text{ mm}$

Materiál: Hliník

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1\text{HLINIK}} := 900 \text{ MPa}$

Exponent vlivu tloušťky třísky  $m_c := 0.25$

#### Výpočet:

Jmenovitá tloušťka třísky

$$h_D := \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi) \cdot f_z$$

$$h_D = \sin(90^\circ) \cdot \sin(90^\circ) \cdot 0.139 \text{ mm}$$

$$h_D = 0.139 \text{ mm}$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_{Di}$  pro úhel  $\kappa_r$

$$b_{Di} := \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)}$$

$$b_{Di} = \frac{0.5 \text{ mm}}{\sin(90^\circ)}$$

$$b_{Di} = 0.5 \text{ mm}$$

Jmenovitý průřez třísky pro i-tý zub

$$A_{Di} := h_D \cdot b_{Di}$$

$$A_{Di} = 0.139 \text{ mm} \cdot 0.5 \text{ mm}$$

$$A_{Di} = 0.07 \text{ mm}^2$$

Počet zubů v záběru pro čelní frézování

$$\sin(\alpha) = \frac{\frac{a_e}{2}}{\frac{D_3}{2}} = \frac{\frac{0.5\text{mm}}{2}}{\frac{12\text{mm}}{2}}$$

$$\sin(\alpha) = 0.0416$$

$$\alpha = 2^{\circ}23'$$

$$\psi = 2 \cdot \alpha$$

$$\psi = 2 \cdot 2^{\circ}23'$$

$$\psi = 4^{\circ}46'$$

$$\psi := 4.775$$

$$n_{zg} := z_g \cdot \frac{\psi}{360^{\circ}}$$

$$n_{zg} = 3 \cdot \frac{83.5^{\circ}}{360^{\circ}}$$

$$n_{zg} = 1.52 \quad \text{volím} \quad n_g := 2$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{cHLINIK}$

$$k_{cHLINIK} := \frac{k_{c1HLINIK}}{(f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\phi))^m}$$

$$k_{cHLINIK} = \frac{900}{(0.139\text{mm} \cdot \sin(90^{\circ}) \sin(90^{\circ}))^{0.25}}$$

$$k_{cHLINIK} = 1.474 \times 10^3 \quad \text{MPa}$$

Výpočet řezné síly při čelním frézování

$$F_{cHLINIK} := \sum_{i=1}^{n_g} (k_{cHLINIK} A_{Di})$$

$$F_{cHLINIK} = \sum_{i=1}^{n_g} (1.474 \cdot 10^3 \text{MPa} \cdot 0.07\text{mm}^2)$$

$$F_{cHLINIK} = 204.882 \quad \text{N}$$

Výpočet řezného výkonu pro čelní frézování

$$P_{cHLINIK} := \frac{F_{cHLINIK} v_{c9}}{60}$$

$$P_{cHLINIK} = \frac{204.88\text{N} \cdot 630 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60}$$

$$P_{cHLINIK} = 2.151 \times 10^3 \quad \text{W}$$

## 1.4 Pracovní cyklus: Vrtání

### 1.4.1 Ocel

Zadané hodnoty:

Průměr frézy:  $D_{12} := 18 \text{ mm}$

Řezná rychlost:  $v_{c12} := 100 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Posuv na zub:  $f_z := 0.27 \text{ mm}$

Počet zubů:  $z_{12} := 2$

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r := 135^\circ$

Materiál: konstrukční ocel 11 523

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1OCEL} := 1500 \text{ MPa}$

Exponent vlivu tloušťky třísky  $mc := 0.25$

Výpočet:

Posuv na otáčku

$$f := f_z \cdot z_{12}$$

$$f = 0.27 \text{ mm} \cdot 2$$

$$f = 0.54 \text{ mm}$$

Tloušťka třísky

$$h_D := \frac{f}{2} \cdot \sin\left(\frac{\kappa_r}{2}\right)$$

$$h_D = \frac{0.54 \text{ mm}}{2} \cdot \sin\left(\frac{135^\circ}{2}\right)$$

$$h_D = 0.249 \text{ mm}$$

Šířka třísky

$$b_D := \frac{D_{12}}{2 \cdot \sin\left(\frac{\kappa_r}{2}\right)}$$

$$b_D = \frac{18 \text{ mm}}{2 \cdot \sin\left(\frac{135^\circ}{2}\right)}$$

$$b_D = 9.742 \text{ mm}$$

Průřez třísky při vrtání

$$A_D := h_D \cdot b_D$$

$$A_D = 0.249\text{mm} \cdot 9.742\text{mm}$$

$$A_D = 2.43 \text{ mm}^2$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{\text{COCEL}}$

$$k_{\text{COCEL}} := \frac{k_{\text{COCEL}}}{h_D^{mc}}$$

$$k_{\text{COCEL}} = \frac{1500\text{MPa}}{(0.249\text{mm})^{0.25}}$$

$$k_{\text{COCEL}} = 2.122 \times 10^3 \text{ MPa}$$

Výpočet řezné síly při vrtání

$$F_{\text{COCEL}} := k_{\text{COCEL}} \cdot A_D$$

$$F_{\text{COCEL}} = 2.122 \cdot 10^3 \text{MPa} \cdot 2.43\text{mm}^2$$

$$F_{\text{COCEL}} = 5.158 \times 10^3 \text{ N}$$

Výpočet řezného výkonu při vrtání

$$P_{\text{COCEL}} := \frac{F_{\text{COCEL}} \cdot v_{\text{c12}}}{2 \cdot 60}$$

$$P_{\text{COCEL}} = \frac{5.158 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 100 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{2 \cdot 60}$$

$$P_{\text{COCEL}} = 4.298 \times 10^3 \text{ W}$$

Krouticí moment v ose vrtáku

$$M_{\text{COCEL}} := 2 \cdot \frac{F_{\text{COCEL}}}{2} \cdot \frac{D_{12}}{2 \cdot 1000}$$

$$M_{\text{COCEL}} = 2 \cdot \frac{5.158\text{N}}{2} \cdot \frac{18\text{mm}}{2 \cdot 1000}$$

$$M_{\text{COCEL}} = 46.419 \text{ Nmm}$$

### 1.4.2 Hliník

#### Zadané hodnoty:

Průměr frézy:  $D_{14} := 9.5 \text{ mm}$

Řezná rychlost:  $v_{c14} := 396 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Posuv na zub:  $f_z := 0.17 \text{ mm}$

Počet zubů:  $z_{14} := 2$

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r := 135^\circ$

Materiál: Hliník

Měrný řezný odpor materiálu  $k_{c1\text{HLINIK}} := 900 \text{ MPa}$

Exponent vlivu tloušťky třísky  $mc := 0.25$

#### Výpočet:

Posuv na otáčku

$$f := f_z \cdot z_{14}$$

$$f = 0.17 \text{ mm} \cdot 2$$

$$f = 0.34 \text{ mm}$$

Tloušťka třísky

$$h_D := \frac{f}{2} \cdot \sin\left(\frac{\kappa_r}{2}\right)$$

$$h_D = \frac{0.34 \text{ mm}}{2} \cdot \sin\left(\frac{135^\circ}{2}\right)$$

$$h_D = 0.157 \text{ mm}$$

Šířka třísky

$$b_D := \frac{D_{14}}{2 \cdot \sin\left(\frac{\kappa_r}{2}\right)}$$

$$b_D = \frac{9.5 \text{ mm}}{2 \cdot \sin\left(\frac{135^\circ}{2}\right)}$$

$$b_D = 5.141 \text{ mm}$$

Průřez třísky při vrtání

$$A_D := h_D \cdot b_D$$

$$A_D = 0.157 \text{ mm} \cdot 5.141 \text{ mm}$$

$$A_D = 0.808 \text{ mm}^2$$

Výpočet měrné řezné síly  $k_{\text{CHLINIK}}$

$$k_{\text{CHLINIK}} := \frac{k_{\text{c1HLINIK}}}{h_D^{mc}}$$

$$k_{\text{CHLINIK}} = \frac{900 \text{ MPa}}{(0.157 \text{ mm})^{0.25}}$$

$$k_{\text{CHLINIK}} = 1.43 \times 10^3 \text{ MPa}$$

Výpočet řezné síly při vrtání

$$F_{\text{CHLINIK}} := k_{\text{CHLINIK}} A_D$$

$$F_{\text{CHLINIK}} = 1.43 \cdot 10^3 \text{ MPa} \cdot 0.808 \text{ mm}^2$$

$$F_{\text{CHLINIK}} = 1.154 \times 10^3 \text{ N}$$

Výpočet řezného výkonu při vrtání

$$P_{\text{CHLINIK}} := \frac{F_{\text{CHLINIK}} v_{\text{c14}}}{2 \cdot 60}$$

$$P_{\text{CHLINIK}} = \frac{1.154 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 396 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{2 \cdot 60}$$

$$P_{\text{CHLINIK}} = 3.81 \times 10^3 \text{ W}$$

Kroutící moment v ose vrtáku

$$M_{\text{CHLINIK}} := 2 \cdot \frac{F_{\text{CHLINIK}}}{2} \cdot \frac{D_{14}}{2 \cdot 1000}$$

$$M_{\text{CHLINIK}} = 2 \cdot \frac{1154 \text{ N}}{2} \cdot \frac{9.5 \text{ mm}}{2 \cdot 1000}$$

