



## **Středoškolská technika 2017**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

# Odstředivé čerpadlo

Jméno a příjmení, třída:      Eduard Hrtoň, 4. B

Vedoucí práce:                Ing. Jiří Šimáček

**Střední průmyslová škola strojnická  
OLOMOUC**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené prameny a literaturu.

Datum:

---

Podpis

Zde bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Jiřímu Šimáčkovi za rady a podnětné připomínky při tvorbě práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Borisi Šmárikovi za rady týkající se konstrukčního řešení. Mé díky patří také Ing. Petře Najdekrové za cenné rady při řešení formální stránky práce.

# Obsah

Obsah .....	3
1 Úvod.....	5
2 Čerpadla a jejich problematika.....	6
3 Hydrostatická čerpadla.....	7
4 Hydrodynamická čerpadla.....	14
5 Výpočtová část .....	16
5.1 Návrh oběžného kola (3).....	16
5.2 Kontrola pera na stříh a otláčení .....	27
6 Konstrukční část .....	29
6.1 Hydraulická část .....	31
6.1.1 Stator .....	31
6.1.2 Rotor.....	42
6.2 Ucpávková část .....	46
6.3 Mechanická část.....	48
6.3.1 Stator .....	49
6.3.2 Rotor.....	53
6.3.3 Elektromotor .....	56
7 Technologická část.....	58
7.1 Frézování víka ložiskové vany z odlitku .....	58
7.2 Soustružení víka ložiskové vany z odlitku .....	60
7.3 Soustružení víka ložiskové vany z výpalku.....	63
7.4 Frézování ložiskové vany z odlitku .....	65
8 Ekonomická část .....	68
8.1 Cena výroby víka ložiskové vany při frézování odlitku .....	68
8.2 Cena výroby víka ložiskové vany při soustružení odlitku.....	68



8.3	Cena výroby víka ložiskové vany při soustružení výpalku .....	69
8.4	Závěrečné zhodnocení .....	70
9	Závěr.....	71

# 1 Úvod

Hlavním cílem této práce je sestavení 3D digitálního modelu vertikálního odstředivého čerpadla. Při konstrukci jsem se inspiroval již existujícím čerpadlem.

První část práce je teoretická. Zde objasním význam a účel čerpadel a následně rozdělím čerpadla podle konstrukce. Druhou částí práce je výpočtová část. V této sekci navrhnu oběžné kolo čerpadla a zkontroluji pero na stříh a otláčení. Následující část práce je konstrukční a zabývá se konstrukcí jednotlivých součástí čerpadla. V technologické části provedu frézování obrábění vybraných součástí, konkrétně jde o ložiskovou vanu a víko ložiskové vany. Ekonomickou část práce tvoří kalkulace výrobních nákladů víka ložiskové vany z předchozí části. Výkresová část se nachází v přílohách a obsahuje výkresy obráběných součástí, výkres sestavy a výkresy odlitků. V závěru zrekapituluji cíle práce a zhodnotím jejich splnění.

## 2 Čerpadla a jejich problematika

Čerpadla jsou druhem hydraulických strojů, ve kterých dochází k přeměně jednoho druhu energie na druhý za účelem přemísťování kapalin. Kapalina, neboli pracovní médium, je nositelkou energie.

První čerpadla se používala již na počátku existence lidské civilizace. Jednalo se o hydrostatická čerpadla. V dnešní době jsou však více používána čerpadla hydrodynamická. Čerpadla najdou uplatnění ve všech sférách lidské činnosti, např. ve stavebnictví, zemědělství, energetice, potravinářství, strojírenství atd. Není pochyb, že čerpadla zastupují velice významné postavení ve světě strojů a zařízení. Podle některých podkladů spotřebují čerpadla až 30% veškeré vyrobené elektrické energie. Mezi dva hlavní problémy při čerpání kapalin patří vodní ráz a kavitace. (1)

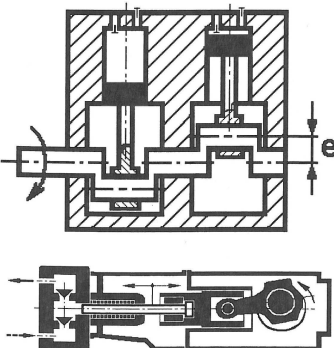
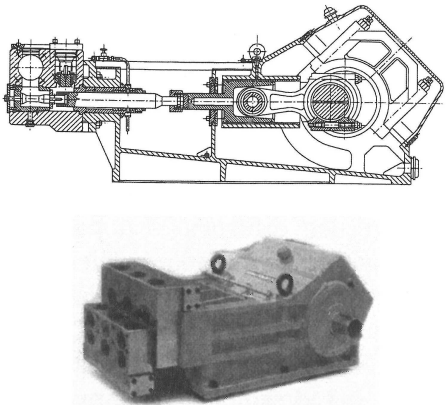
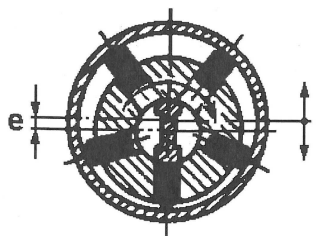
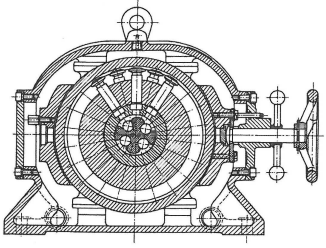
Vodní ráz (hydrodynamický ráz) je děj, při kterém dochází v důsledku setrvačnosti kapaliny ke změnám tlaku v potrubí. Může dojít až k poškození nebo zničení některé z částí čerpadla. Typickým příkladem by mohly být dvě nádrže s určitým výškovým rozdílem hladin, propojené potrubími. Kapalinu bychom nechali volně protékat z horní nádrže do spodní. Vzápětí bychom uzavřeli kohout a zastavili tak průtok. V závislosti na světlosti potrubí a rychlosti kapaliny by došlo ke změně tlaku, což by mohlo mít za následek poškození oběhového systému. (2)

Kavitace je fyzikální jev vyskytující se v kapalinách, přičemž projevy kavitace mohou být odlišné v závislosti na fyzikálních vlastnostech kapaliny. Při kavitaci vznikají v kapalině bubliny, které následně rostou a implodují (zanikají). Tyto bubliny jsou zaplněny plyny a párami vyloučenými z kapaliny. Platí, že čím nižší tlak a vyšší teplota, tím více plynů a par se z kapaliny vyloučí. Největší nebezpečí vzniku kavitace je u čerpání horkých a těkavých kapalin. (1) (2)

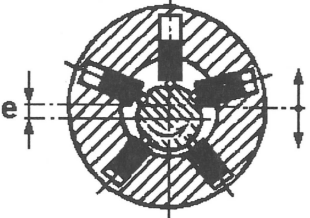
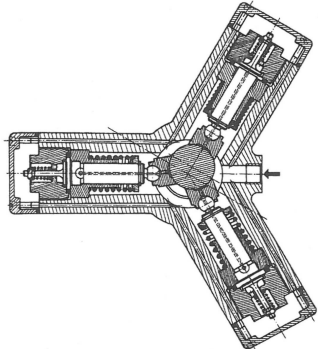
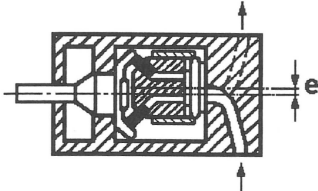
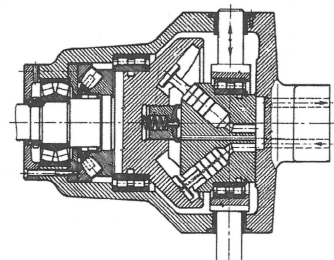
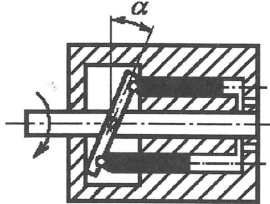
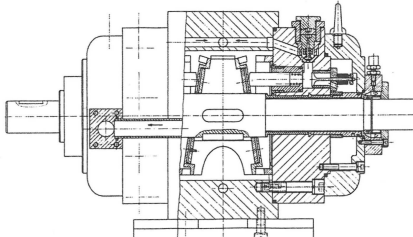
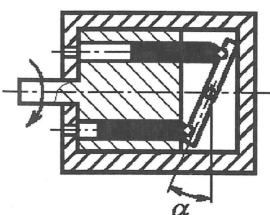
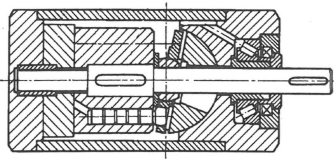
### 3 Hydrostatická čerpadla

U tohoto typu čerpadel je dopravované médium vytlačováno z pracovního prostoru bezprostředním působením pracovního prvku. Hlavní převáděnou složkou energie je potenciální (polohová) energie, kinetická energie je zde zanedbatelná. Zvyšuje se buď tlaková energie kapaliny, nebo její poloha. Podle konstrukce se hydrostatická čerpadla dělí na pístová, membránová, zubová, lamelová, šroubová (šneková) a hadicová (peristaltická).

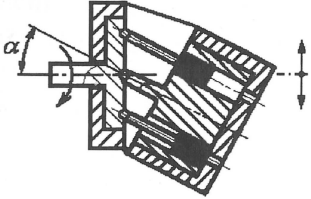
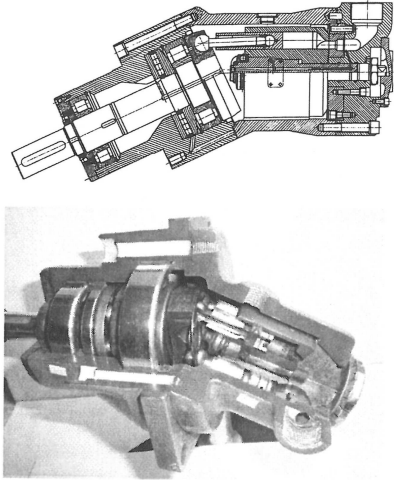
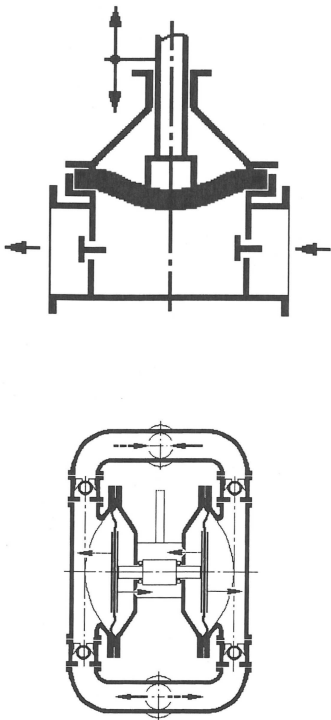
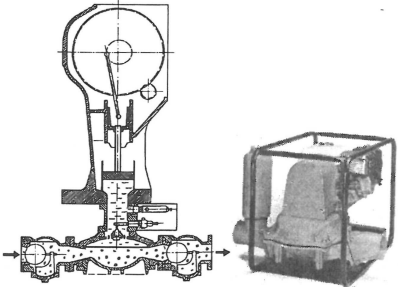
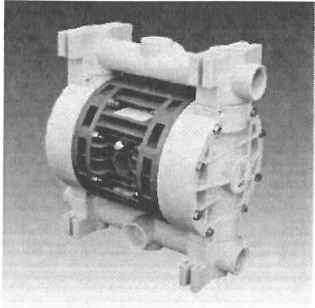
(1)

Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
Pracovní prvek - <b>píst</b> (přímočarý vratný pohyb)		
<p>Řadové pístové (písty vedle sebe)</p> 	<p>Písty kmitají v nehybném bloku válců. Rotační pohyb hřídele se převádí na kmitavý pohyb pístů klikovým mechanismem. Rozvod ventily, příp. šoupátky. <math>V_g = f(e)</math>.</p>	
<p>Radiální s vnitřním vedením pístů</p> 	<p>Písty kmitají v rotoru, kruhový stator je vůči rotoru výstředně uložen a je stavitelný. Rozvod výřezy <math>V_g = f(e)</math></p>	

Obrázek 1 Pístová čerpadla (2)

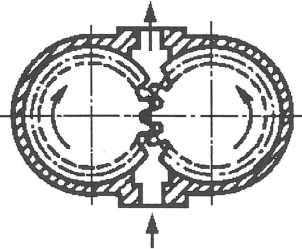
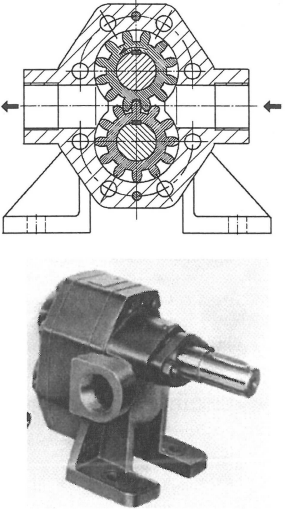
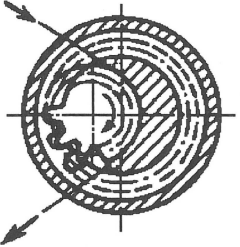
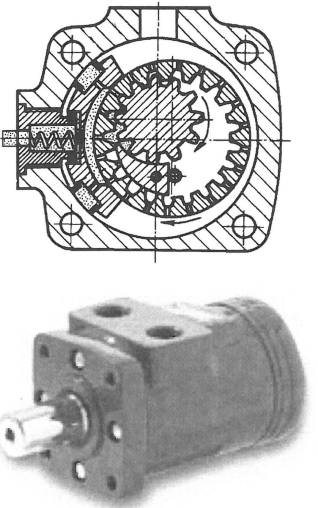
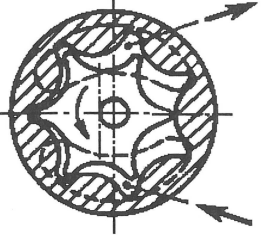
Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
<b>Pracovní prvek - píst (přímočarý vratný pohyb)</b>		
<p>Radiální s vnějším vedením pístu</p> 	<p>Písty kmitají ve statoru, výstředný čep hřídele uvádí písty do pohybu. Rozvod výřezy, ojedinele ventily. Změnou výstřednosti čepu se mění velikost činného prostoru; <math>V_g = f(e)</math>.</p>	
<p>Diagonální s výstřednou opěrnou deskou</p> 	<p>Těleso s diagonálně uloženými kmitajícími písty i opěrná deska pístů rotují. Rozvod výřezy. Velikost činného prostoru se mění změnou výstřednosti tělesa vůči opěrné desce; <math>V_g = f(e)</math>.</p>	
<p>Axiální s rotující nakloněnou deskou</p> 	<p>Písty kmitají v nehybném tělese, deska rotuje. Rozvod výřezy, ojedinele ventily. Velikost činného prostoru se mění sklonem desky; <math>V_g = f(\alpha)</math>.</p>	
<p>Axiální s nerotující nakloněnou deskou</p> 	<p>Písty kmitají v rotujícím tělese. Rozvod výřezy. Velikost činného prostoru se mění sklonem desky; <math>V_g = f(\alpha)</math>.</p>	

Obrázek 2 Pístová čerpadla (2)