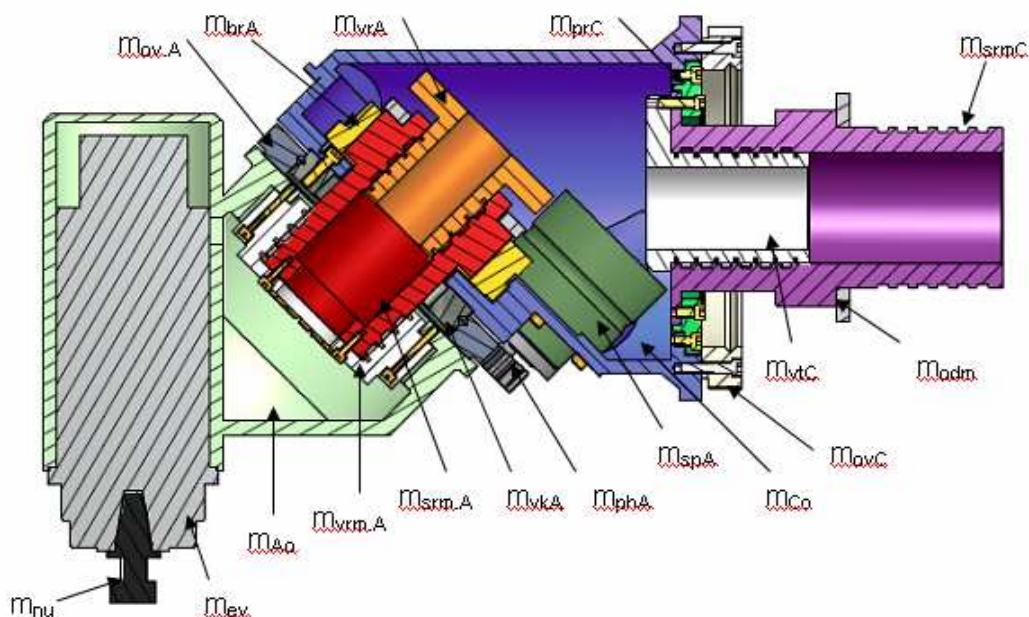
$$M_{\text{CHLINIK}} = 5.484 \text{ Nmm}$$

## 2. Výpočet pohonu osy C

### 2.1 Vstupní údaje

#### Hmotnosti součástí:

|                                                                                      |                     |                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Hmotnost nástroje s upínačem                                                         | $m_{nu} := 0.83$    | Kg                                                                                  |
| Hmotnost elektrovřetene                                                              | $m_{ev} := 55$      | Kg                                                                                  |
| Hmotnost osy A (odlitek)                                                             | $m_{Ao} := 87$      | Kg                                                                                  |
| Hmotnost ozubeného věnce ložiska A osy                                               | $m_{ov.A} := 9.7$   | Kg                                                                                  |
| Hmotnost vnitřního kroužku ložiska A osy                                             | $m_{vkA} := 6.44$   | Kg                                                                                  |
| Hmotnost příruby pro rozvody na ose C                                                | $m_{prC} := 6.5$    | Kg                                                                                  |
| Hmotnost pastorku hřídele pohonu A osy                                               | $m_{phA} := 1.86$   | Kg                                                                                  |
| Hmotnost servopohonu na ose A                                                        | $m_{spA} := 12$     | Kg                                                                                  |
| Hmotnost brzdy                                                                       | $m_{br} := 6.9$     | Kg                                                                                  |
| Hmotnost Středového rozvodu médii na ose A                                           | $m_{srmA} := 24.8$  | Kg                                                                                  |
| Hmotnost vstupní části rozvodu médii osy A                                           | $m_{vrA} := 8.3$    | Kg                                                                                  |
| Hmotnost výstupní části rozvodu medii A-osy                                          | $m_{vrmA} := 11.86$ | Kg                                                                                  |
| Hmotnost osy C (odlitek)                                                             | $m_{Co} := 72$      | Kg                                                                                  |
| Hmotnost středového rozvodu médii C-osy                                              | $m_{srmC} := 39.08$ | Kg                                                                                  |
| Hmotnost výstupu rozvodu médii C-osy                                                 | $m_{vrC} := 10.26$  | Kg                                                                                  |
| Hmotnost pastorku hřídele pohonu C osy                                               | $m_{phC} := 4.7$    | Kg                                                                                  |
| Hmotnost odměřování na ose A i C                                                     | $m_{odm} := 1.5$    | Kg                                                                                  |
| Hmotnost ozubeného věnce ložiska C osy                                               | $m_{ov.C} := 14.5$  | Kg                                                                                  |
| Roztečný průměr vnějšího ozubeného věnce<br>(počet zubů $z = 79$ , modul $m = 5$ mm) | $d_{ov} := 394.5$   | mm                                                                                  |
| Roztečný průměr pastorku<br>(počet zubů $z = 21$ , modul $m = 4.5$ mm)               | $d_{pC} := 94.5$    | mm                                                                                  |
| Převodový poměr                                                                      | $i_4 := 4.175$      |                                                                                     |
| Maximální rozběhová úhlová rychlost při rychlostáčení osy A                          | $\omega_C := 3.14$  | $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ (180°/s, $n_2 := 30$ $\frac{\text{ot}}{\text{min}}$ ) |
| Koeficient valivého odporu v uložení                                                 | $k_v := 0.004$      |                                                                                     |



Obr.1 Řez univerzální frézovací hlavou se zakreslenými hmotnostmi jednotlivých částí

Typ elektrovřetene: **MFWS-1709/30/44 VC HSK-A63** od firmy Fischer

Výkon vřetene  $P_V := 42$  kW

Maximální otáčky vřetene  $n_V := 18000$   $\frac{ot}{min}$

## 2.2 Výpočet

Pasivní odpor osy C na výstupu pohonu stanovíme na základě valivých odporů v uložení osy:

Průměr, na kterém dochází k valení (na ložisku)  $d_V := 0.318$  mm

Účinnost převodu mezi pastorky a věncem  $\eta_{pas} := 0.99$

$$X := m_{nu} + m_{ev} + m_{Ao} + m_{ov.A} + m_{vkA} + m_{prC} + 2 \cdot m_{phA} + 2 \cdot m_{spA} + m_{br} + m_{srmA}$$

$$X = 0.83 + 55 + 87 + 9.7 + 6.44 + 6.5 + 2 \cdot 1.86 + 2 \cdot 12 + 6.9 + 24.78$$

$$X = 224.89 \quad Kg$$

$$Y := m_{vrA} + m_{vrmA} + m_{Co} + m_{srmC} + m_{vrC} + 2 \cdot m_{odm} + m_{ov.C}$$

$$Y = 8.3 + 11.86 + 72 + 39.08 + 10.26 + 2 \cdot 1.5 + 14.5$$

$$Y = 159 \quad Kg$$



Celková hmotnost částí hlavy, které se otáčejí kolem osy C:

$$m_{\text{celkova}} := X + Y$$

$$m_{\text{celkova}} = 224.87 + 159$$

$$m_{\text{celkova}} = 383.89$$

$$M_{\text{kpasC}} := \frac{\left[ \left[ (m_{\text{celkova}}) \cdot 9.81 \right] \cdot \left( \frac{d_v}{2} \right) k_v \right]}{i_4 \cdot \eta_{\text{pas}}}$$

$$M_{\text{kpasC}} = \frac{\left[ \left[ (383.87) \cdot 9.81 \right] \cdot \left( \frac{0.318}{2} \right) 0.004 \right]}{4.175 \cdot 0.99}$$

$$M_{\text{kpasC}} = 0.579 \quad \text{Nr}$$

Statický krouticí moment pro osu A je v dolní poloze pracovního vřetene pootočeného o 90°