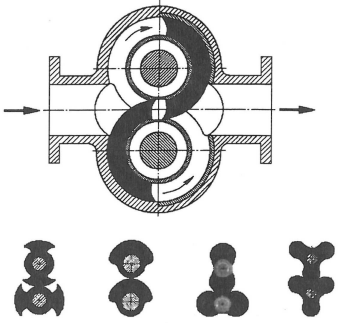
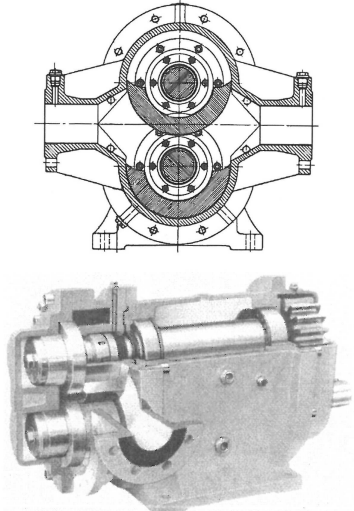
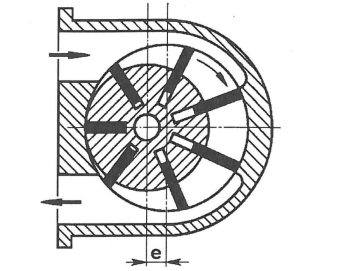
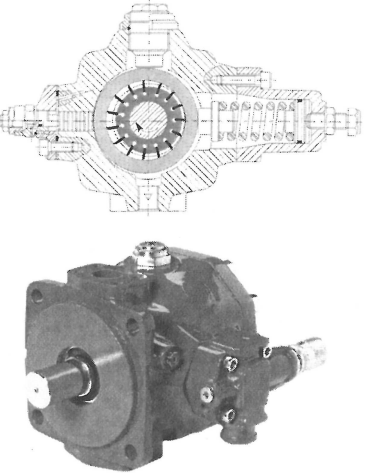
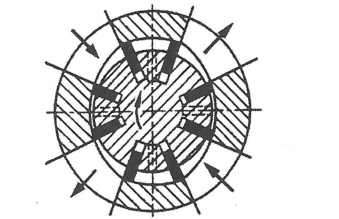
Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
<b>Pracovní prvek - píst (přímočarý vratný pohyb)</b>		
<p>Axiální s nakloněným tělesem (šikmým blokem válců)</p> 	<p>Písty kmitají v rotujícím tělese rovnoběžně s osou tělesa. Těleso s písty i deska s ojnicemi rotují. Rozvod výřezy. Velikost činného prostoru se mění sklonem bloku válců; <math>V_g = f(\alpha)</math>.</p>	
<b>Pracovní prvek - membrána</b>		
<p>Membránové s elastickou membránou</p> 	<p>Membrána je ovládána mechanicky nebo pneumaticky nebo hydraulicky. Membrána je současně těsnícím a pracovním prvkem. Rozvod ventily.</p>	<p>Jednoduché s mechanickým pohonem, průhyb membrány prostřednictvím kapaliny</p>  <p>Dvojité s pneumatickým pohonem</p> 

Obrázek 3 Pístové a membránové čerpadlo (2)



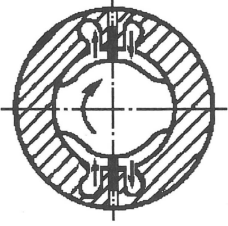
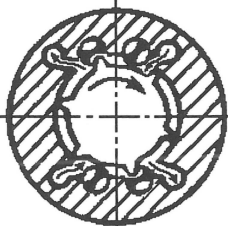
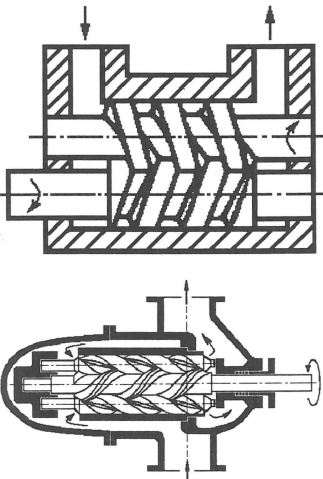
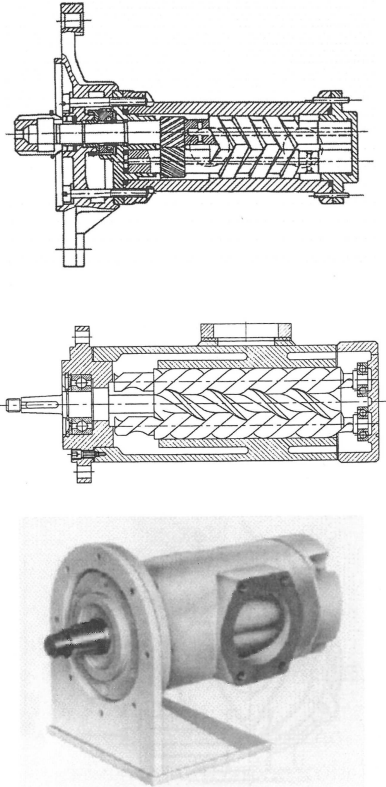
Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
<b>Pracovní prvek - zub</b>		
<p>Zubové s vnějším ozubením</p> 	<p>Mezery mezi zuby tvoří se stěnami tělesa činný prostor, který se nedá měnit.  <math>V_g = \text{konst.}</math></p>	
<p>Zubové s vnitřním ozubením</p> 	<p>Stejně jako předchozí, ale tišší chod.</p>	
<p>Orbitální (prstencové)</p> 	<p>Excentricky uložený rotor s vnějším ozubením má o jeden zub méně než je počet mezer statoru.  <math>V_g = \text{konst.}</math></p>	

Obrázek 4 Zubová čerpadla (2)

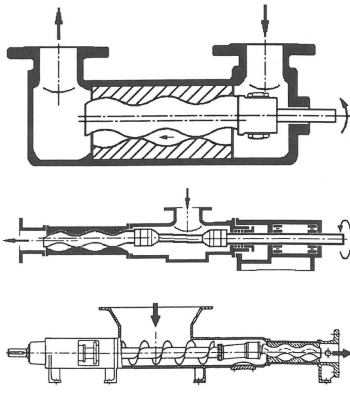
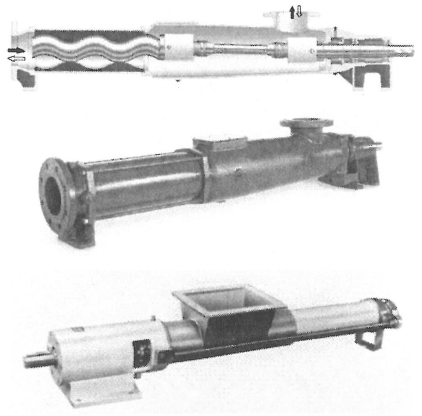
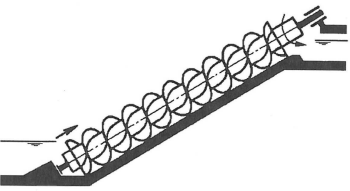
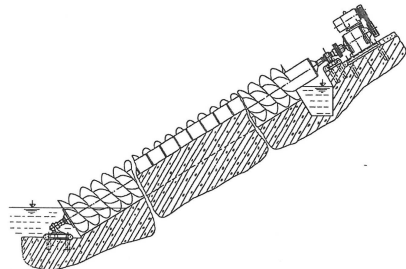
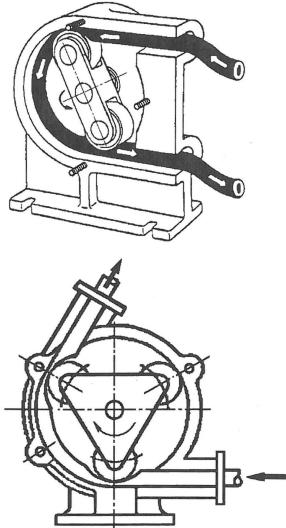
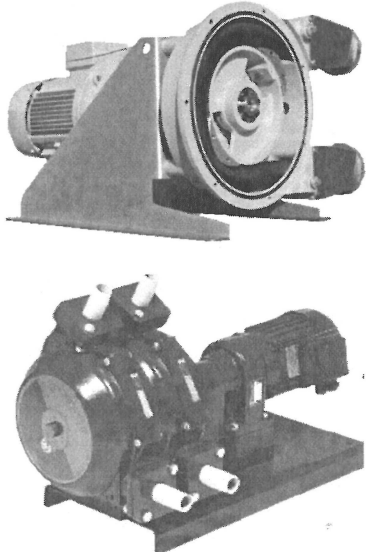
Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
<b>Pracovní prvek - rotační píst ("zub", "vačka", "nůž")</b>		
<p>S rotačními písty (zubové, vačkové, nožové)</p> 	<p>Mezery mezi rotujícími, vzájemně se nedotýkajícími pracovními prvky (rotačními písty – např. tvarovanými jako části mezikruží, nebo ve tvaru "piškotu", aj.) a stěnami statoru tvoří činný prostor.  <math>V_g = \text{konst.}</math></p>	
<b>Pracovní prvek – lamela</b>		
<p>Lamelové s kruhovým státorem</p> 	<p>Lamely kmitají ve výřezech kruhového rotoru, který je vůči statoru excentricky uložen a kloužou po kruhové dráze statoru přitlačovány odstředivou silou.  <math>V_g = f(e)</math>.</p>	
<p>Lamelové s oválným státorem</p> 	<p>Obdobně jako předchozí, kruhový rotor není excentricky uložen, oválný stator je osově symetrický.  <math>V_g = \text{konst.}</math></p>	

Obrázek 5 Pístové čerpadlo a lamelová čerpadla (2)



Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
<b>Pracovní prvek – lamela</b>		
<p>Lamelové s oválným rotorem</p> 	<p>Rotor eliptický nebo se dvěma vačkami, lamely kmitají ve výřezech kruhového statoru a oddělují vstupní a výstupní kanály.  <math>V_g = \text{konst.}</math></p>	
<p>S otáčivými lamelami</p> 	<p>Ozubený rotor a těleso statoru tvoří činný prostor. Vstupní a výstupní kanály jsou navzájem odděleny dvojicemi nuceně poháněných rotujících lamel.  <math>V_g = \text{konst.}</math></p>	
<b>Pracovní prvek - závit ("šikmý zub", "vřeteno", "šroub", "šroubová plocha" )</b>		
<p>Vřetenové</p> 	<p>Činný prostor tvoří obvykle čtvercové nebo lichoběžníkové závit rotorů a válcové těleso statoru. Závit se dotýkají jak vzájemně, tak statoru. Pohyb dvou vřeten je synchronizován převodem ozubenými koly, u vícevřetenových strojů se vřetena vzájemně po sobě odvalují (závit – evolventa, cykloida)  <math>V_g = \text{konst.}</math></p>	

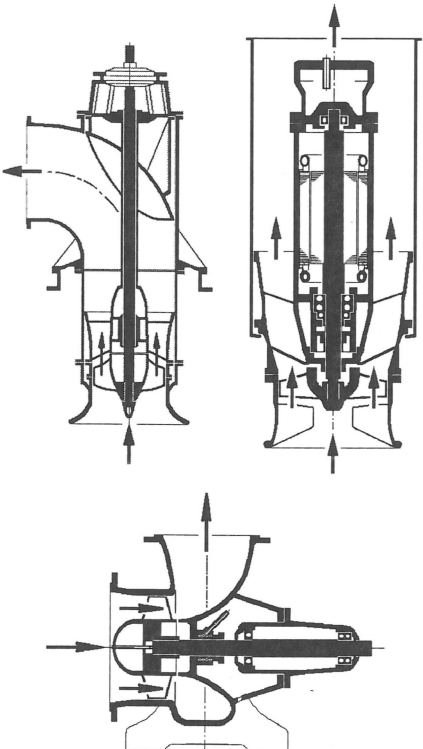

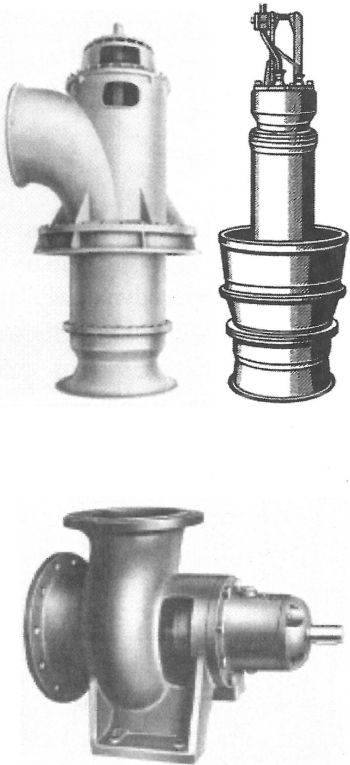
Obrázek 6 Lamelové a vřetenové čerpadlo (2)

Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
<b>Pracovní prvek - závit ("šikmý zub", "vřeteno", "šroub", "šroubová plocha" )</b>		
<p>Vřetenové (šnekové, šroubové)</p> 	<p>Činný prostor tvoří oblý vnější závit vřetene rotoru a pružné těleso statoru s vnitřním oblým závitěm. Dutiny mezi státorem a rotorem naplněné kapalinou se při rotaci vřetene axiálně posouvají.</p> <p><math>V_g = \text{konst.}</math></p>	
<p>Šroubové (Archimédův šroub)</p> 	<p>Jedno nebo vícechodý závit ve tvaru šroubové plochy rotuje ve válcovém žlabu. Kapalina je zdvihána v prostorech tvořených šroubovou plochou, válcovým tělesem šroubu a tělesem žlabu.</p> <p><math>V_g = \text{konst.}</math></p>	
<b>Pracovní prvek – vačka</b>		
<p>Hadicové (peristaltické)</p> 	<p>Kapalina je dopravována v elastické hadici, která je stlačována odvalujícími se vačkami nebo posouvajícími se třecími plochami rotoru.</p> <p><math>V_g = \text{konst.}</math></p>	

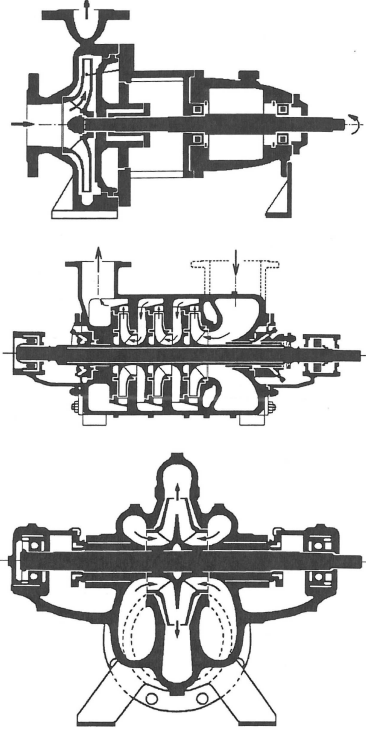
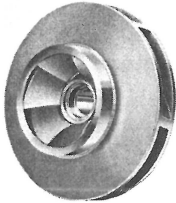
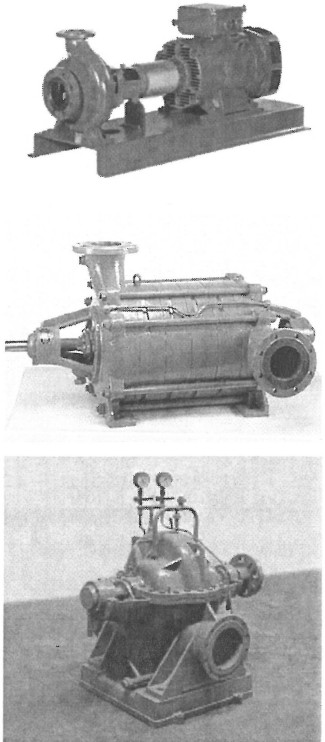
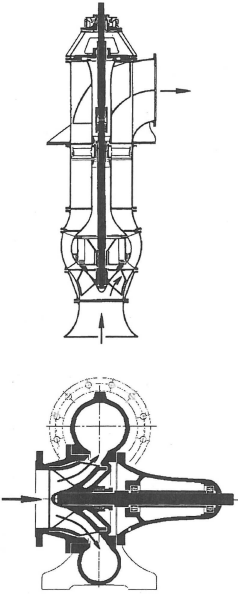
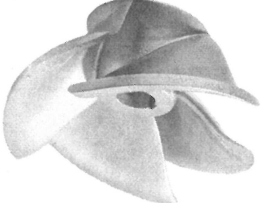
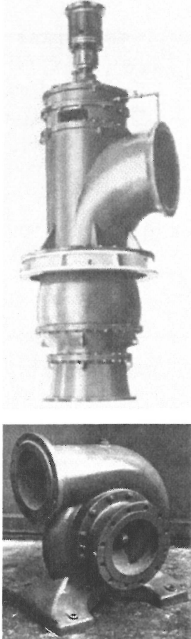
Obrázek 7 Vřetenové a peristaltické čerpadlo (2)

## 4 Hydrodynamická čerpadla

U hydrodynamických čerpadel se kinetická energie pohonu mění na kinetickou a tlakovou energii kapaliny. Děje se tak pomocí rotoru. Ve statoru se potom mění kinetická energie kapaliny na energii tlakovou. Konstrukčně se hydrodynamická čerpadla dělí na axiální, radiální a diagonální. Jedná se o směr výstupu kapaliny z oběžného kola. (1)