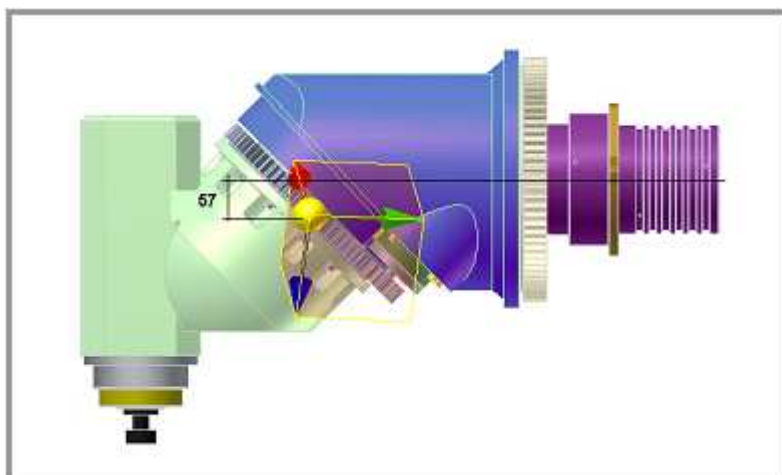
Hmotnost součástí, které působí statickou silou na ose C je rovna celkové hmotnosti částí hlavy C, které se budou otáčet kolem osy C, tedy:

$$m_{\text{celkova}} = 383.89 \quad \text{Kg}$$

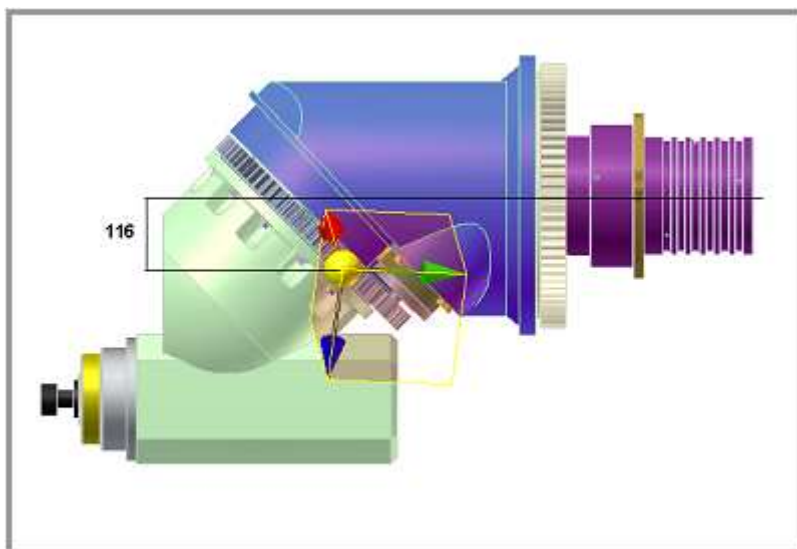
Rameno, na kterém působí zátěž (vzdálenost mezi těžištěm a osou rotace- C osou v odpovídající rovině)

$$\text{při svislé poloze osy nástroje} \quad r_1 := 0.057 \quad \text{m}$$

$$\text{při vodorovné poloze osy nástroje} \quad r_2 := 0.116 \quad \text{m}$$



Obr.2 Univerzální frézovací hlava s těžištěm při natočení osy nástroje do vertikální polohy



Obr.3 Univerzální frézovací hlava s těžištěm při natočení osy nástroje do horizontální polohy

pro další výpočet bude bráno větší rameno tedy  $r_2$

$$M_{kstatC} := (m_{celkova} \cdot 9.81) \cdot r_2$$

$$M_{kstatC} = (383.87 \cdot 9.81) \cdot 0.116$$

$$M_{kstatC} = 436.851 \quad \text{N}\cdot\text{m}$$

Z toho vyplývá maximální statický moment:

$$T_2 := \frac{(M_{kstatC} + M_{kpasC})}{i_4}$$

$$T_2 = \frac{[(436.829 + 0.564)]}{4.158}$$

$$T_2 = 104.774 \quad \text{N}\cdot\text{m}$$

Je nutno vzít v úvahu i dynamické rozběhové a brzdící momenty setrvačnosti zátěže osy C. Redukovaný moment setrvačnosti k ose C na výstup pohonu

Moment setrvačnosti celé soustavy k ose procházející těžištěm

$$I_{rzCv0} := 11.166898 \quad \text{Kgm}^2 \quad \text{pozn.: bráno z programu Inventor}$$

Z toho plyne moment setrvačnosti celé soustavy k ose rotace (C ose) přepočítaný pomocí Steinerovy věty

$$I_{rzCprep} := I_{rzCv0} + (m_{celkova} \cdot r_2^2)$$

$$I_{rzCprep} = 11.166898 + (383.87 \cdot 0.116^2)$$

$$I_{rzCprep} = 16.333 \quad \text{Kgm}^2 \quad \dots \text{moment setrvačnosti pohyblivých částí k ose rotace}$$

$$\text{Moment setrvačnosti pastorku C osy} \quad I_{phC} := 0.010446 \quad \text{Kgm}^2$$

$$i_4 = 4.175 \quad \dots \text{převodový poměr na ose C}$$

$$I_{rzC} := \left( \frac{I_{rzCprep}}{i_4^2} \right) + I_{phC}$$

$$I_{rzC} = \left( \frac{16.332}{4.158^2} \right) + 0.01$$

$$I_{rzC} = 0.947 \quad \text{Kgm}^2$$

Maximální rozběhová úhlová rychlost

$$\omega_{amax} := \frac{(2 \cdot \pi \cdot n_2) \cdot i_4}{60}$$

$$\omega_{amax} = \frac{[(2 \cdot \pi \cdot 30) \cdot 4.158]}{60}$$

$$\omega_{amax} = 13.116 \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Maximální otáčky na výstupu pohonu jsou

$$n_{2max} := n_2 \cdot i_4$$

$$n_{2max} = 30 \cdot 4.158$$

$$n_{2max} = 125.25 \quad \frac{\text{ot}}{\text{min}}$$

Maximální úhlové zrychlení

$$\text{Doba zrychlení} \quad t := 0.3 \quad \text{s}$$

$$\varepsilon_{max} := \frac{\omega_{amax}}{t}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{13.063}{0.3}$$

$$\varepsilon_{max} = 43.72 \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

### Maximální dynamický moment

$$M_{\text{kdynC}} := I_{\text{zC}} \cdot \varepsilon_{\text{max}}$$

$$M_{\text{kdynC}} = 0.955 \cdot 43.72$$

$$M_{\text{kdynC}} = 41.423 \quad \text{Nmm}$$

### Maximální rozběhový moment

$$T_1 := T_2 + M_{\text{kdynC}}$$

$$T_1 = 104.774 + 41.423$$

$$T_1 = 146.197 \quad \text{Nmm}$$

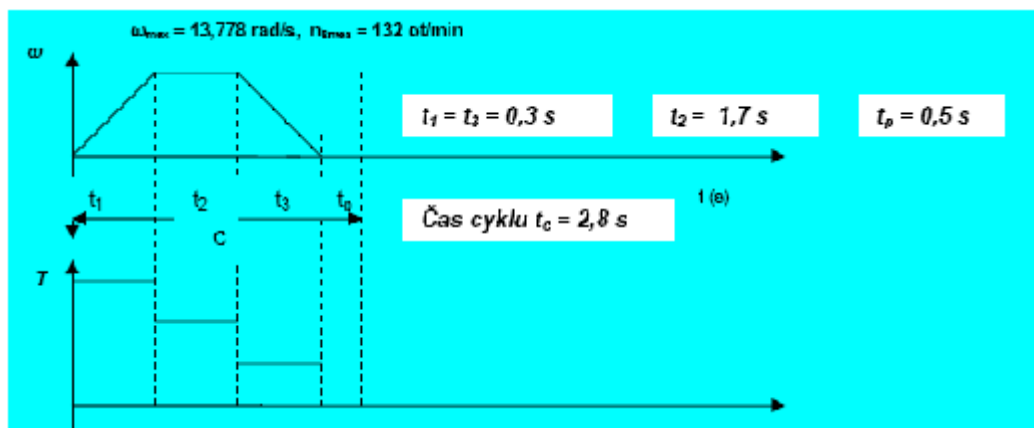
### Maximální doběhový moment

$$T_3 := T_2 - (T_1 - T_2)$$

$$T_3 = 104.744 - (146.197 - 104.744)$$

$$T_3 = 63.351 \quad \text{Nmm}$$

### **Pracovní cyklus a stanovení zatěžovacích momentů pro rychloposuv**



### Stanovení efektivního kroutícího momentu servopohonu pro výše uvedený pracovní cyklus

|              |   |                 |     |                            |                                |
|--------------|---|-----------------|-----|----------------------------|--------------------------------|
| $t_1 := 0.3$ | s | $T_1 = 146.197$ | Nmm | $n_{2\text{max}} = 125.25$ | $\frac{\text{ot}}{\text{min}}$ |
| $t_2 := 1.7$ | s | $T_2 = 104.774$ | Nmm |                            |                                |
| $t_3 := 0.3$ | s | $T_3 = 63.351$  | Nmm |                            |                                |
| $t_p := 0.5$ | s |                 |     |                            |                                |

$$T_{ef} := \sqrt{\frac{\left[ \left( T_1^2 \cdot \frac{n_{2max}}{2} \right) \cdot t_1 + \left( n_{2max} \cdot T_2^2 \right) \cdot t_2 + \left( T_3^2 \cdot \frac{n_{2max}}{2} \right) \cdot t_3 \right]}{t_1 \cdot \frac{n_{2max}}{2} + n_{2max} \cdot t_2 + t_3 \cdot \frac{n_{2max}}{2}}}$$