Hydrodynamické čerpadlo	Charakteristické znaky oběžného kola	Konstrukční provedení
<p><b>Axiální</b></p> 	<p>Obvykle otevřené (výjimečně uzavřené) axiální oběžné kolo s prostorově zborcenou plochou lopatek.</p> <p>Kolo axiálně protékané, lopatky kola pevné nebo natáčivé.</p> 	

Obrázek 8 Axiální čerpadlo (1)

Hydrodynamické čerpadlo	Charakteristické znaky oběžného kola	Konstrukční provedení
<p><b>Radiální</b> Odstředivé čerpadlo</p> 	<p>Uzavřené (s krycím diskem) nebo otevřené (bez krycího disku) radiální oběžné kolo s nezborcenou nebo prostorově zborcenou plochou lopatek.</p> <p>Kolo odstředivě protékané, lopatky kola pevné.</p> 	
<p><b>Diagonální</b> Diagonální čerpadlo</p> 	<p>Uzavřené nebo otevřené diagonální oběžné kolo s prostorově zborcenou plochou lopatek.</p> <p>Kolo diagonálně (šikmo) protékané směrem od osy rotace, lopatky kola pevné nebo natáčivé.</p> 	

Obrázek 9 Radiální a diagonální čerpadlo (2)



## 5 Výpočtová část

V této části budu navrhovat hřídel a oběžné kolo čerpadla. Dále zkontroluji hřídelové pero na stříh a otláčení. Vycházím ze skript od pana inženýra Houště ze školního disku K (3). Z katalogu (4) nalezeného na internetu jsem určil vstupní hodnoty pro výpočet. Jedná se o objemový průtok  $Q_V$ , dopravní výšku  $H$  a otáčky hřídele  $n$ . Dále vím, že čerpadlo bude mít tři stupně a že dopravovanou kapalinou bude voda. Celková účinnost  $\eta_c$  se určuje pomocí Erhartova diagramu, ten však nemám k dispozici. Proto celkovou účinnost zvolím rovnu 80%. Maximální dovolené napětí v krutu  $\tau_{DK}$  pro materiál 11 600 volím z důvodu zúžení v místě drážky pro pero a zvýšeným požadavkům na trvanlivost hřídele jako 25% tabulkové hodnoty. Výpočty jsem prováděl v programu MS Excel a hodnoty, které jsem zde zaokrouhloval Excel nezaokrouhloval, proto mám přesnější výsledky (výjimku u zaokrouhlování tvoří pouze účelové zaokrouhlení nahoru, např. u příkonu elektromotoru P).

$$Q_V = 300 \text{ l/s} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 100 \text{ m}$$

$$s = 3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta_c = 80\%$$

$$n = 980 \text{ min}^{-1}$$

$$f \approx 16,333 \text{ s}^{-1}$$

$$\tau_{DK} = 20 \text{ MPa}$$

### 5.1 Návrh oběžného kola (3)

*Výpočet měrné energie  $Y$*

$$Y = H \cdot g$$

$$Y \approx 100 \cdot 9,81$$

$$Y \approx 981 \text{ J/kg}$$

*Výpočet dopravní výšky na 1 stupeň čerpadla  $H_1$*

$$H_1 = \frac{H}{s}$$

$$H_1 = \frac{100}{3}$$

$$H_1 \approx 33,333m$$

*Výpočet měrné energie na 1 stupeň čerpadla  $Y_1$*

$$Y_1 = H_1 \cdot g$$

$$Y_1 \approx 33,333 \cdot 9,81$$

$$Y_1 \approx 327J / kg$$

*Výpočet příkonu elektromotoru  $P$*

$$P = \frac{Q_v \cdot \rho \cdot Y}{\eta_c}$$

$$P \approx \frac{0,3 \cdot 998 \cdot 981}{0,8}$$

$$P \approx 367140W$$

volím  $P=370$  kW

*Výpočet krouticího momentu  $M_k$*

$$M_k = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$M_k \approx \frac{370000}{2 \cdot \pi \cdot 16,333}$$

$$M_k \approx 3605,347N \cdot m$$

*Výpočet průměru hřídele  $d$*

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} \leq \tau_{DK}$$

$$\frac{M_K}{0,2 \cdot d^3} \leq \tau_{DK}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot M_K}{\tau_{DK}}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 3605347}{20}}$$

$$d \approx 96,597 \text{ mm}$$

z důvodu velkého namáhání a požadavku na trvanlivost hřídele volím  $d=130 \text{ mm}$

*Výpočet průměr náboje oběžného kola  $d_0$*

$$d_0 = (1,6 - 1,8) \cdot d$$

volím střední hodnotu 1,7

$$d_0 = 1,7 \cdot 130$$

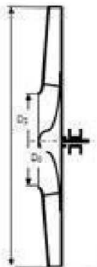
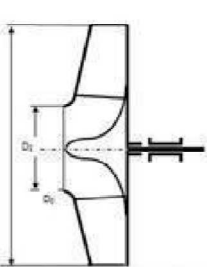
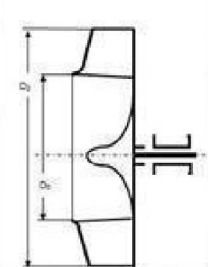
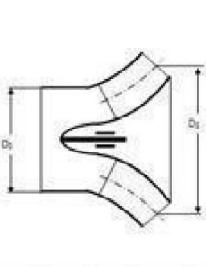
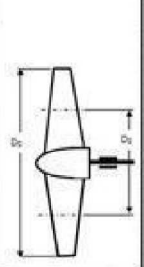
$$d_0 = 221 \text{ mm}$$

*Určení rychloběžnosti čerpadla  $\sigma$*

$$\sigma = 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \frac{f \cdot \sqrt{Q_V}}{\sqrt[4]{(2 \cdot Y_1)^3}}$$

$$\sigma \approx 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \frac{16,333 \cdot \sqrt{0,3}}{\sqrt[4]{(2 \cdot 327)^3}}$$

$$\sigma \approx 0,245$$

$\sigma$	0,06 až 0,104	0,104 až 0,26	0,26 až 0,52	0,52 až 1,04	1,04 až 2,6
$n_s$	35 až 65	60 až 150	150 až 300	300 až 600	600 až 1500
Název	radiální pomaloběžné	radiální normální	radiální rychloběžné	diagonální	axiální vrtulové
Použití	malé $Q_V$ velké $Y$	střední $Q_V$ menší $Y$	větší $Q_V$ menší $Y$	velké $Q_V$ malé $Y$	největší $Q_V$ malé $Y$
$D_2/D_0 = x$	2,5 až 2,2	2,2 až 1,6	1,6 až 1,3	1,2 až 1,1	0,8 až 0,5
Počet lopatek	10 až 9	9 až 7	7	6	2 až 4
Tvar oběžného kola					

Obrázek 10 Oběžná kola hydrodynamických čerpadel (3)

volím  $x=1,6$

volím  $z=7$

Tlakový součinitel  $\psi$  se volí z rozmezí 0,7 až 0,9 pro čerpadla bez převaděče.

volím  $\psi=0,7$

*Určení obvodové rychlosti na výstupu z oběžného kola  $u_2$*

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot Y_1}{\psi}}$$

$$u_2 \approx \sqrt{\frac{2 \cdot 327}{0,7}}$$

$$u_2 \approx 30,566 \text{ m/s}$$

*Výpočet průměru oběžného kola na výstupu  $D_2$*

$$u_2 = \pi \cdot D_2 \cdot f$$

$$D_2 = \frac{u_2}{\pi \cdot f}$$

$$D_2 \approx \frac{30,566}{\pi \cdot 16,333}$$



$$D_2 \approx 0,595683m$$

$$D_2 \approx 595,683mm$$

volím  $D_2=596$  mm

*Výpočet průměru oběžného kola na vstupu do oběžného kola  $D_0$*

$$x = \frac{D_2}{D_0}$$

$$D_0 = \frac{D_2}{x}$$

$$D_0 \approx \frac{596}{1,6}$$

$$D_0 = 372,5mm$$

volím  $D_0=374$  mm

*Výpočet rychlosti na vstupu do oběžného kola  $c_0$*

U oběžného kola dochází vlivem vůle mezi oběžným kolem a statorem ke zpětnému proudění. Z tohoto důvodu je třeba zvětšit požadované průtočné množství o 10%.

$$1,1 \cdot Q_V = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_0^2) \cdot c_0$$

$$c_0 = \frac{4,4 \cdot Q_V}{\pi \cdot (D_0^2 - d_0^2)}$$

$$c_0 \approx \frac{4,4 \cdot 0,3}{\pi \cdot (0,374^2 - 0,221^2)}$$

$$c_0 \approx 4,615m/s$$

*Určení absolutní rychlosti na vstupu do lopatky  $c_1$*

Absolutní vstupní rychlost  $c_1$  volím stejnou jako je rychlost na vstupu do oběžného kola  $c_0$ .

$$c_1 = c_0 \approx 4,615m/s$$

*Určení průměru oběžného kola na vstupu do lopatky  $D_1$*

Tento průměr volím stejný jako průměr oběžného kola na vstupu do oběžného kola  $D_0$ .

$$D_1 = D_0 \approx 374\text{mm}$$

*Výpočet unášivé rychlosti na vstupu do kanálu oběžného kola  $u_1$*

$$u_1 = \pi \cdot D_1 \cdot f$$

$$u_1 \approx \pi \cdot 0,374 \cdot 16,333$$

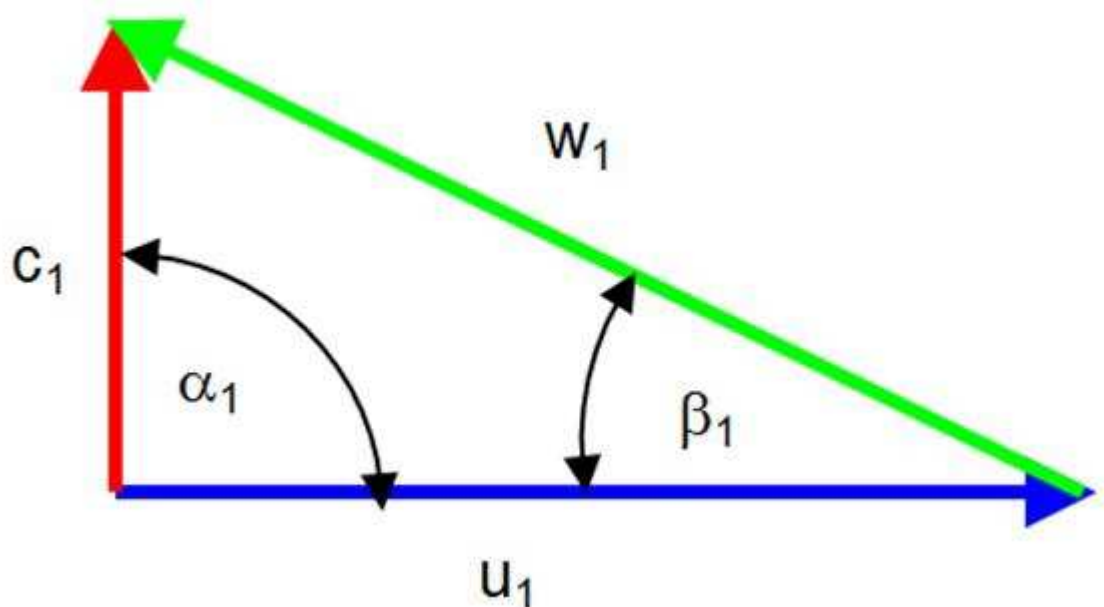
$$u_1 \approx 19,191\text{m/s}$$

*Výpočet úhlu sklonu relativní rychlosti  $\beta_1$*

$$\text{tg}\beta_1 = \frac{c_1}{u_1}$$

$$\text{tg}\beta_1 \approx \frac{4,615}{19,191}$$

$$\beta_1 \approx 13,523^\circ$$



Obrázek 11 Rychlostní trojúhelník (3)

*Výpočet šířky kanálu na vstupu do oběžného kola  $b_1$*

Stejně jako u výpočtu rychlosti na vstupu do oběžného kola  $c_0$  předpokládám návrat 10% průtoku zpět na sání vlivem vůle mezi oběžným kolem a statorem. Dále je potřeba

zvolit součinitel zmenšení průtočného průřezu vlivem tloušťky oběžných lopatek  $k_1$ .  
Velikost tohoto součinitele se volí z rozmezí 0,85 až 0,9.

volím  $k_1=0,88$

$$1,1 \cdot Q_V = \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot c_1 \cdot k_1$$

$$b_1 = \frac{1,1 \cdot Q_V}{\pi \cdot D_1 \cdot c_1 \cdot k_1}$$

$$b_1 \approx \frac{1,1 \cdot 0,3}{\pi \cdot 0,374 \cdot 4,615 \cdot 0,88}$$

$$b_1 \approx 0,069150m$$

$$b_1 \approx 69,150mm$$

volím  $b_1=70$  mm

#### *Určení rychlostních poměrů na výstupní hraně lopatky*

Vlivem konečného počtu lopatek je rychlostní trojúhelník zdeformován. Z toho důvodu je skutečný úhel  $\beta_3$  menší než teoretický úhel  $\beta_3$ . Rychlost  $c_{u2}$  určím na základě Eulerovy rovnice. Hydraulickou účinnost volím z rozmezí 0,6 až 0,85.

volím  $\eta_h=80\%$

$$Y = Y_T \cdot \eta_h$$

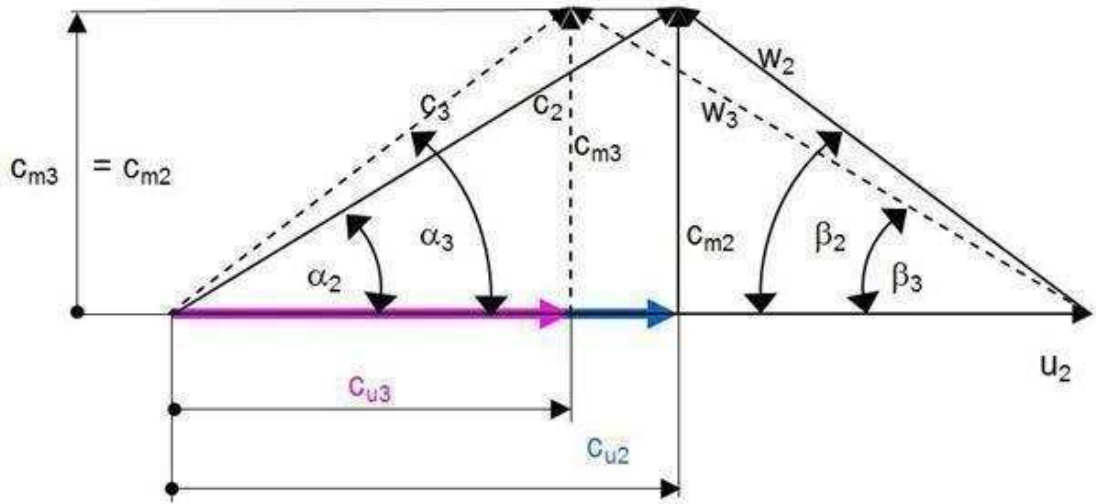
$$Y = (u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1}) \cdot \eta_h$$

$$Y = u_2 \cdot c_{u2} \cdot \eta_h$$

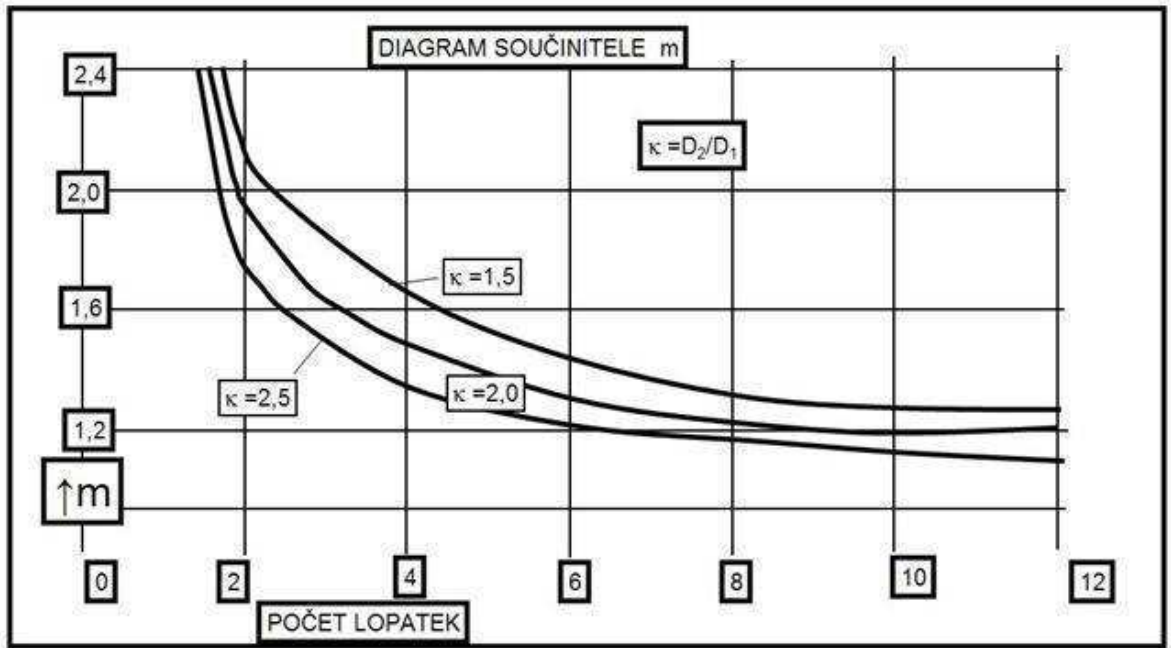
$$c_{u2} = \frac{Y_1}{u_2 \cdot \eta_h}$$

$$c_{u2} \approx \frac{327}{30,566 \cdot 0,8}$$

$$c_{u2} \approx 13,373m/s$$



Obrázek 12 Rychlostní trojúhelníky čerpadla (3)