$$T_{ef} = \sqrt{\frac{\left[ \left( 146.78^2 \cdot \frac{125.25}{2} \right) \cdot 0.3 + \left( 125.25 \cdot 104.7^2 \right) \cdot 1.7 + \left( 63.61^2 \cdot \frac{125.25}{2} \right) \cdot 0.3 \right]}{0.3 \cdot \frac{125.25}{2} + 125.25 \cdot 1.7 + 0.3 \cdot \frac{125.25}{2}}}$$

$$T_{ef} = 105.995 \quad \text{Nrr}$$

#### Stanovení průměrných otáček servopohonu

$$t_c := t_1 + t_2 + t_3 + t_p \qquad n_{2max} = 125.25 \quad \frac{\text{ot}}{\text{min}}$$

$$t_c = 0.3 + 1.7 + 0.3 + 0.5$$

$$t_c = 2.8 \quad \text{s}$$

$$n_{av} := \frac{\left( t_1 \cdot \frac{n_{2max}}{2} + n_{2max} \cdot t_2 + t_3 \cdot \frac{n_{2max}}{2} \right)}{t_c}$$

$$n_{av} = \frac{\left( 0.3 \cdot \frac{125.25}{2} + 125.25 \cdot 1.7 + 0.3 \cdot \frac{125.25}{2} \right)}{2.8}$$

$$n_{av} = 89.464 \quad \frac{\text{ot}}{\text{min}}$$

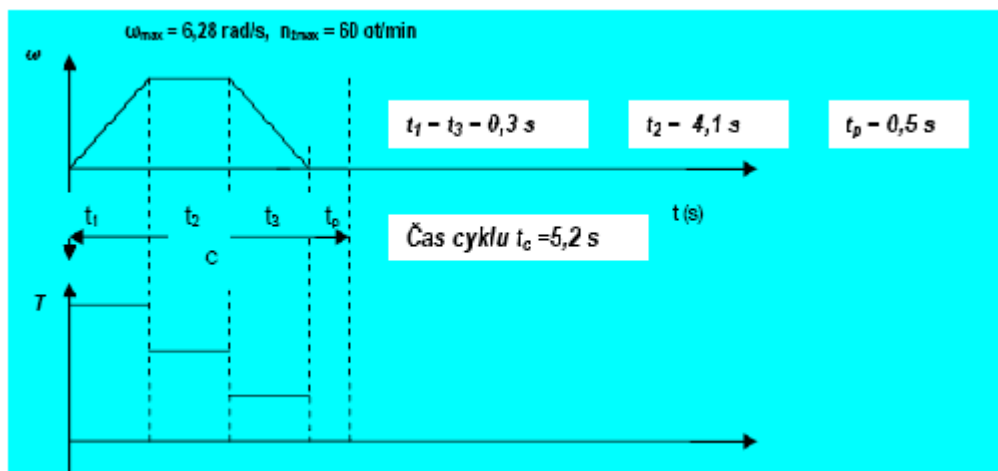
#### Stanovení doby zapnutí servopohonu

$$DZ := \left[ \frac{(t_1 + t_2 + t_3)}{t_c} \right] \cdot 100 \quad \%$$

$$DZ = \left[ \frac{(0.3 + 1.7 + 0.3)}{2.8} \right] \cdot 100\%$$

$$DZ = 82.143 \quad \%$$

Kontrola pracovního cyklu s maximální obráběcí silou při polovičních otáčkách



Maximální obráběcí síla  $F_{rvf\max} := 2000 \text{ N}$  vyvodí maximální technologický odpor na servopohonu

Průměr, na kterém dochází k valení (na ložisku)  $d_v = 0.318 \text{ m}$

Účinnost převodu mezi pastorky a věncem  $\eta_{pas} = 0.99$

Převodový poměr  $i_4 = 4.175$

Rameno na kterém působí síla  $r_{sily} := 0.450 \text{ m}$

$$M_{ktechC} := \frac{(F_{rvf\max} \cdot r_{sily})}{i_4}$$

$$M_{ktechC} = \frac{(2000 \cdot 0.45)}{4.158}$$

$$M_{ktechC} = 215.569 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Při působení maximální síly uvažujeme maximální otáčky osy C  $n_{3\max} := 13.67 \frac{\text{ot}}{\text{min}}$

Statický maximální moment osy C se navýší o tento technologický odpor a to na

$$T_{2.mS} := T_2 + M_{ktechC}$$

$$T_{2.mS} = 104.774 + 215.56$$

$$T_{2.mS} = 320.343 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Opět je nutné vzít v úvahu menší dynamické rozběhové a brzdící momenty a moment setrvačnosti zátěže osy C

Maximální rozběhová úhlová rychlost servopohonu je  $\omega_{amax2} := 6.28 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$   
Maximální otáčky na výstupu převodovky

$$n_{Cm2} := \frac{(\omega_{amax2} \cdot 60)}{2 \cdot \pi}$$

$$n_{Cm2} = \frac{(6.28 \cdot 60)}{2\pi}$$

$$n_{Cm2} = 59.97 \frac{\text{ot}}{\text{min}}$$

#### Maximální úhlové zrychlení

Doba zrychlení  $t_1 = 0.3 \text{ s}$

$$\varepsilon_{max2} := \frac{\omega_{amax2}}{t_1}$$

$$\varepsilon_{max2} = \frac{6.28}{0.3}$$

$$\varepsilon_{max2} = 20.933 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

#### Maximální dynamický moment

$$M_{kdyn2} := I_{rzC} \cdot \varepsilon_{max2}$$

$$M_{kdyn2} = 0.955 \cdot 20.933$$

$$M_{kdyn2} = 19.833 \text{ N}\cdot\text{m}$$

#### Maximální rozběhový moment

$$T_{1.mS} := T_{2.mS} + M_{kdyn2}$$

$$T_{1.mS} = 320.343 + 19.833$$

$$T_{1.mS} = 340.176 \text{ N}\cdot\text{m}$$

#### Maximální doběhový moment

$$T_{3.mS} := T_{2.mS} - (T_{1.mS} - T_{2.mS})$$

$$T_{3.mS} = 320.343 - (340.176 - 320.343)$$

$$T_{3.mS} = 300.51 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Stanovení efektivního kroutícího momentu servopohonu pro výše uvedený pracovní cyklus (působení maximální síly)

|                 |   |                      |    |                   |                  |
|-----------------|---|----------------------|----|-------------------|------------------|
| $t_4 := 0.3$    | s | $T_{1.mS} = 340.176$ | Nr | $n_{Cm2} = 59.97$ | $\frac{ot}{min}$ |
| $t_5 := 4.1$    | s | $T_{2.mS} = 320.343$ | Nr |                   |                  |
| $t_6 := 0.3$    | s | $T_{3.mS} = 300.51$  | Nr |                   |                  |
| $t_{pp} := 0.5$ | s |                      |    |                   |                  |

$$T_{ef.mS} := \sqrt{\frac{\left[ \left( T_{1.mS}^2 \cdot \frac{n_{Cm2}}{2} \right) \cdot t_4 + \left( n_{Cm2} \cdot T_{2.mS}^2 \right) \cdot t_5 + \left( T_{3.mS}^2 \cdot \frac{n_{Cm2}}{2} \right) \cdot t_6 \right]}{t_4 \cdot \frac{n_{Cm2}}{2} + n_{Cm2} \cdot t_5 + t_6 \cdot \frac{n_{Cm2}}{2}}}$$

$$T_{ef.mS} = \sqrt{\frac{\left[ \left( 340.176^2 \cdot \frac{59.97}{2} \right) \cdot 0.3 + \left( 59.97 \cdot 320.343^2 \right) \cdot 4.1 + \left( 300.51^2 \cdot \frac{59.97}{2} \right) \cdot 0.3 \right]}{0.3 \cdot \frac{59.97}{2} + 59.97 \cdot 4.1 + 0.3 \cdot \frac{59.97}{2}}}$$

$$T_{ef.mS} = 320.385 \quad Nr$$

Stanovení průměrných otáček servopohonu

$$t_{c2} := t_4 + t_5 + t_6 + t_{pp}$$

$$t_{c2} = 0.3 + 4.1 + 0.3 + 0.5$$

$$t_{c2} = 5.2 \quad s$$

$$n_{Cv2} := \frac{\left( t_4 \cdot \frac{n_{Cm2}}{2} + n_{Cm2} \cdot t_5 + t_6 \cdot \frac{n_{Cm2}}{2} \right)}{t_{c2}}$$

$$n_{Cv2} = \frac{\left( 0.3 \cdot \frac{59.97}{2} + 59.97 \cdot 4.1 + 0.3 \cdot \frac{59.97}{2} \right)}{5.2}$$