Obrázek 13 Diagram součinitele m (3)

$$k = \frac{D_2}{D_1}$$

$$k \approx \frac{596}{374}$$

$$k \approx 1,594$$

volím  $m=1,35$

$$c_{u3} = \frac{c_{u2}}{m}$$

$$c_{u3} \approx \frac{13,373}{1,35}$$

$$c_{u3} \approx 9,906 \text{ m/s}$$

Pro maximální hodnotu předané energie je  $\alpha_1=90^\circ$  (viz Obrázek 2), proto  $c_{m1}=c_1$

$$c_{m1} = c_1 \approx 4,615 \text{ m/s}$$

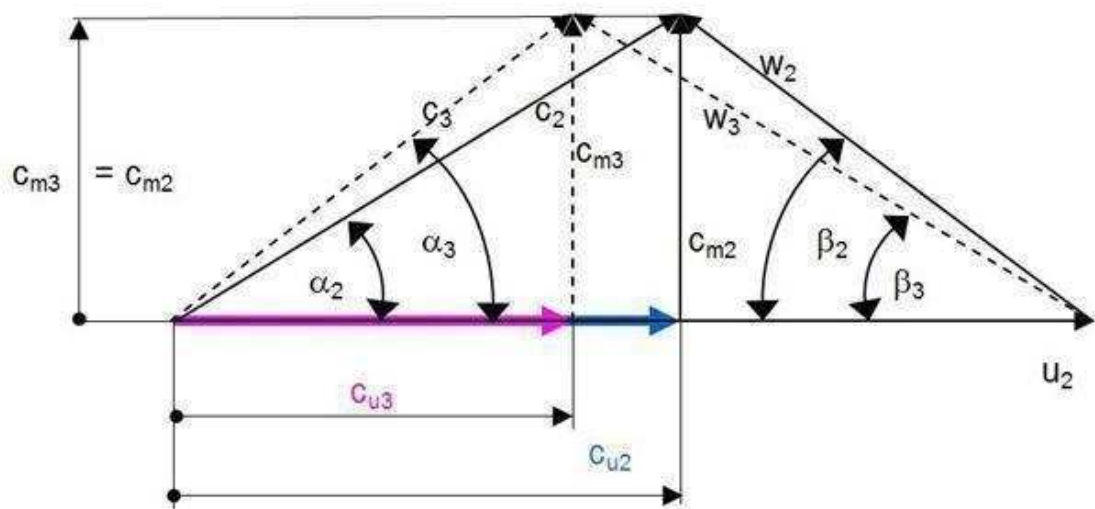
$$c_{m2} = 1,1 \cdot c_{m1}$$

$$c_{m2} \approx 1,1 \cdot 4,615$$

$$c_{m2} \approx 5,077 \text{ m/s}$$

$$c_{m3} = c_{m2} \approx 5,077 \text{ m/s}$$

*Výpočet úhlu lopatky  $\beta_3$*



Obrázek 14 Rychlostní trojúhelníky čerpadla (3)

$$\operatorname{tg} \beta_3 = \frac{c_{m3}}{u_2 - c_{u3}}$$

$$\operatorname{tg} \beta_3 \approx \frac{5,077}{30,566 - 9,906}$$

$$\beta_3 \approx 13,806^\circ$$

### *Výpočet šířky lopatky na výstupu z oběžného kola $b_2$*

Je potřeba zvolit součinitel zúžení kanálu vlivem konečné tloušťky lopatek  $k_2$  z rozmezí 0,9 až 0,95. Průtočné množství je opět zvětšeno o 10% z důvodu zpětného proudění.

volím  $k_2=0,93$

$$1,1 \cdot Q_V = \pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot c_{m3} \cdot k_2$$

$$b_2 = \frac{1,1 \cdot Q_V}{\pi \cdot D_2 \cdot c_{m3} \cdot k_2}$$

$$b_2 \approx \frac{1,1 \cdot 0,3}{\pi \cdot 0,374 \cdot 5,077 \cdot 0,93}$$

$$b_2 \approx 0,037327m$$

$$b_2 \approx 37,327mm$$

volím  $b_2=38 \text{ mm}$

### *Přehled hodnot pro konstrukci oběžného kola*

$d=130 \text{ mm}$

$d_0=221 \text{ mm}$

$D_1=374 \text{ mm}$

$D_2=596 \text{ mm}$

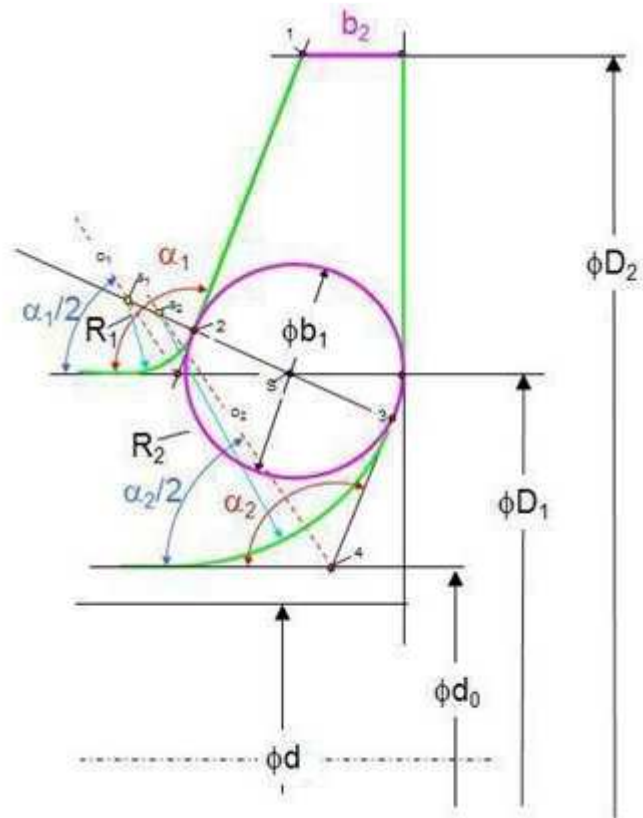
$b_1=70 \text{ mm}$

$b_2=38 \text{ mm}$

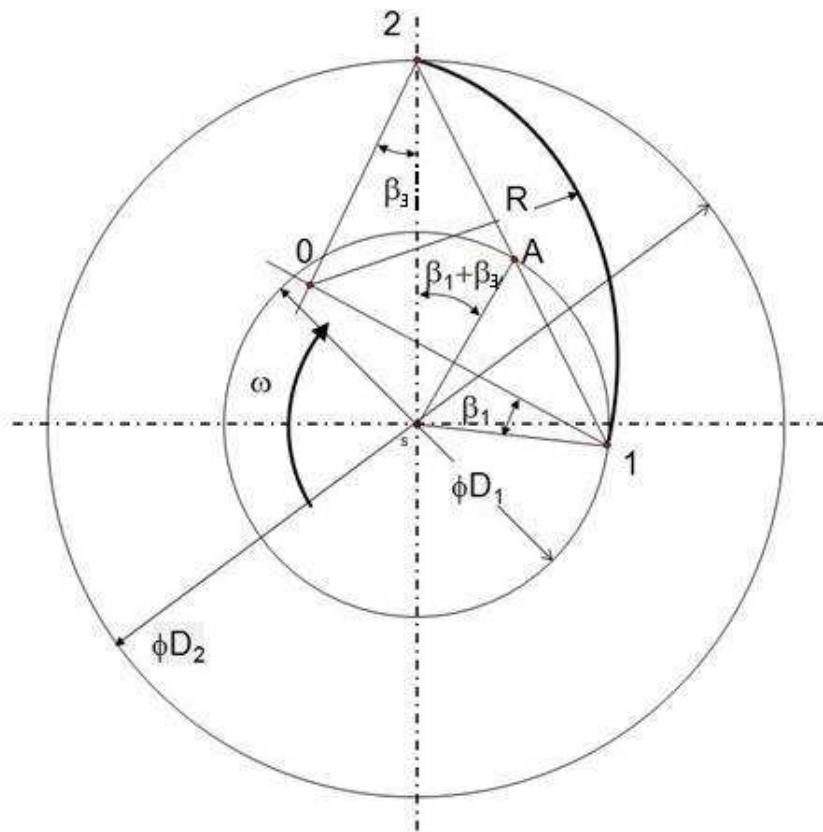
$\beta_1=13,523^\circ$

$\beta_3=13,806^\circ$

$\beta_1+\beta_3=27,329^\circ$



Obrázek 15 Konstrukce kanálu oběžného kola (3)



Obrázek 16 Konstrukce lopatky oběžného kola (3)

## 5.2 Kontrola pera na stříh a otláčení

Zde budu kontrolovat pera na stříh a otláčení v náboji. Kontrolovaná pera se nachází na hřídeli rotoru, konkrétně na průměru 130 mm. Sílu působící na pero si vypočítám z krouticího momentu z bodu 5.1. Z důvodu velkého zatížení volím dvě pera umístěná po 180°, každé o délce 125 mm. Dovolené napětí ve smyku volím 85 MPa. Dovolené napětí v otláčení náboje volím 50 MPa.

$$M_k \approx 3605,347 \text{ N.m} \approx 3605347 \text{ N.mm}$$

$$d = 130 \text{ mm}$$

$$b = 32 \text{ mm}$$

$$t_1 = 6,9 \text{ mm}$$

$$l = 125 \text{ mm}$$

$$\tau_{DS} = 85 \text{ Mpa}$$

$$p_D = 50 \text{ Mpa}$$

$$\tau_s = \frac{F}{S_s} \leq \tau_{DS}$$

$$M_k = \frac{F \cdot d}{2}$$

$$F = \frac{2 \cdot M_k}{d}$$

$$F \approx \frac{2 \cdot 3605347}{130}$$

$$F \approx 55466,87 \text{ N}$$

$$S_s = 2 \cdot \left[ \frac{\pi \cdot b^2}{4} + b \cdot (l - b) \right]$$

$$S_s = 2 \cdot \left[ \frac{\pi \cdot 32^2}{4} + 32 \cdot (125 - 32) \right]$$



$$S_s \approx 7560,495 \text{mm}^2$$

$$\tau_s = \frac{F}{S_s} \leq \tau_{Ds}$$

$$\tau_s \approx \frac{55466,87}{7560,495}$$

$$\tau_s \approx 7,34 \text{MPa}$$

$$7,34 < 85$$

Pero vyhovuje na stříh.

$$p = \frac{F}{S_o} \leq p_D$$

$$S_o = 2 \cdot [t_1 \cdot (l - b)]$$

$$S_o = 2 \cdot [6,9 \cdot (125 - 32)]$$

$$S_o = 1283,4 \text{mm}^2$$

$$p = \frac{F}{S_o} \leq p_D$$

$$p \approx \frac{55466,87}{1283,4}$$

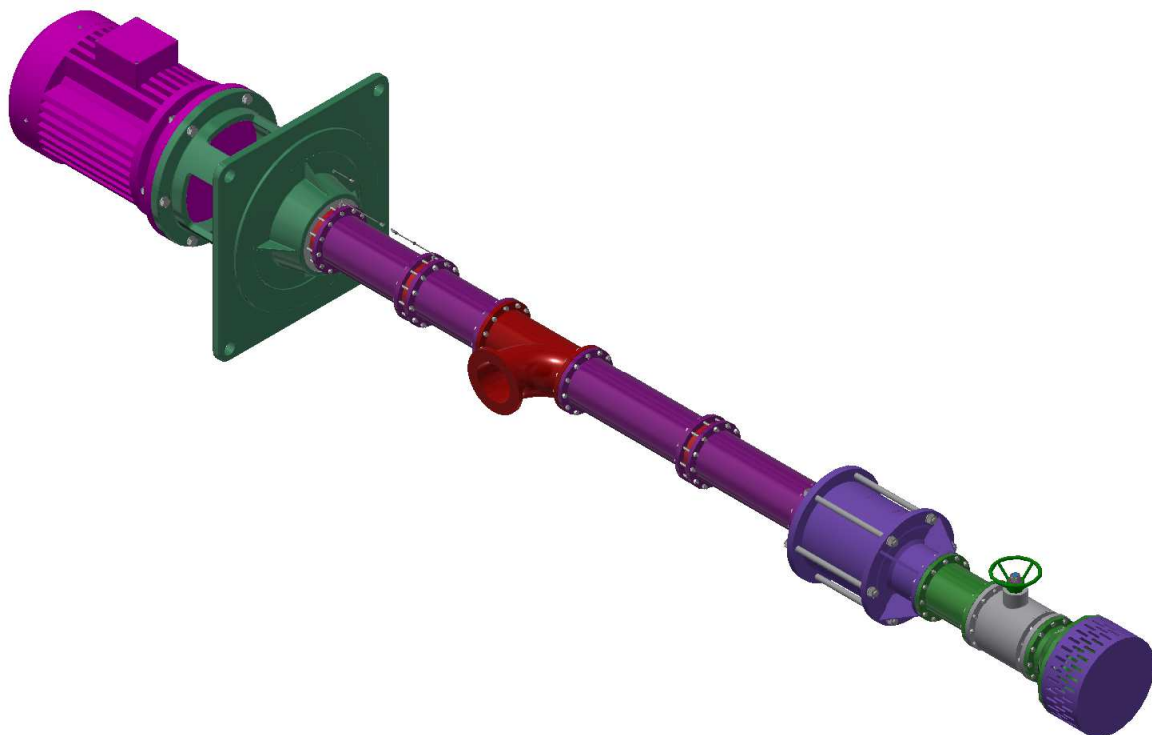
$$p \approx 43,22 \text{MPa}$$

$$43,22 < 50$$

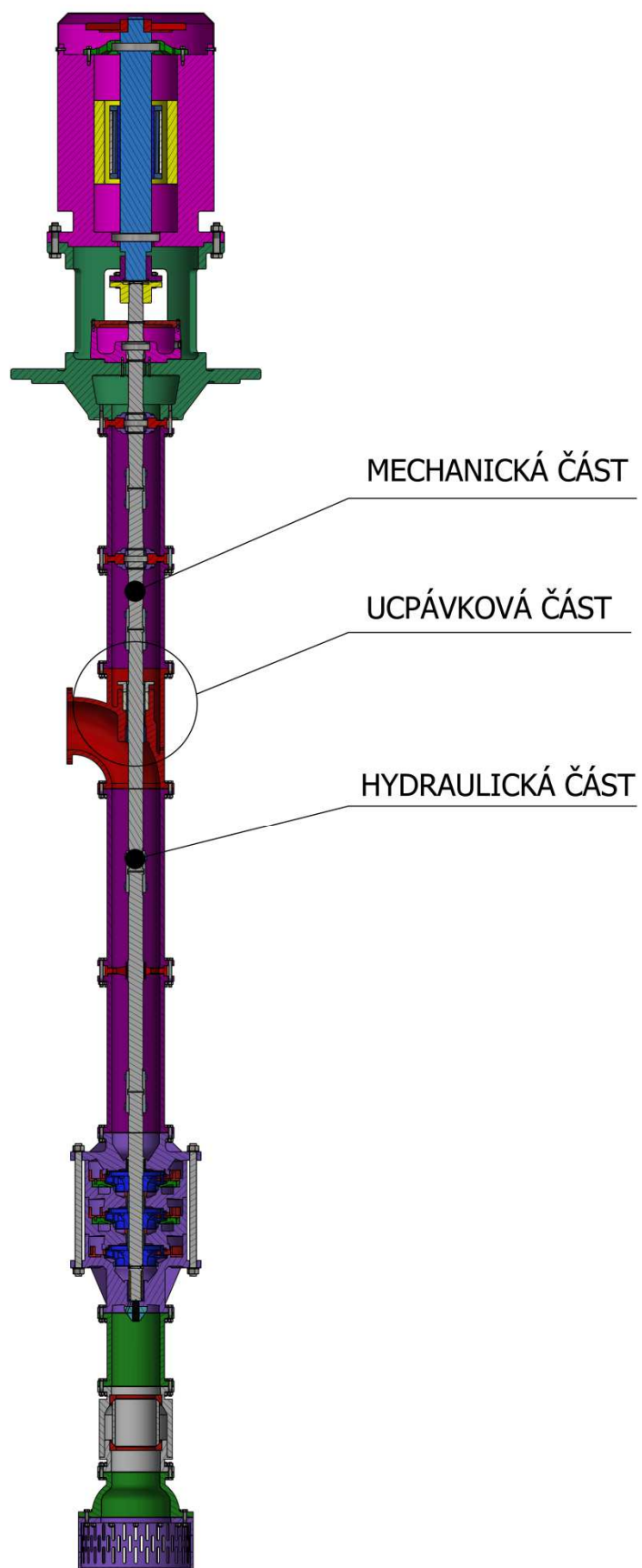
Náboj vyhovuje na otláčení.