$$n_{Cv2} = 50.743 \quad \frac{ot}{min}$$

Stanovení doby zapnutí servopohonu

$$DZ_2 := \left[ \frac{(t_4 + t_5 + t_6)}{t_{c2}} \right] \cdot 100 \quad \%$$

$$DZ_2 = \left[ \frac{(0.3 + 4.1 + 0.3)}{5.2} \right] \cdot 100\%$$

$$DZ_2 = 90.385 \quad \%$$



Stanovení průměrného kroutícího momentu na výstupu planetové převodovky

$$t_4 = 0.3 \quad \text{s} \quad T_{1.mS} = 340.176 \quad \text{Nr}$$

$$t_5 = 4.1 \quad \text{s} \quad T_{2.mS} = 320.343 \quad \text{Nr}$$

$$t_6 = 0.3 \quad \text{s} \quad T_{3.mS} = 300.51 \quad \text{Nr}$$

$$t_{pp} = 0.5 \quad \text{s} \quad n_{Cm2} = 59.97 \quad \frac{\text{ot}}{\text{min}}$$

$$T_{av} := \left[ \frac{\left( t_4 \cdot T_{1.mS}^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{n_{Cm2}}{2} + n_{Cm2} \cdot t_5 \cdot T_{2.mS}^{\frac{10}{3}} + \frac{n_{Cm2}}{2} \cdot t_6 \cdot T_{3.mS}^{\frac{10}{3}} \right)}{\frac{n_{Cm2}}{2} \cdot t_4 + n_{Cm2} \cdot t_5 + \frac{n_{Cm2}}{2} \cdot t_6} \right]^{\frac{3}{10}}$$

$$T_{av} = \left[ \frac{\left( 0.3 \cdot (340.176)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{59.97}{2} + 59.97 \cdot 4.1 \cdot 320.343^{\frac{10}{3}} + \frac{59.97}{2} \cdot 0.3 \cdot 300.51^{\frac{10}{3}} \right)}{\frac{59.97}{2} \cdot 0.3 + 59.97 \cdot 4.1 + \frac{59.97}{2} \cdot 0.3} \right]^{\frac{3}{10}}$$

$$T_{av} = 320.44 \quad \text{Nr}$$

Průměrné otáčky

$$n_{Cav} := \left( \frac{\frac{n_{Cm2}}{2} \cdot t_4 + n_{Cm2} \cdot t_5 + \frac{n_{Cm2}}{2} \cdot t_6}{t_{c2}} \right)$$

$$n_{Cav} = \left( \frac{\frac{59.97}{2} \cdot 0.3 + 59.97 \cdot 4.1 + \frac{59.97}{2} \cdot 0.3}{5.2} \right)$$

$$n_{Cav} = 50.743 \quad \frac{\text{ot}}{\text{min}}$$

### 2.3. Volba pohonu

V předchozím návrhu byl navržen pohon sestavený ze servomotoru **CHM-58A-A** a planetové převodovky **HPG-50-33-BL1-F0**

#### Parametry pohonu:

Planetová převodovka HPG-50-33-BL1-F0 má následující parametry:

|                            |                     |                                |
|----------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Maximální rozběhový moment | $T_r := 850$        | Nm                             |
| Maximální průměrný moment  | $T_A := 500$        | Nm                             |
| Kolizní moment             | $T_M := 1850$       | Nm                             |
| Jmenovitý moment           | $T_N := 270$        | Nm                             |
| Maximální vstupní otáčky   | $n_{1\max} := 4500$ | $\frac{\text{ot}}{\text{min}}$ |

Servomotor CHM-58A-A má následující technické parametry

|                           |                          |                                |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Maximální kroutící moment | $M_{k\max} := 27.3$      | Nm                             |
| Maximální otáčky          | $n_{M\max} := 4000$      | $\frac{\text{ot}}{\text{min}}$ |
| Klidový moment            | $M_{k\text{klid}} := 11$ | Nm                             |
| Moment setrvačnosti       | $I_{sm} := 0.00173$      | $\text{Kgm}^2$                 |

#### Kontrola rezonanční frekvence $f_n$

$$K_1 := 230000 \quad \frac{\text{Nm}}{\text{rad}}$$

$$I_{rzc} = 0.947 \quad \text{Kgm}^2$$

$$f_n := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{K_1}{I_{rzc}}}$$

$$f_n = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{230000}{0.947}}$$

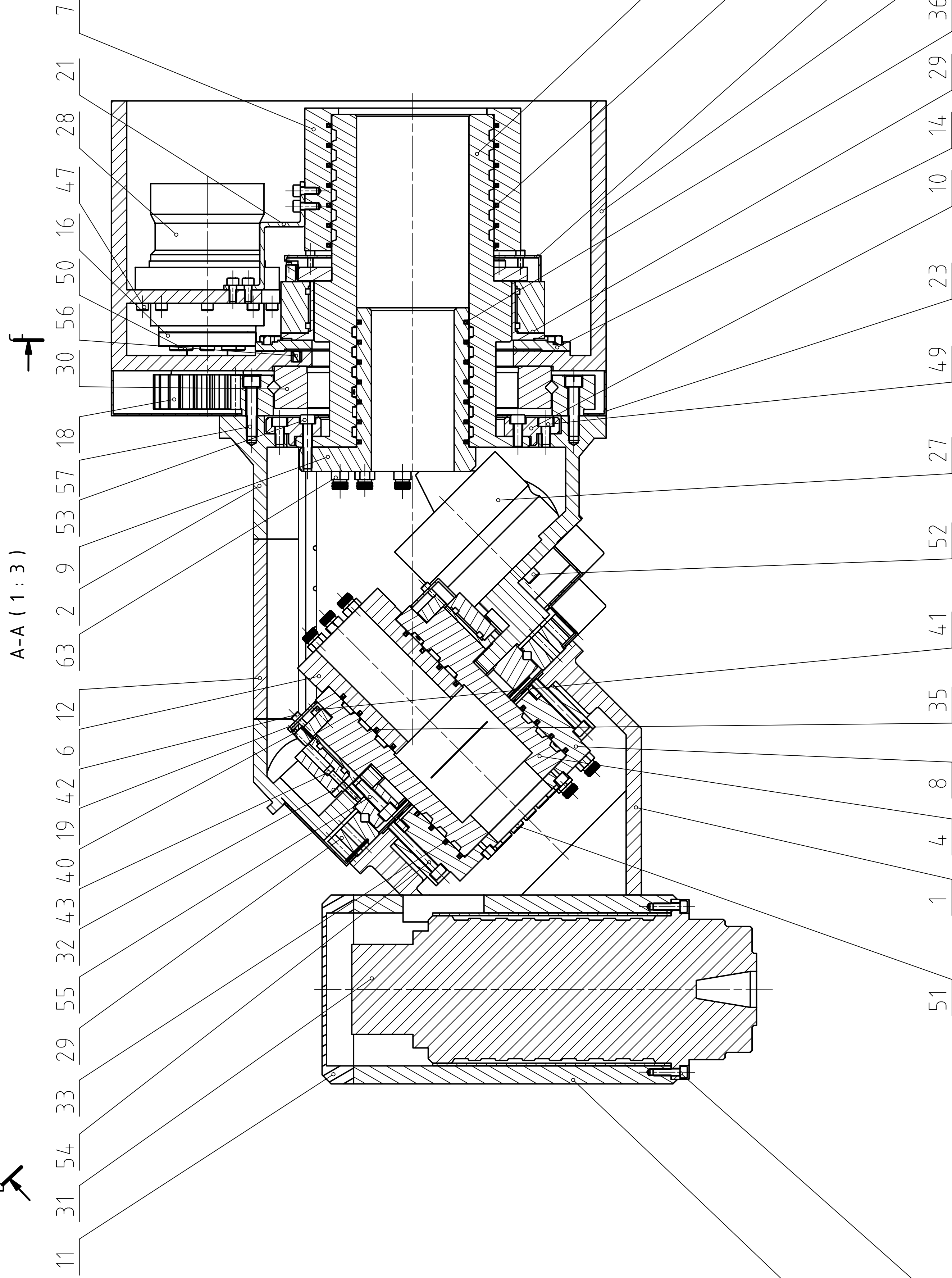
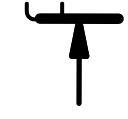
$$f_n = 78.416 \quad \text{Hz}$$

Zvolený pohon splňuje požadavky z hlediska, momentu, otáček i rezonanční frekvence, nevýhodou však jsou jeho velké zástavbové rozměry