## 6 Konstrukční část

Tato část práce se zabývá konstrukcí 3D modelu vertikálního odstředivého radiálního čerpadla v programu Autodesk Inventor 2017. Čerpadlo má celkem tři stupně, respektive tři oběžná kola. Je rozděleno na tři části. Jedná se o hydraulickou, ucpávkovou a mechanickou část.



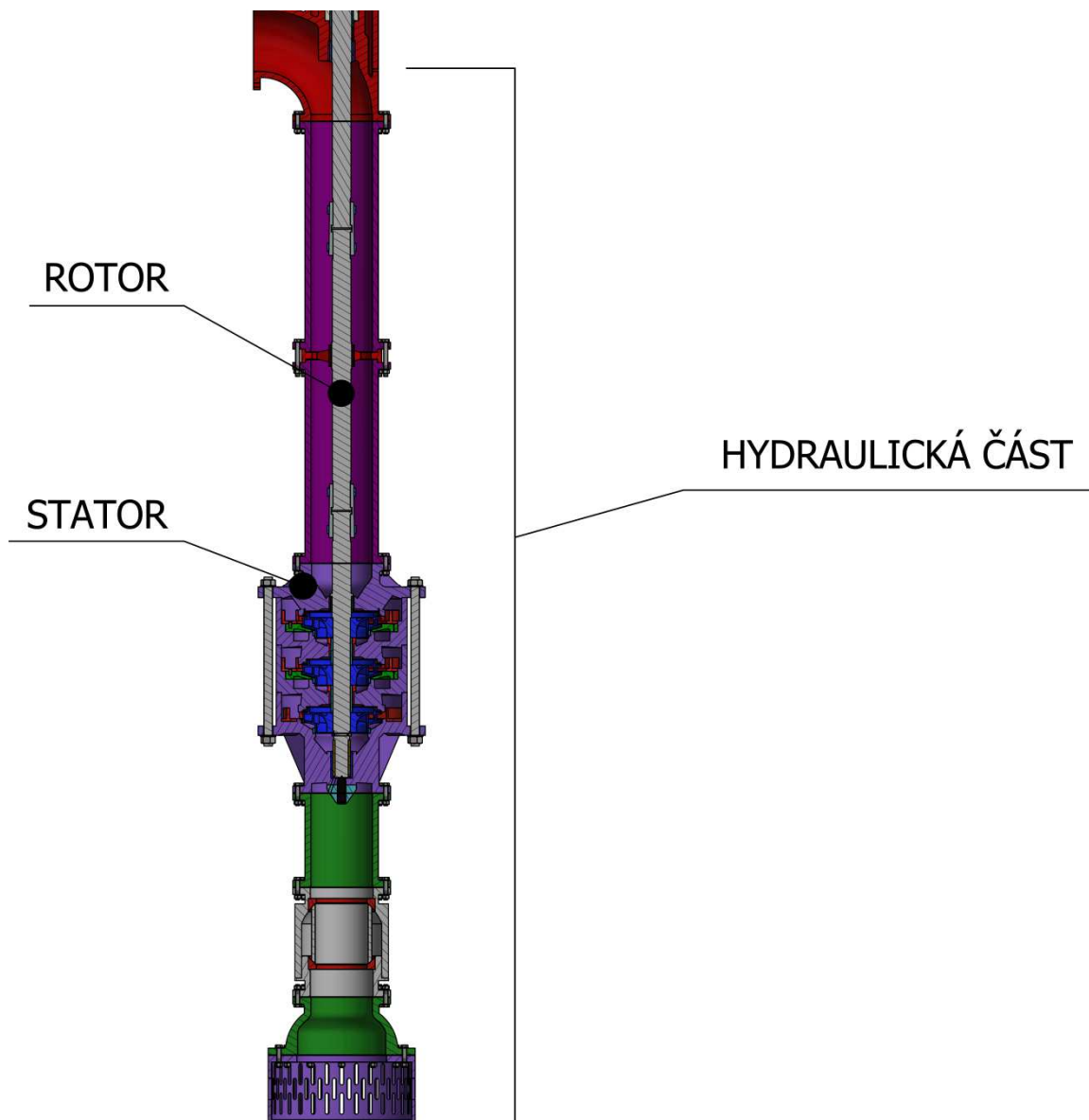
Obrázek 17 Celková sestava čerpadla



Obrázek 18 Celková sestava čerpadla v řezu

## 6.1 Hydraulická část

Hydraulická část je složena z rotoru a statoru. Rotor je uložen uvnitř statoru, kde rotuje, zatímco stator zůstává nehybný.



Obrázek 19 Hydraulická část čerpadla

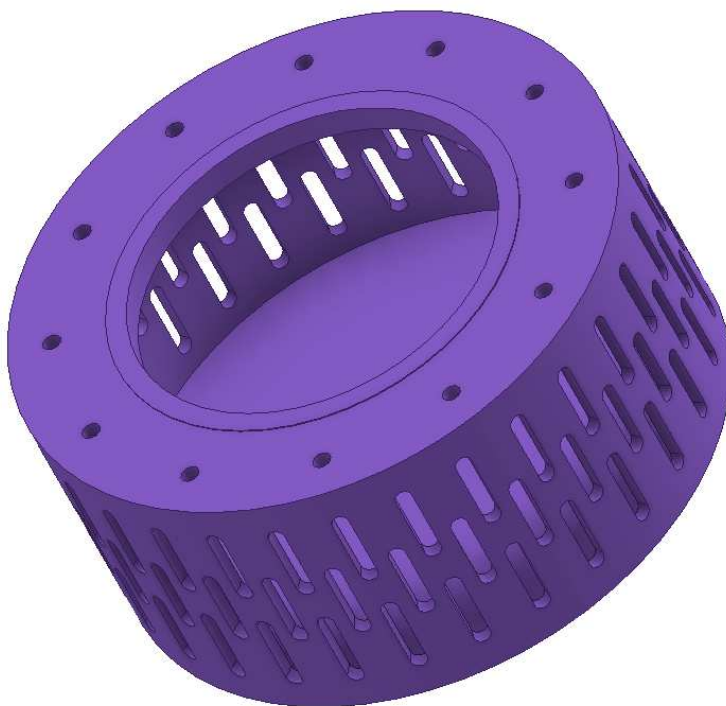
### 6.1.1 Stator

Stator hydraulické části je tvořen sacím košem, sacím zvonem, kohoutem, sacími a výtlačnými potrubími, ložiskovým mezikusem, difuzory, výtlačným kolenem, sacím a výtlačným tělesem a mezičlánky. Jednotlivá potrubí a sací a výtlačné těleso jsou spojeny pomocí šroubů a matic. Mezičlánky jsou k sacímu a výtlačnému tělesu dotlačovány

pomocí speciálních šroubů. Mezi jednotlivými potrubími a dalšími součástmi jsou umístěny těsnicí kroužky.

### *Sací koš*

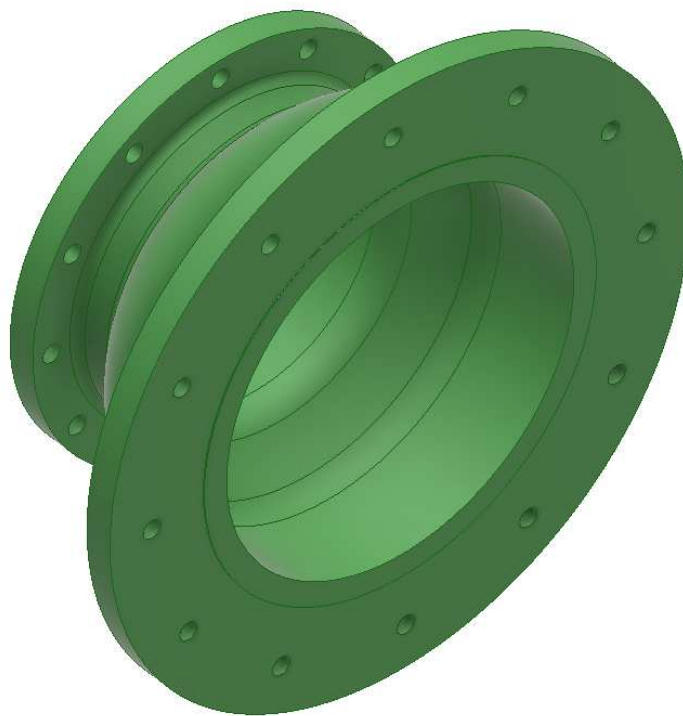
Úkolem sacího koše je zachycení hrubých nečistot, které by se mohly dostat do oběžných kol a způsobit tak ucpaní, případně poškození součástí čerpadla. Z důvodu eliminace nevyžádaných ztrát při sání je plocha všech děr v sacím koši rovna minimálně jeden a půl násobku průměru sacího potrubí. Sací koš bývá konstrukčně řešen jako děrovaný srolovaný plech, který je umístěn mezi dvěma disky, z nichž jeden tvoří dno. K sacímu zvonu je připevněn dvanácti šrouby. Mezi sacím košem a sacím zvonem je umístěn těsnicí kroužek, kvůli tomu je na horní ploše sacího koše vytvořeno odsazení, které těsnicí kroužek pojistí proti vypadnutí.



Obrázek 20 Sací koš

### *Sací zvon*

Je umístěn za sacím košem a před kohoutem. Slouží k postupnému zúžení průměru potrubí, kterým protéká kapalina. Sací zvon je konstrukčně řešen jako odlitek. Na obou jeho koncích je stejně jako u sacího koše vytvořeno odsazení pro těsnicí kroužek.



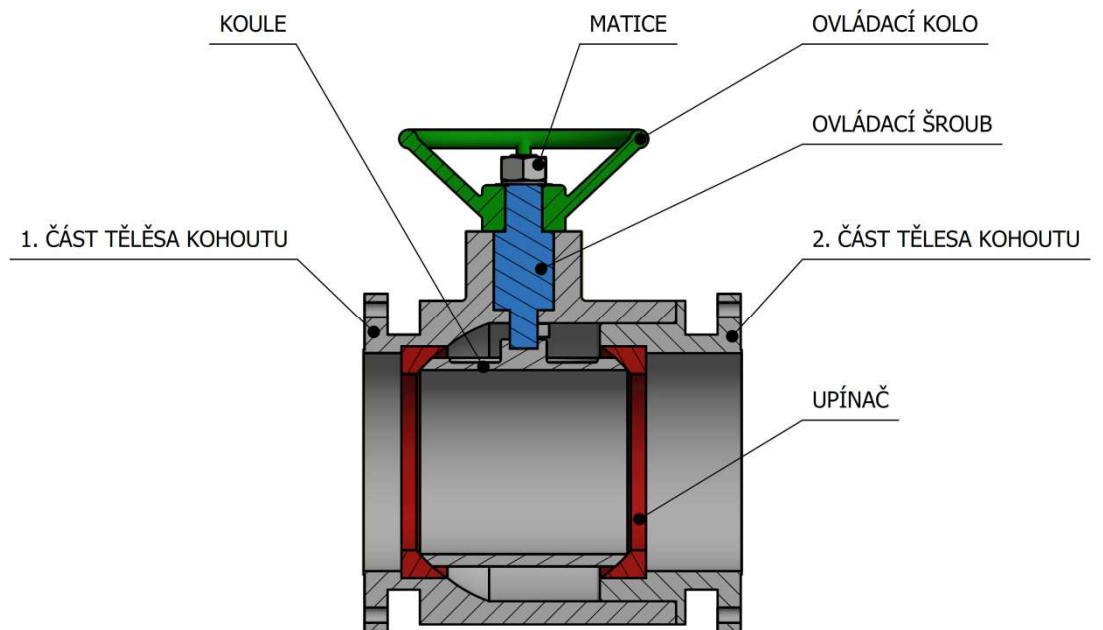
Obrázek 21 Sací zvon

### *Kohout*

Slouží k dvoupolohové regulaci průtoku média v čerpadle, tedy zapnuto, nebo vypnuto. Používá se zejména při naplňování čerpadla kapalinou před prvním spuštěním nebo při vypouštění kapaliny z čerpadla například při demontáži. Kohout je ovládán pomocí ovládacího kola. Protože se kohout nachází ve velkých hloubkách, používá se pro manipulaci s kolem dlouhá tyč s háčkem na konci. Těleso kohoutu se skládá ze dvou částí, které jsou spolu vzájemně spojené pomocí závitů. Každá část má jednu přírubu s dvanácti otvory pro spojení se sacím zvonem a sacím potrubím, a také odsazení pro těsnicí kroužek. Uvnitř tělesa se nachází koule, která je uložena ve dvou upínačích. Skrz kouli vede otvor pro průtok kapaliny. Součástí koule je prvek pro spojení koule s ovládacím šroubem. Na jedné části tělesa kohoutu je nátrubek, ve kterém je umístěn ovládací šroub. Ovládací šroub má na jedné straně speciální tvar pro spojení s koulí, a na druhé straně má čtyřhran a závit. V tělese kohoutu jsou výstupky, které dovolují ovládacímu šroubu otáčet se pouze o 90°. Ovládací kolo je spojeno s ovládacím šroubem pomocí čtyřhranu a pojištěno je maticí na konci šroubu.



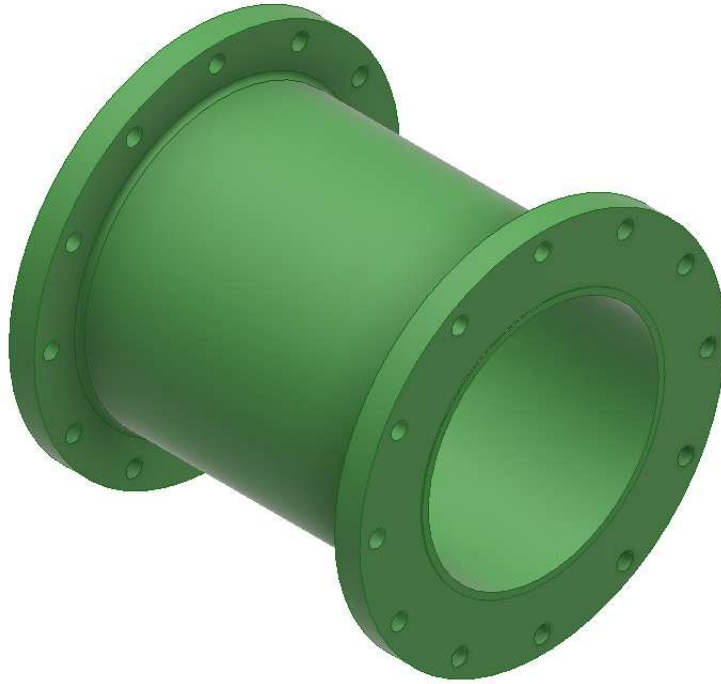
Obrázek 22 Sestava kohoutu



Obrázek 23 Sestava kohoutu v řezu

### *Sací potrubí*

Toto potrubí je řešeno jako odlitek. Jedná se o trubku s přírubami na obou stranách. Na obou stranách se rovněž nachází malé odsazení pro těsnicí kroužek. V přírubách je dvanáct děr pro šroubová spojení.

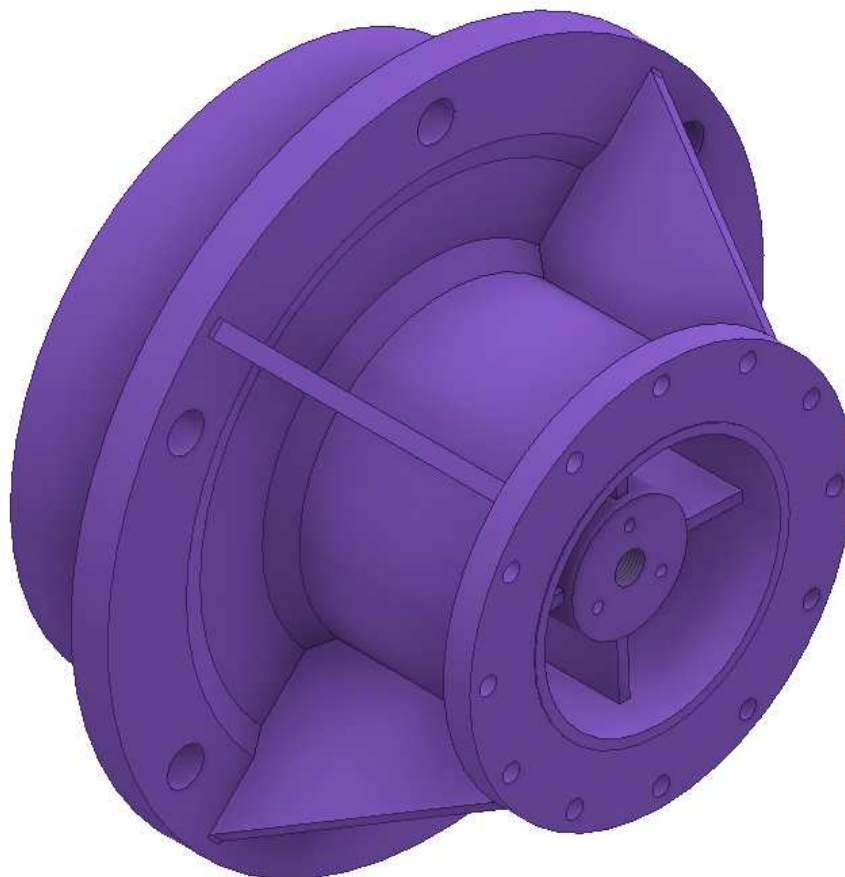


Obrázek 24 Sací potrubí

### *Sací těleso*

Slouží k přívodu kapaliny k prvnímu oběžnému kolu. V sacím tělese se nachází náboj, kde je uložena hřídel rotoru. Tento náboj je uchycen ke zbytku tělesa pomocí čtyř žeber. K sacímu tělesu je pomocí šroubů uchycen difuzor. V krajní přírubě je dvanáct otvorů pro spojení se sacím potrubím. V širší přírubě je šest otvorů pro šrouby určené ke stažení s mezičlánek a výtlačným tělesem. Konstruktivně řešeno jako odlitek.

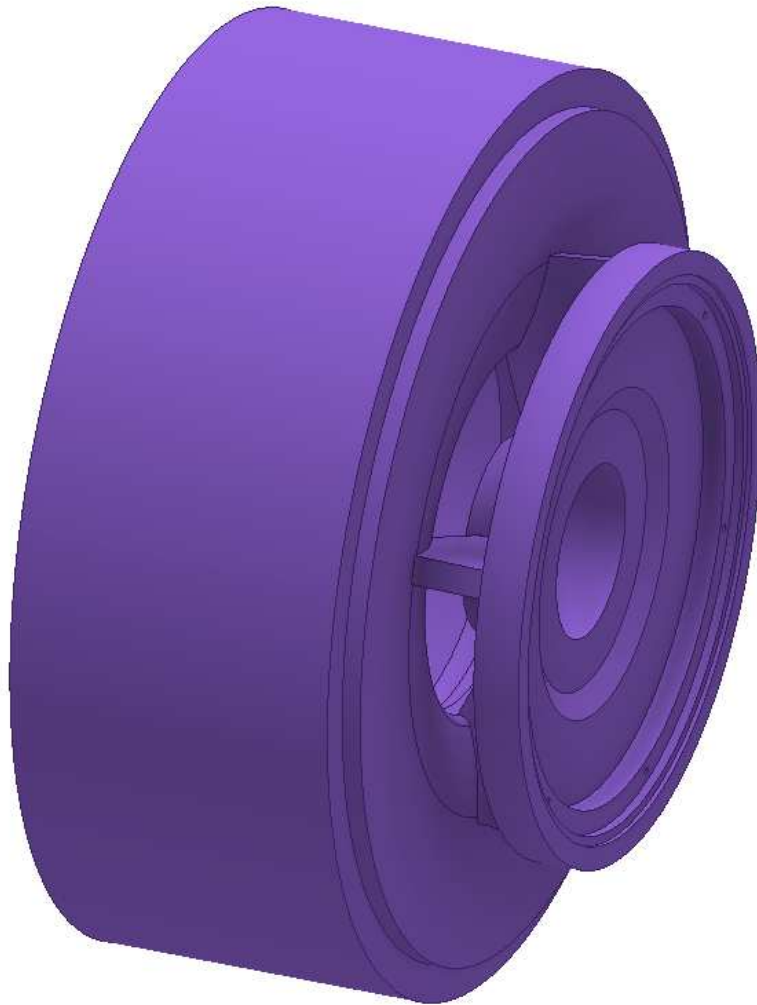




Obrázek 25 Sací těleso

### *Mezičlánek*

V obvodu se nachází dva mezičláanky. Jejich účel je totožný jako účel sacího tělesa, tedy přívod kapaliny k oběžným kolům. Ke každému mezičláanku je uchycen držák difuzoru a samotný difuzor. Rovněž řešen jako odlitek.



Obrázek 26 Mezičlánek

### *Výtlačné těleso*

Výtlačné těleso slouží k odvádění kapaliny z posledního oběžného kola do výtlačného potrubí. Je umístěno mezi výtlačným potrubím a mezičlánekem. V jeho krajní přírubě je dvanáct otvorů pro spojení s výtlačným potrubím. V širší přírubě je rovněž šest otvorů pro šrouby ke stažení s mezičlánekem a sacím tělesem. Konstruktivně řešeno jako odlitek.



Obrázek 27 Výtlačné těleso

### *Výtlačné potrubí*

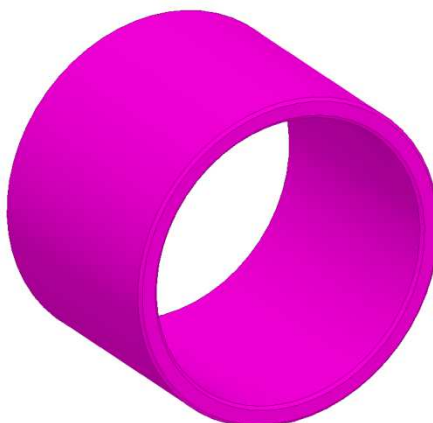
Toto potrubí je v podstatě totožné se sacím potrubím. Skládá se ze dvou různě dlouhých trubek, mezi kterými je umístěn ložiskový mezikus s kluzným pouzdrem. Odsazení pro těsnicí kroužek je v tomto případě pouze na jedné straně potrubí.



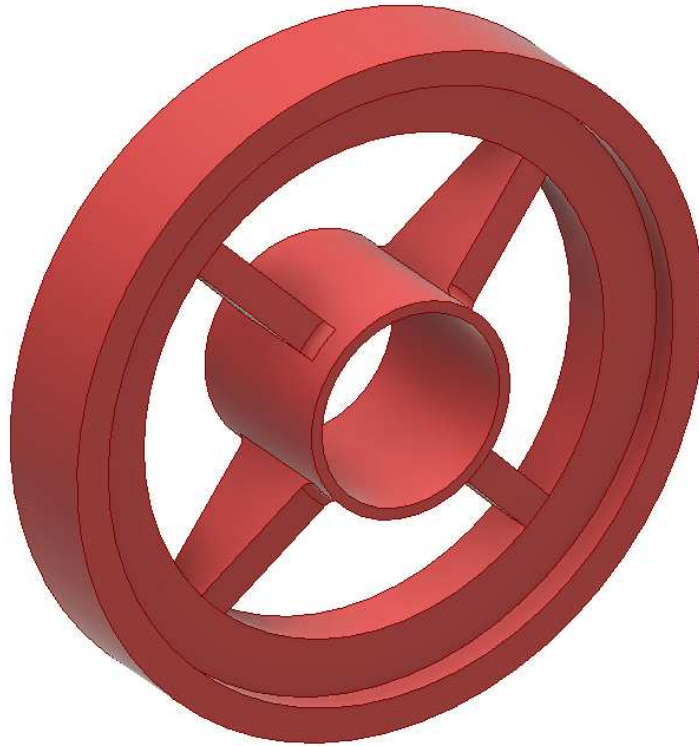
Obrázek 28 Výtlačné potrubí

### *Ložiskový mezikus*

Slouží pro uložení hřídele. Nachází se mezi výtlačnými potrubími. Hřídel je uložena v kluzném pouzdře, které je mazáno čerpanou kapalinou.



Obrázek 29 Kluzné pouzdro



Obrázek 30 Ložiskový mezikus

### *Difuzor*

Difuzor, nebo také rozvaděč, je umístěn u oběžného kola. Je připevněn k sacímu tělesu, popřípadě k mezičlánkům přes držák difuzoru pomocí šroubů a tvarových výřezů. Má stejný počet lopatek jako oběžné kolo, tedy sedm, ale lopatky mají opačný směr. V difuzoru dochází k usměrnění proudění kapaliny a převodu kinetické složky energie na tlakovou.



Obrázek 31 Difuzor

### *Výtlačné koleno*

Nachází se na hranici hydraulické a ucpávkové části čerpadla. Kapalina v něm mění směr proudění o 90°. Má tři příruby, ve kterých je po dvanácti děrách. Na přírubách je odsazení pro těsnicí kroužek. Tyto díry slouží ke spojení výtlačného kolena s výtlačným a vodicím potrubím. Výtlačným kolenem prochází hřídel rotoru a je zde také umístěna ucpávka. Z důvodu prosakování nepatrného množství kapaliny přes ucpávku, je ve výtlačném koleně vyroben malý otvor pro odvod této kapaliny pryč z čerpadla.



Obrázek 32 Výtlačné kolenó

### 6.1.2 Rotor

Rotor v hydraulické části čerpadla sestává ze tří hřídelí spojených k sobě pomocí zděrových spojek, tří oběžných kol a těsnicích a rozpěrných kroužků.

#### *Hřídel*

Hřídel hydraulické části čerpadla je složena z celkem tří různých hřídelí. Hřídel je umístěna uvnitř potrubí a díky tomu jsou kluzná pouzdra mazána proudící kapalinou. První stupeň hřídele je uložen v kluzných pouzdrech v sacím a výtlačném tělese. Také je na něm KM matice pro pojištění oběžných kol vůči axiálnímu pohybu. Hřídel prvního stupně je z jedné strany podepírána opěrným hrotem, který je umístěn v sacím tělese. Druhý stupeň hřídele je uložen v kluzném pouzdře v ložiskovém mezikusu a s prvním stupněm je spojen pomocí zděrové spojky. Třetí stupeň hřídele je s druhým stupněm spojen také zděrovou spojkou a je uložen v kluzném pouzdře ve výtlačném koleně.



Obrázek 33 První stupeň hřídele



Obrázek 34 Druhý stupeň hřídele

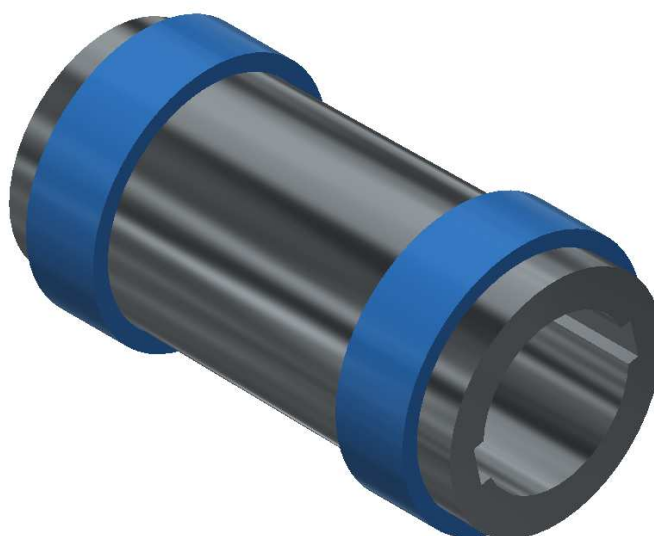




Obrázek 35 Třetí stupeň hřídele

### *Zděřová spojka*

Slouží ke spojení jednotlivých stupňů hřídele dohromady. Skládá se ze dvou stejných kuželovitých částí, ve kterých jsou drážky pro pero. Pojištění proti rozpadnutí spojky tvoří dva kroužky s vnitřním kuželovitým průměrem.



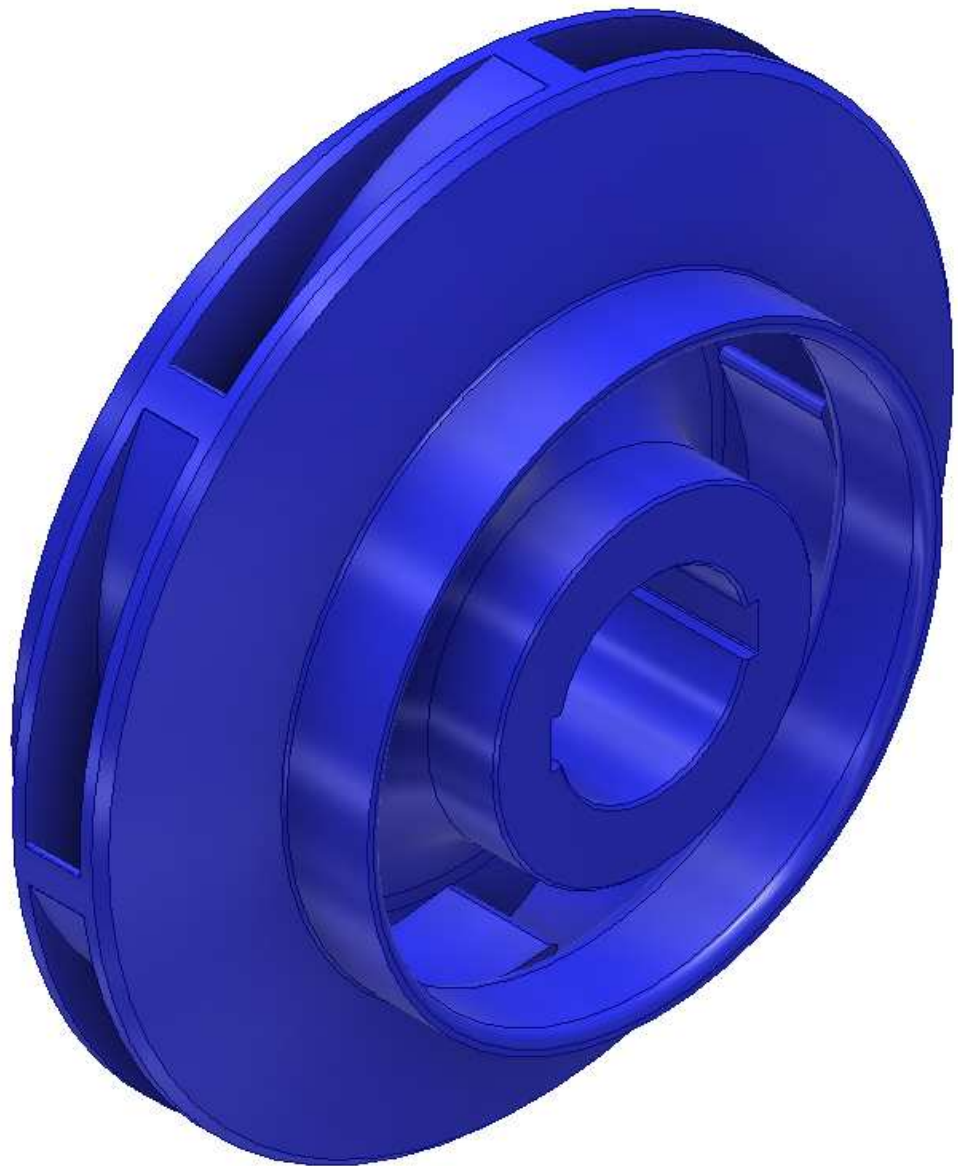
Obrázek 36 Zděřová spojka

### *Oběžné kolo*

Nejdůležitější částí čerpadla je oběžné kolo. Je uloženo na hřídeli, přenos krouticího momentu je zajištěn spojením pero - drážka, přičemž je použito dvou drážek, umístěných po 180°. Oběžné kolo je proti axiálnímu pohybu pojištěno rozpěrnými kroužky, odsazením na jedné straně hřídele a KM maticí na druhé straně. Má sedm lopatek. Konstruováno je jako uzavřené. Kvůli vyrovnání tlaku, axiálních sil a mazání kluzných pouzder jsou v předním disku kola vyvrtány tři otvory po 120°. Čerpadlo má tři oběžná kola.