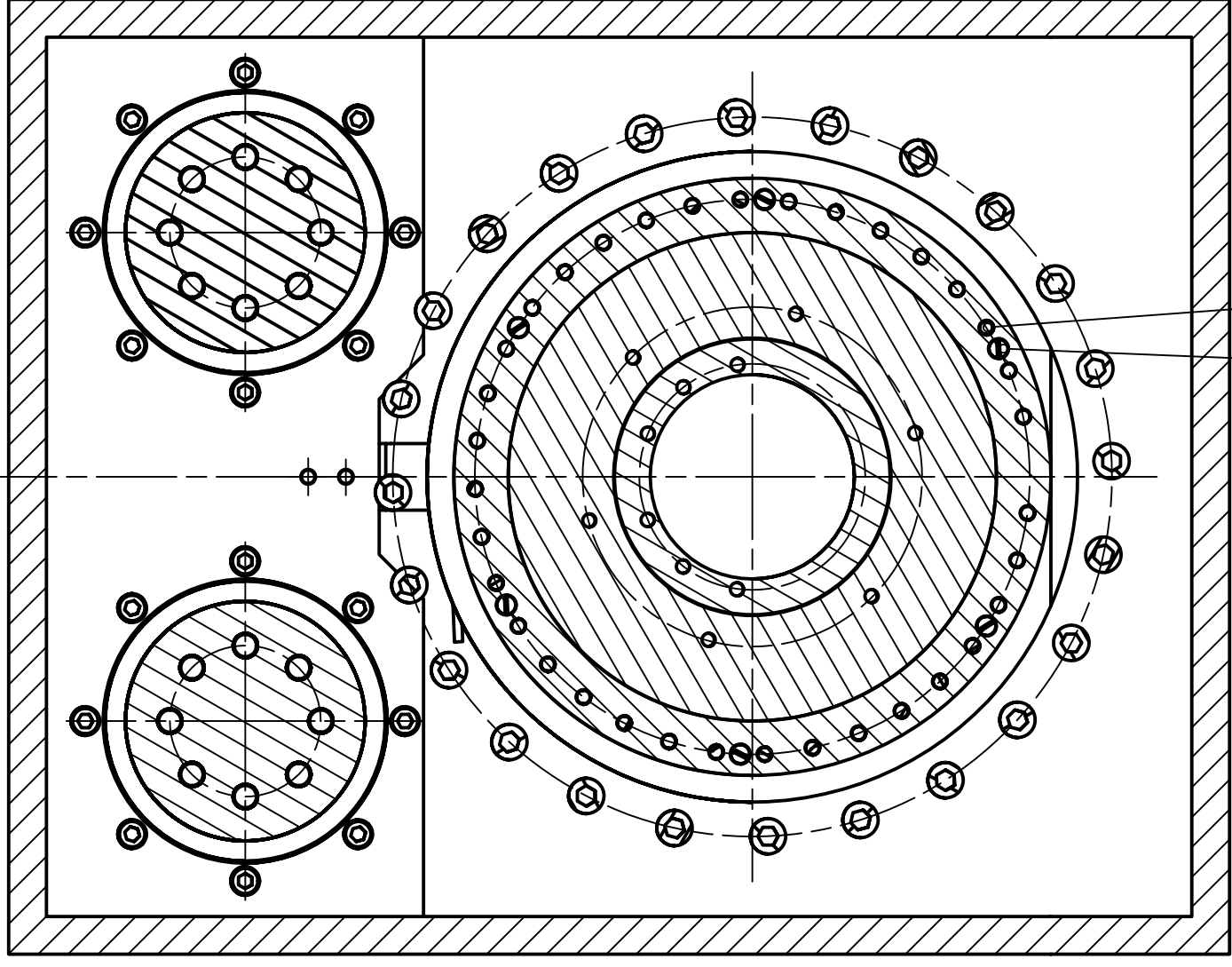




A-A (1:3)



C-C (1:3)



48

3

44

60

51

1

4

8

35

41

52

27

49

23

10

14

36

21



B-B (1:3)

15

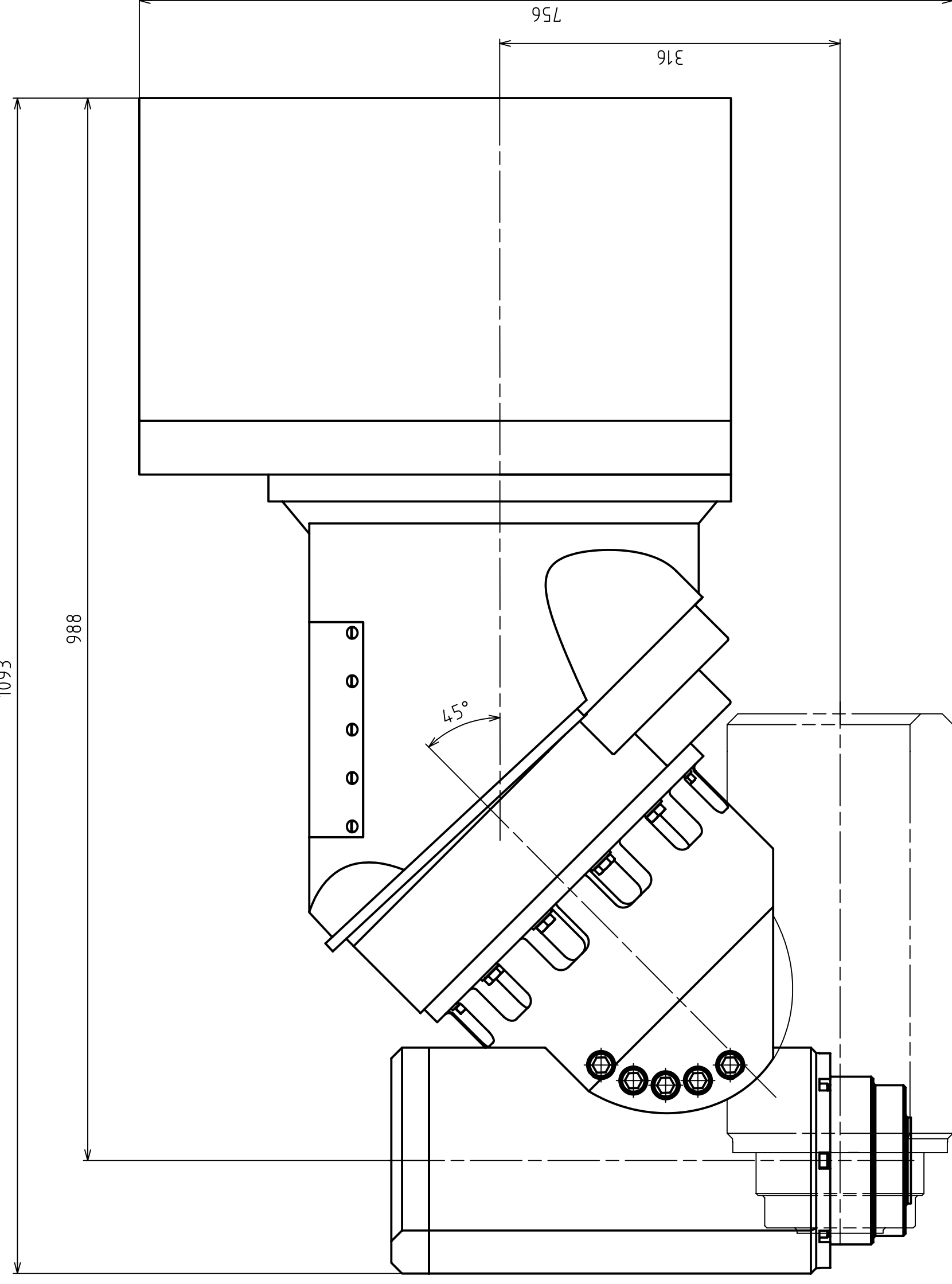
46

22

17

64

61



430

550

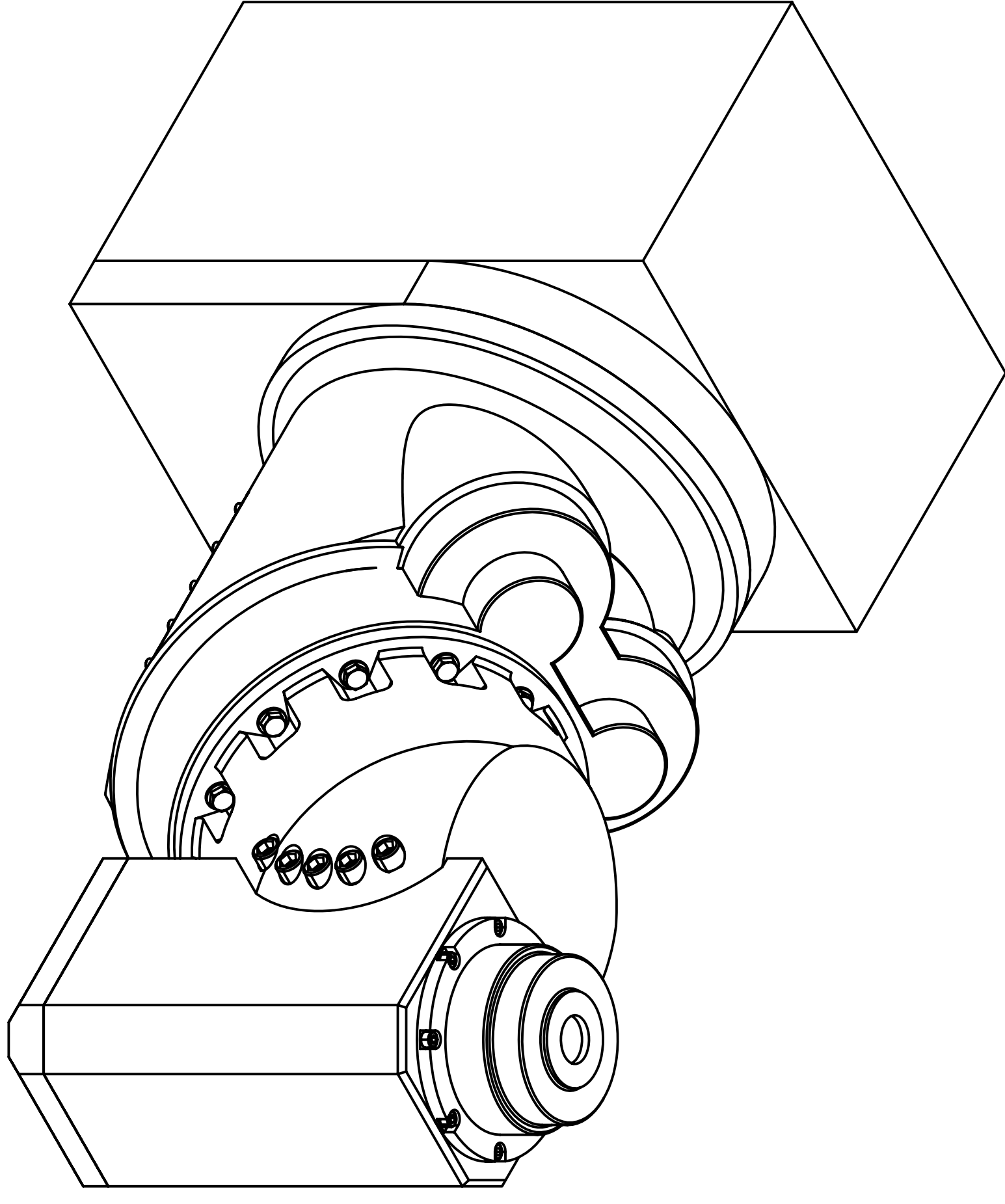
717

62

59

41

58



|                                            |             |     |
|--------------------------------------------|-------------|-----|
| Pracovník: 503 2164-01                     | Matěj       | 1:0 |
| Tabulka: 503 005                           | Políček     | 1:0 |
| Průběh: 1:0                                | Průběh: 1:0 | 1:0 |
| ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ                         |             |     |
| VUT - Brno - Fakulta strojního inženýrství |             |     |
| FŘEZOVACÍ HLAVA                            |             |     |
| 0-509-00/01                                |             |     |



| 1            |                            | 2                     |  | 3          |   | 4     |   |
|--------------|----------------------------|-----------------------|--|------------|---|-------|---|
| Číslo polož. | Název - označení           | Polotovar             |  | Hmot. [kg] | J | Množ. |   |
|              | Výkres - norma             | Materiál              |  |            |   |       |   |
| 1            | ODLITEK OSY A              | Č.M. 01/01            |  | 31         |   | 1     | A |
|              | 2-509-01/01                | 42 2420.2             |  |            |   |       |   |
| 2            | ODLITEK OSY C              | Č.M. 01/02            |  | 58,5       |   | 1     |   |
|              | 2-509-01/02                | 42 2420.2             |  |            |   |       |   |
| 3            | KRYT ELEKTROVŘETENA        | Č.M. 01/03            |  | 49,5       |   | 1     | B |
|              | 2-509-01/03                | 42 2420.2             |  |            |   |       |   |
| 4            | STŘEDOVÝ ROZVOD MĚDÍ OSY A | Č.M. 01/04            |  | 8,7        |   | 1     |   |
|              | 3-509-01/04                | 42 4203.2             |  |            |   |       |   |
| 5            | STŘEDOVÝ ROZVOD MĚDÍ OSY C | Č.M. 01/05            |  | 15,6       |   | 1     |   |
|              | 3-509-01/05                | 42 4203.2             |  |            |   |       |   |
| 6            | VSTUPNÍ ROZVOD MĚDÍ OSY A  | Č.M. 01/06            |  | 3,2        |   | 1     |   |
|              | 3-509-01/06                | 42 4203.2             |  |            |   |       |   |
| 7            | VSTUPNÍ ROZVOD MĚDÍ OSY C  | Č.M. 01/07            |  | 9,3        |   | 1     | C |
|              | 3-509-01/07                | 42 4203.2             |  |            |   |       |   |
| 8            | VÝSTUPNÍ ROZVOD MĚDÍ OSY A | Č.M. 01/08            |  | 6          |   | 1     |   |
|              | 3-509-01/08                | 42 4203.2             |  |            |   |       |   |
| 9            | VÝSTUPNÍ ROZVOD MĚDÍ OSY C | Č.M. 01/09            |  | 4,3        |   | 1     |   |
|              | 3-509-01/09                | 42 4203.2             |  |            |   |       |   |
| 10           | PŘÍRUBA C OSY              | Č.M. 01/10            |  | 6,5        |   | 1     |   |
|              | 3-509-01/10                | 42 2420.2             |  |            |   |       |   |
| 11           | VÍČKO KRYTU ELEKTROVŘETENA | Č.M. 01/11            |  | 5,45       |   | 1     | D |
|              | 3-509-01/11                | 42 2420.2             |  |            |   |       |   |
| 12           | KRYT ODLITKU OSY C         | Č.M. 01/12            |  | 5,9        |   | 1     |   |
|              | 4-509-01/12                | 42 2420.2             |  |            |   |       |   |
| 13           | ODLITEK KOSTKY C OSY       | Č.M. 01/13            |  | 90         |   | 1     |   |
|              | 2-509-01/13                | 42 2420.2             |  |            |   |       |   |
| 14           | PŘÍRUBA BRZY OSY C         | Č.M. 01/14            |  | 3,9        |   | 2     | E |
|              | 3-509-01/14                | 42 2420.2             |  |            |   |       |   |
| 15           | HŘÍDEL POHONU OSY A        | Ø110 - 90 ČSN 42 5510 |  | 1,2        |   | 2     |   |
|              | 4-509-01/15                | 11 500.0              |  |            |   |       |   |

|                  |                     |         |               |                                                                         |  |
|------------------|---------------------|---------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|--|
|                  |                     |         |               | <b>ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ</b><br>VUT v Brně - Fakulta strojního inženýrství |  |
| Změna            | Datum               | Index   | Podpis        |                                                                         |  |
| Navrhl J.UHLÍŘ   | Poznámka            | Měřítko | Název         | FRÉZOVACÍ HLAVA                                                         |  |
| Přezkoušel       |                     |         |               |                                                                         |  |
| Technolog        |                     |         |               |                                                                         |  |
| Normalizace      | Starý výkres        |         | Číslo výkresu | 4-509-00/01/01                                                          |  |
| Schválil         | Č. seznamu 0-509-00 |         |               |                                                                         |  |
| Datum 26.5. 2010 | Č. sestavy 0-509-00 |         |               |                                                                         |  |

| 1            | 2                           | 3                          | 4     |   |       |   |
|--------------|-----------------------------|----------------------------|-------|---|-------|---|
| Číslo polož. | Název - označení            | Polotovary                 | Hmot. | J | Množ. | A |
|              | Výkres - norma              | Materiál                   | [kg]  |   |       |   |
| 16           | HŘÍDEL POHONU OSY C         | Ø120 - 60 ČSN 42 5510      | 1,44  |   | 2     | A |
|              | 4-509-01/15                 | 11 500.0                   |       |   |       |   |
| 17           | PASTOREK A OSY              | Ø70-60 ČSN 42 5510         | 1,6   |   | 2     | B |
|              | 4-509-01/17                 | 14 220.9                   |       |   |       |   |
| 18           | PASTOREK C OSY              | Ø120-60 ČSN 42 5510        | 2,7   |   | 2     | B |
|              | 4-509-01/18                 | 14 220.9                   |       |   |       |   |
| 19           | KRYT ODMĚŘOVÁNÍ A OSY       | P3 -250 ČSN 425301.21      | 0,7   |   | 1     | C |
|              | 3-509-01/19                 | 11 373.1                   |       |   |       |   |
| 20           | KRYT ODMĚŘOVÁNÍ C OSY       | P3 - 250 ČSN 425301.21     | 0,7   |   | 1     | C |
|              | 3-509-01/20                 | 11 373.1                   |       |   |       |   |
| 21           | DRŽÁK VSTUPU MÉDIÍ C OSY    | P5 - 225x30 ČSN 425301.21  | 0,23  |   | 1     | C |
|              | 3-509-01/21                 | 11 373.1                   |       |   |       |   |
| 22           | KRYT OZUBENÍ OSY A          | P3 - 600x600 ČSN 425301.21 | 2,7   |   | 1     | C |
|              | 3-509-01/22                 | 11 373.1                   |       |   |       |   |
| 23           | KRYT OZUBENÍ OSY C          | P3 - 530x500 ČSN 425301.21 | 2,85  |   | 1     | C |
|              | 3-509-01/23                 | 11 373.1                   |       |   |       |   |
|              |                             |                            |       |   |       | D |
|              |                             |                            |       |   |       |   |
| 27           | POHON FPA 32B-33-H          |                            | 12    |   | 2     | D |
|              |                             |                            |       |   |       |   |
| 28           | POHON LYNX DRIVE 40C        |                            | 9,1   |   | 2     | E |
|              |                             |                            |       |   |       |   |
| 29           | LOŽISKO 9E-1Z14-0254-0110-1 |                            | 15,5  |   | 1     | E |
|              |                             |                            |       |   |       |   |
| 30           | LOŽISKO 9E-1Z16-0310-0111   |                            | 23,5  |   | 1     | E |
|              |                             |                            |       |   |       |   |