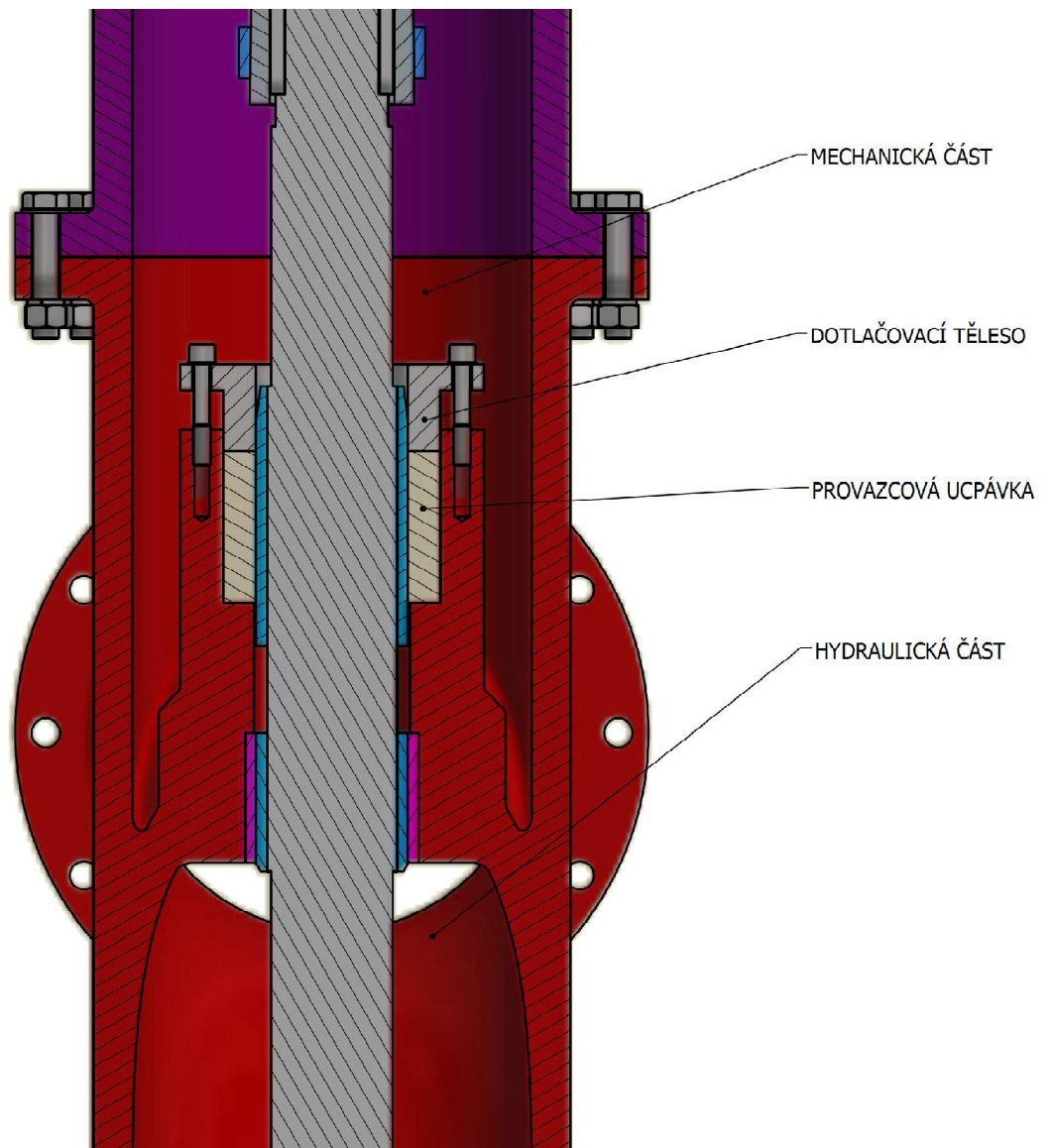
Obrázek 37 Oběžné kolo zepředu



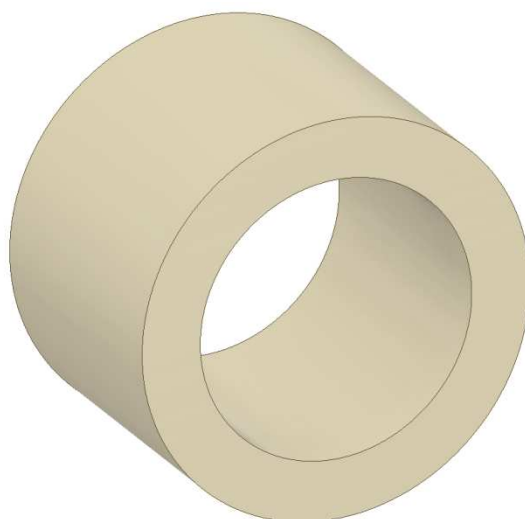
Obrázek 38 Oběžné kolo zezadu

## 6.2 Ucpávková část

Nachází se mezi hydraulickou a mechanickou částí čerpadla. U tohoto typu čerpadla je ucpávková část umístěna ve výtláčném koleně. Tvořena je měkkou provazcovou ucpávkou a dotlačovacím tělesem. Činná část provazcové ucpávky po určitém čase degraduje a pomocí dotlačovacího tělesa je nová část ucpávky přesunuta do činného prostoru. Ucpávka není v přímém kontaktu s hřídelí z důvodu rychlého opotřebení ucpávky, přichází do kontaktu pouze s pouzdrem umístěným na hřídeli.



Obrázek 39 Ucpávková část čerpadla



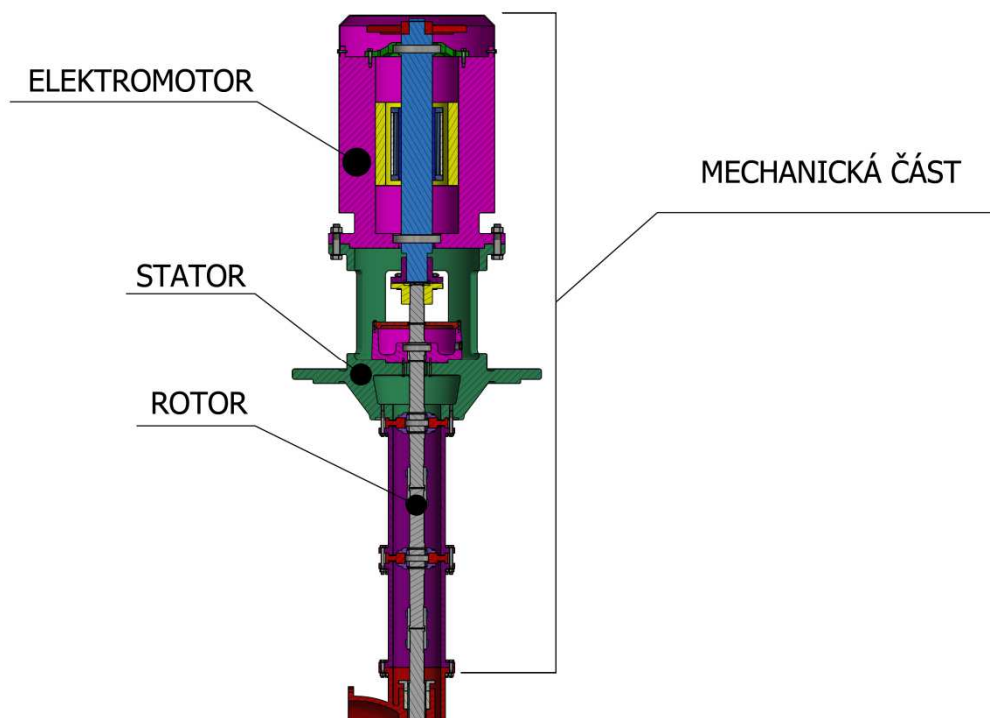
Obrázek 40 Provazcová (šňůrová) ucpávka



Obrázek 41 Dotlačovací těleso

### 6.3 Mechanická část

Mechanická část se skládá z rotoru, statoru a elektromotoru. Rotor je opět uložen uvnitř statoru, je poháněn elektromotorem a spojen s rotorem hydraulické části. Mechanickou částí neprotéká čerpaná kapalina.



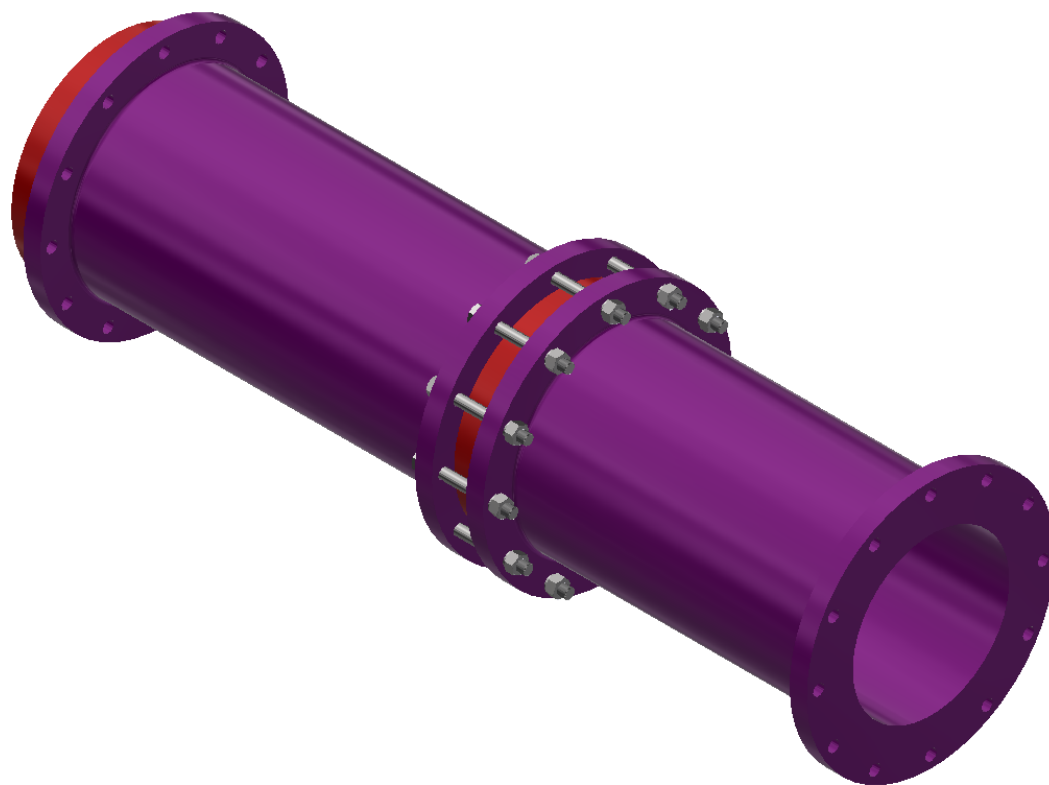
Obrázek 42 Mechanická část čerpadla

### 6.3.1 Stator

Stator mechanické části se skládá z vodicích potrubí, ložiskových mezikusů, stojanu a olejové vany s víkem.

#### *Vodicí potrubí*

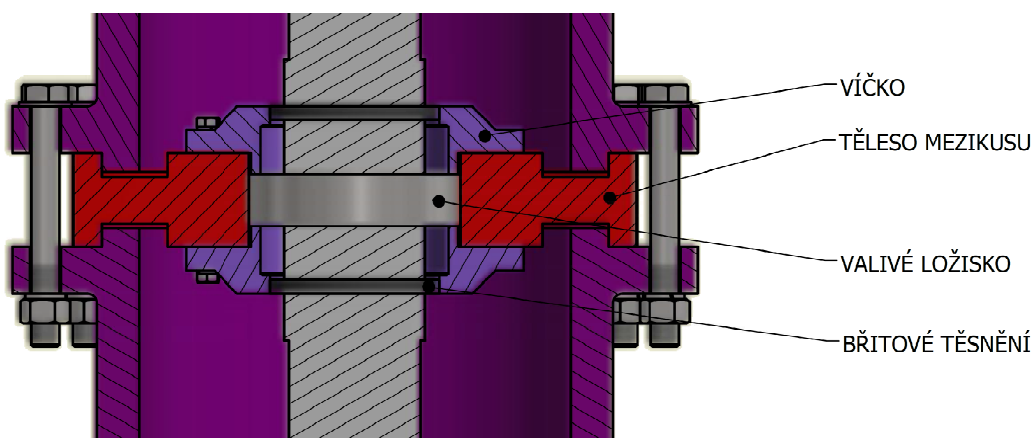
Slouží jako nosná část čerpadla a chrání hřídel rotoru. Z jedné strany je připevněno ke stojanu, z druhé strany k výtlačnému kolenu. Konstrukčně je řešeno stejně jako sací a výtlačná potrubí s rozdílem v podobě absence těsnicích kroužků. Skládá se ze dvou trubek a dvou ložiskových mezikusů.



Obrázek 43 Vodicí potrubí

### *Ložiskový mezikus*

Skládá se z tělesa mezikusu, valivého ložiska, dvou víček a dvou břitových těsnění. V tělese mezikusu je otvor pro přišroubování mazacího systému. Mazivo je z mazacího systému přiváděno přes těleso mezikusu až k ložisku. Víčka jsou z každé strany přišroubovaná k tělesu mezikusu a zajišťují ložisko proti axiálnímu pohybu. Břítová těsnění jsou umístěna ve víčkách.