|                  |                     |         |               |                                                                         |  |
|------------------|---------------------|---------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|--|
|                  |                     |         |               | <b>ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ</b><br>VUT v Brně - Fakulta strojního inženýrství |  |
| Změna            | Datum               | Index   | Podpis        |                                                                         |  |
| Navrhl J.UHLÍŘ   | Poznámka            | Měřítko | Název         | FRÉZOVACÍ HLAVA                                                         |  |
| Přezkoušel       |                     |         |               |                                                                         |  |
| Technolog        |                     |         |               |                                                                         |  |
| Normalizace      | Starý výkres        |         | Číslo výkresu |                                                                         |  |
| Schválil         | Č. seznamu 0-509-00 |         |               |                                                                         |  |
| Datum 26.5. 2010 | Č. sestavy 0-509-00 |         |               |                                                                         |  |

| 1            |                                           | 2         |  | 3          |   | 4     |  |
|--------------|-------------------------------------------|-----------|--|------------|---|-------|--|
| Číslo polož. | Název - označení                          | Polotovar |  | Hmot. [kg] | J | Množ. |  |
|              | Výkres - norma                            | Materiál  |  |            |   |       |  |
| 31           | ELEKTROVŘETENO FISCHER<br>MFWS 1790/30/44 |           |  | 51         |   | 1     |  |
| 32           | BRZDA KOSTYRKA Ø200-65                    |           |  | 9,8        |   | 2     |  |
| 33           | TĚSNĚNÍ TG 32 0 1600- T40N                |           |  | 0,01       |   | 4     |  |
| 34           | TĚSNĚNÍ TG 32 0 1800- T40N                |           |  | 0,01       |   | 7     |  |
| 35           | TĚSNĚNÍ TG 42 0 1050- T40N                |           |  | 0,01       |   | 4     |  |
| 36           | TĚSNĚNÍ TG 42 0 1250- T40N                |           |  | 0,01       |   | 7     |  |
| 37           |                                           |           |  |            |   |       |  |
| 38           |                                           |           |  |            |   |       |  |
| 39           |                                           |           |  |            |   |       |  |
| 40           | ŠROUB M3x30<br>ISO 4762-12.9              |           |  | 0,01       |   | 4     |  |
| 41           | ŠROUB M6x20<br>ISO 4762-12.9              |           |  | 0,01       |   | 10    |  |
| 42           | ŠROUB M6x35<br>ISO 4762-12.9              |           |  | 0,02       |   | 14    |  |
| 43           | ŠROUB M6x50<br>ISO 4762-12.9              |           |  | 0,02       |   | 35    |  |
| 44           | ŠROUB M6x65<br>ISO 4762-12.9              |           |  | 0,02       |   | 35    |  |
| 45           | ŠROUB M6x70<br>ISO 4762-12.9              |           |  | 0,03       |   | 8     |  |

|                  |                     |         |       |                 |
|------------------|---------------------|---------|-------|-----------------|
| Změna            |                     | Datum   | Index | Podpis          |
| Navrhl J.UHLÍŘ   | Poznámka            | Měřítka |       | Název           |
| Přezkoušel       |                     |         |       | FRÉZOVACÍ HLAVA |
| Technolog        |                     |         |       |                 |
| Normalizace      | Starý výkres        |         |       | Číslo výkresu   |
| Schválil         | Č. seznamu 0-509-00 |         |       | 4-509-00/01/03  |
| Datum 26.5. 2010 | Č. sestavy 0-509-00 |         |       |                 |

| 1            |                  | 2         |  | 3          |   | 4     |  |
|--------------|------------------|-----------|--|------------|---|-------|--|
| Číslo polož. | Název - označení | Polotovar |  | Hmot. [kg] | J | Množ. |  |
|              | Výkres - norma   | Materiál  |  |            |   |       |  |
| 46           | ŠROUB M8x17      |           |  | 0,02       |   | 16    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 47           | ŠROUB M8x25      |           |  | 0,02       |   | 16    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 48           | ŠROUB M8x30      |           |  | 0,02       |   | 8     |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 49           | ŠROUB M10x20     |           |  | 0,02       |   | 24    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 50           | ŠROUB M10x25     |           |  | 0,03       |   | 47    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 51           | ŠROUB M10x30     |           |  | 0,04       |   | 18    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 52           | ŠROUB M10x40     |           |  | 0,04       |   | 8     |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 53           | ŠROUB M10x50     |           |  | 0,04       |   | 17    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 54           | ŠROUB M10x70     |           |  | 0,05       |   | 24    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 55           | ŠROUB M12x40     |           |  | 0,05       |   | 24    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 56           | ŠROUB M12x50     |           |  | 0,05       |   | 25    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 57           | ŠROUB M12x55     |           |  | 0,06       |   | 24    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 58           | ŠROUB M16x45     |           |  | 0,12       |   | 10    |  |
|              | ISO 4762-12.9    |           |  |            |   |       |  |
| 59           | ŠROUB M12x50     |           |  | 0,06       |   | 12    |  |
|              | ČSN EN 24017     |           |  |            |   |       |  |
| 60           | ŠROUB M5x10      |           |  | 0,01       |   | 12    |  |
|              | ISO 8676-8.8     |           |  |            |   |       |  |

|                  |                     |         |               |                                                                         |  |
|------------------|---------------------|---------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|--|
|                  |                     |         |               | <b>ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ</b><br>VUT v Brně - Fakulta strojního inženýrství |  |
| Změna            | Datum               | Index   | Podpis        |                                                                         |  |
| Navrhl J.UHLÍŘ   | Poznámka            | Měřítko | Název         | FRÉZOVACÍ HLAVA                                                         |  |
| Přezkoušel       |                     |         |               |                                                                         |  |
| Technolog        |                     |         |               |                                                                         |  |
| Normalizace      | Starý výkres        |         | Číslo výkresu | 4-509-00/01/04                                                          |  |
| Schválil         | Č. seznamu 0-509-00 |         |               |                                                                         |  |
| Datum 26.5. 2010 | Č. sestavy 0-509-00 |         |               |                                                                         |  |

| 1            |                             | 2         |  | 3     |   | 4     |   |
|--------------|-----------------------------|-----------|--|-------|---|-------|---|
| Číslo polož. | Název - označení            | Polotovar |  | Hmot. | J | Množ. |   |
|              | Výkres - norma              | Materiál  |  | [kg]  |   |       |   |
| 61           | ŠROUB M8x8                  |           |  | 0,01  |   | 36    | A |
|              | ISO 4766-14H                |           |  |       |   |       |   |
| 62           | PODLOŽKA 13                 |           |  | 0,01  |   | 12    |   |
|              | ČSN 02 1703.11              |           |  |       |   |       |   |
| 63           | TRUBKOVA PŘÍPOJKA M17X 0,75 |           |  | 0,02  |   | 18    | B |
|              | ČSN 13 7851                 |           |  |       |   |       |   |
| 64           | POJISTNÝ KROUŽEK 28         |           |  | 0,01  |   | 2     |   |
|              | ČSN 02 2930                 |           |  |       |   |       |   |
| 65           | POJISTNÝ KROUŽEK 32         |           |  | 0,01  |   | 2     |   |
|              | ČSN 02 2930                 |           |  |       |   |       |   |
|              |                             |           |  |       |   |       | C |
|              |                             |           |  |       |   |       |   |
|              |                             |           |  |       |   |       |   |
|              |                             |           |  |       |   |       | D |
|              |                             |           |  |       |   |       |   |
|              |                             |           |  |       |   |       |   |
|              |                             |           |  |       |   |       | E |
|              |                             |           |  |       |   |       |   |
|              |                             |           |  |       |   |       |   |

|                  |                     |          |         |        |                |                                                                                                       |  |
|------------------|---------------------|----------|---------|--------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                  |                     |          |         |        |                |                                                                                                       |  |
| Změna            |                     | Datum    | Index   | Podpis |                | <b>ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ</b><br>VUT v Brně - Fakulta strojního inženýrství<br><br><b>FRÉZOVACÍ HLAVA</b> |  |
| Navrhl           | J.UHLÍŘ             | Poznámka | Měřítko |        | Název          |                                                                                                       |  |
| Přezkoušel       |                     |          |         |        |                |                                                                                                       |  |
| Technolog        |                     |          |         |        |                |                                                                                                       |  |
| Normalizace      | Starý výkres        |          |         |        | Číslo výkresu  |                                                                                                       |  |
| Schválil         | Č. seznamu 0-509-00 |          |         |        | 4-509-00/01/05 |                                                                                                       |  |
| Datum 26.5. 2010 | Č. sestavy 0-509-00 |          |         |        |                |                                                                                                       |  |