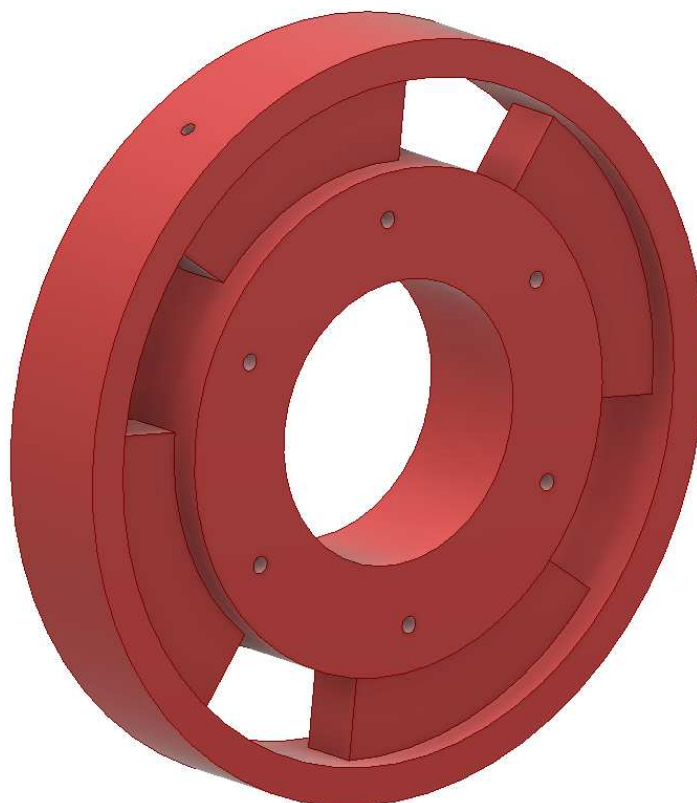


Obrázek 44 Ložiskový mezikus





Obrázek 45 Mazací systém

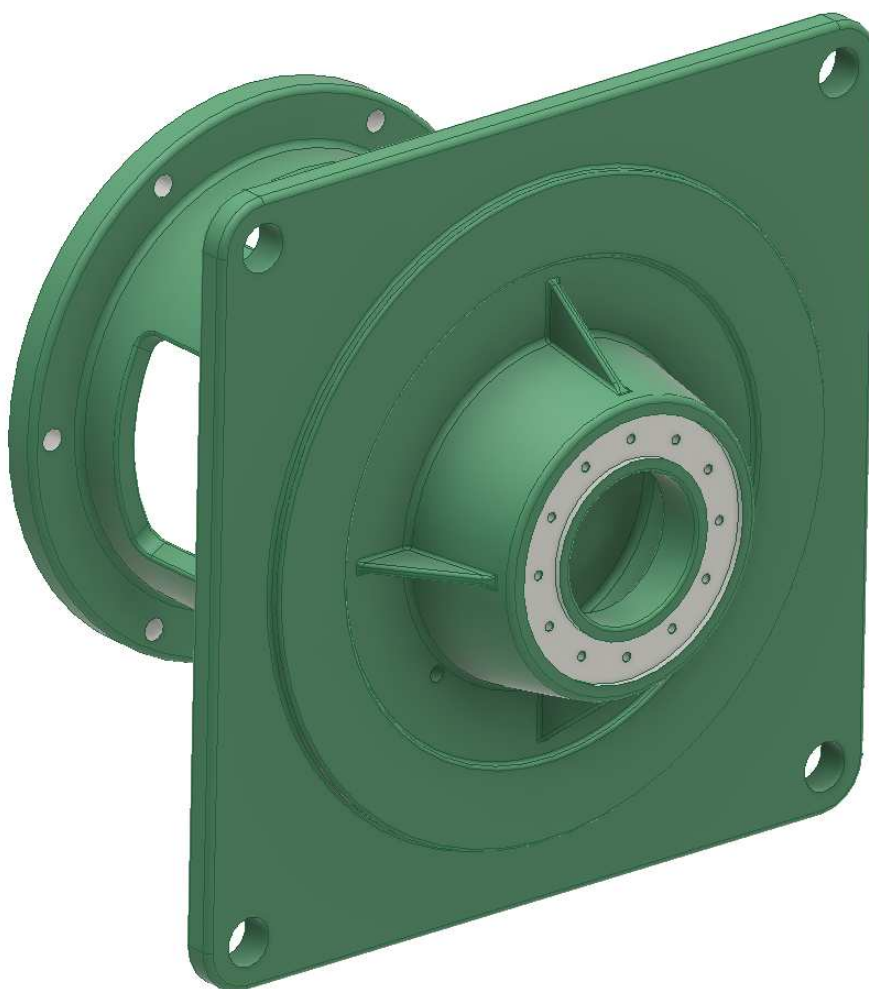


Obrázek 46 Těleso mezikusu



## *Stojan*

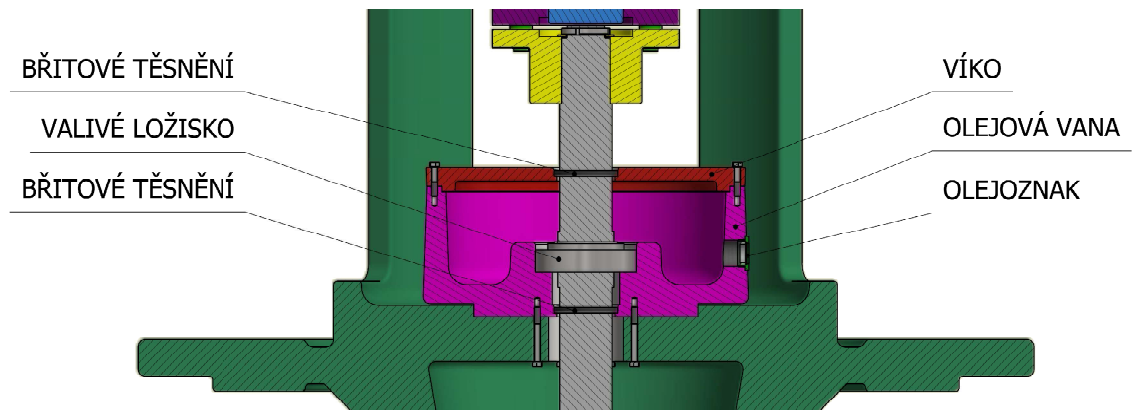
Slouží jako kotvicí prvek a současně nese celou hmotnost čerpadla. Zespodu je k němu pomocí dvanácti šroubů připevněno vodící potrubí. Shora je ke stojanu přišroubován šesticí šroubů přírubový elektromotor. Uvnitř stojanu se nachází olejová vana, která je ke stojanu připevněna pomocí šesti šroubů. Čtvercová plocha stojanu slouží k upevnění např. do zdi. V tomto kvádru se také nachází čtveřice děr sloužících pro upevnění stojanu a celého čerpadla. Ve stojanu je vyvrtaná díra, kterou je do vany přes mazací systém přiváděno mazivo.



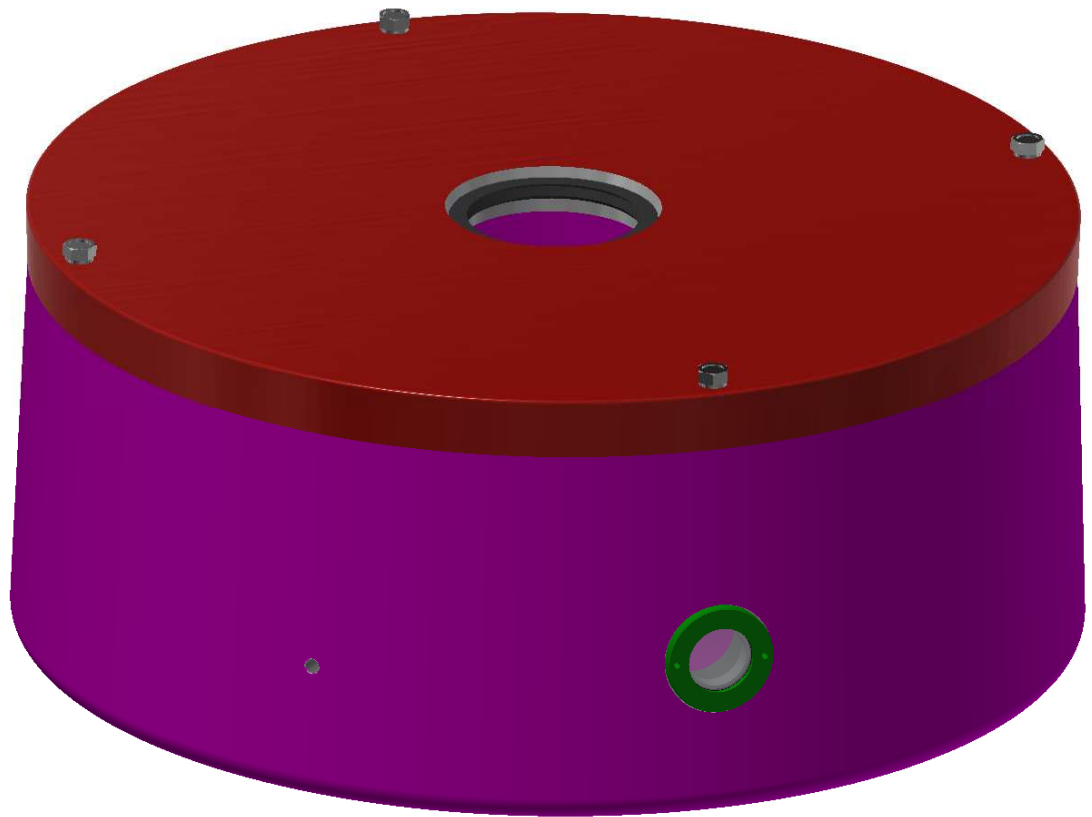
Obrázek 47 Stojan

## *Olejová vana*

V olejové vaně je uloženo valivé ložisko. Do vany je přiváděno mazivo pro mazání valivého ložiska. Vana je shora uzavřena víkem. Je přišroubovaná ke stojanu. Ve vaně je umístěn olejoznak pro kontrolu výšky hladiny maziva. Na vstupu do vany a ve víku se nachází břitová těsnění.



Obrázek 48 Sestava olejové vany v řezu



Obrázek 49 Sestava olejové vany

### 6.3.2 Rotor

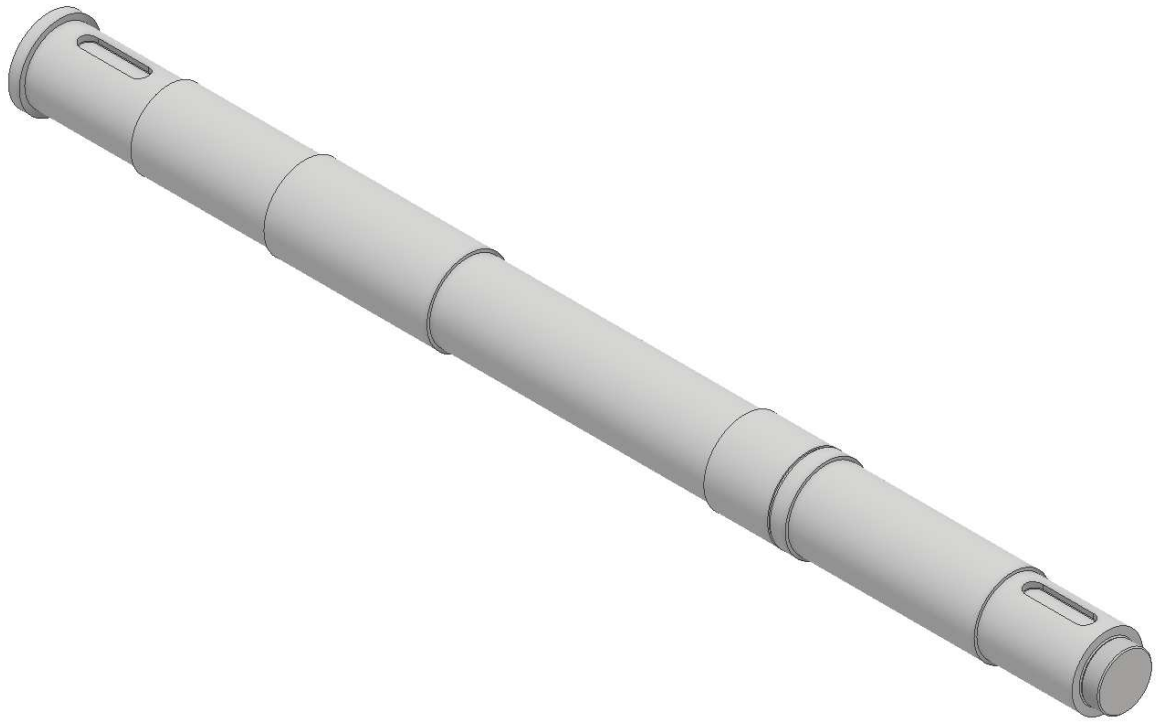
Rotor mechanické části čerpadla se skládá z dvoustupňové hřídele a hřídelové spojky.

## *Hřídel*

Skládá se ze dvou stupňů. Vzájemné propojení hřídelí je zajištěno zděřovou spojkou. Hřídel čerpadla je s hřídelí elektromotoru spojena pomocí hřídelové spojky. Na jednom konci druhého stupně hřídele je závit pro KM matici, která pojišťuje hřídelovou spojkou proti axiálnímu pohybu.



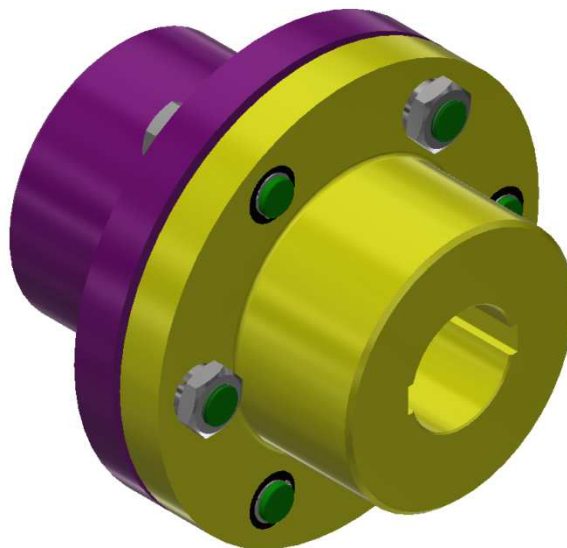
**Obrázek 50 První stupeň hřídele**



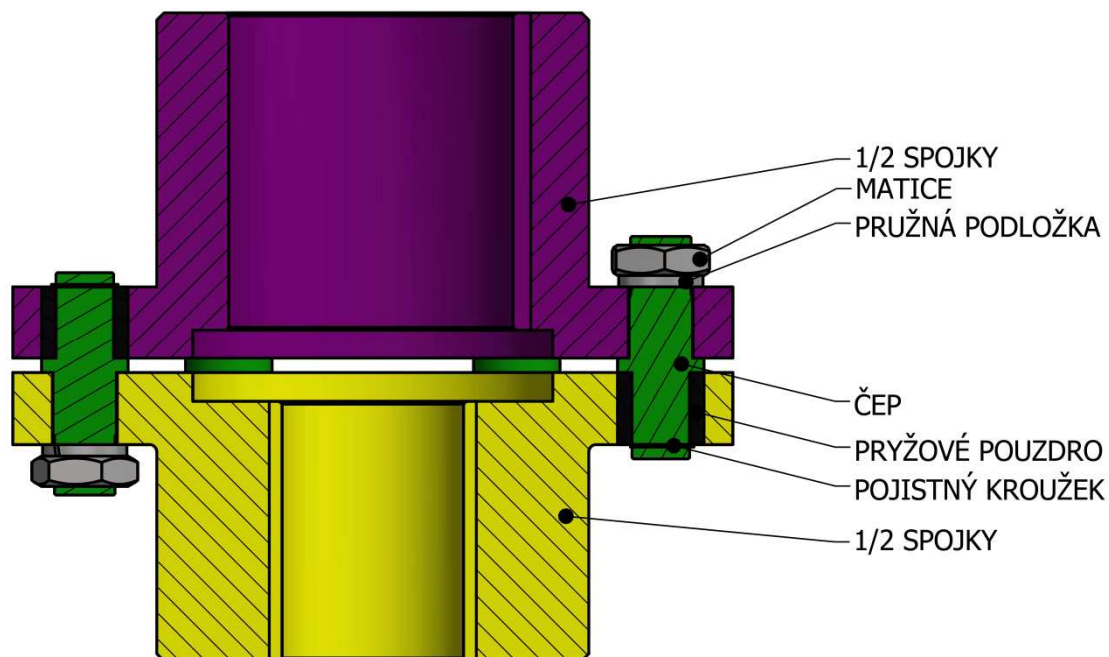
Obrázek 51 Druhý stupeň hřídele

### *Hřídelová spojka*

Hřídelová spojka je složena ze dvou kusů. Přenos krouticího momentu mezi těmito dvěma kusy zajišťuje šest čepů a šest pryžových pouzder. Z důvodu rovnoměrného rozložení sil jsou tři čepy umístěny naopak (otočeny o  $180^\circ$ ). Krouticí moment mezi hřídelí a spojkou je přenášen spojením pero - drážka. Spojka je proti axiálnímu pohybu pojištěna KM maticí.



Obrázek 52 Hřídelová spojka



Obrázek 53 Hřídelová spojka v řezu

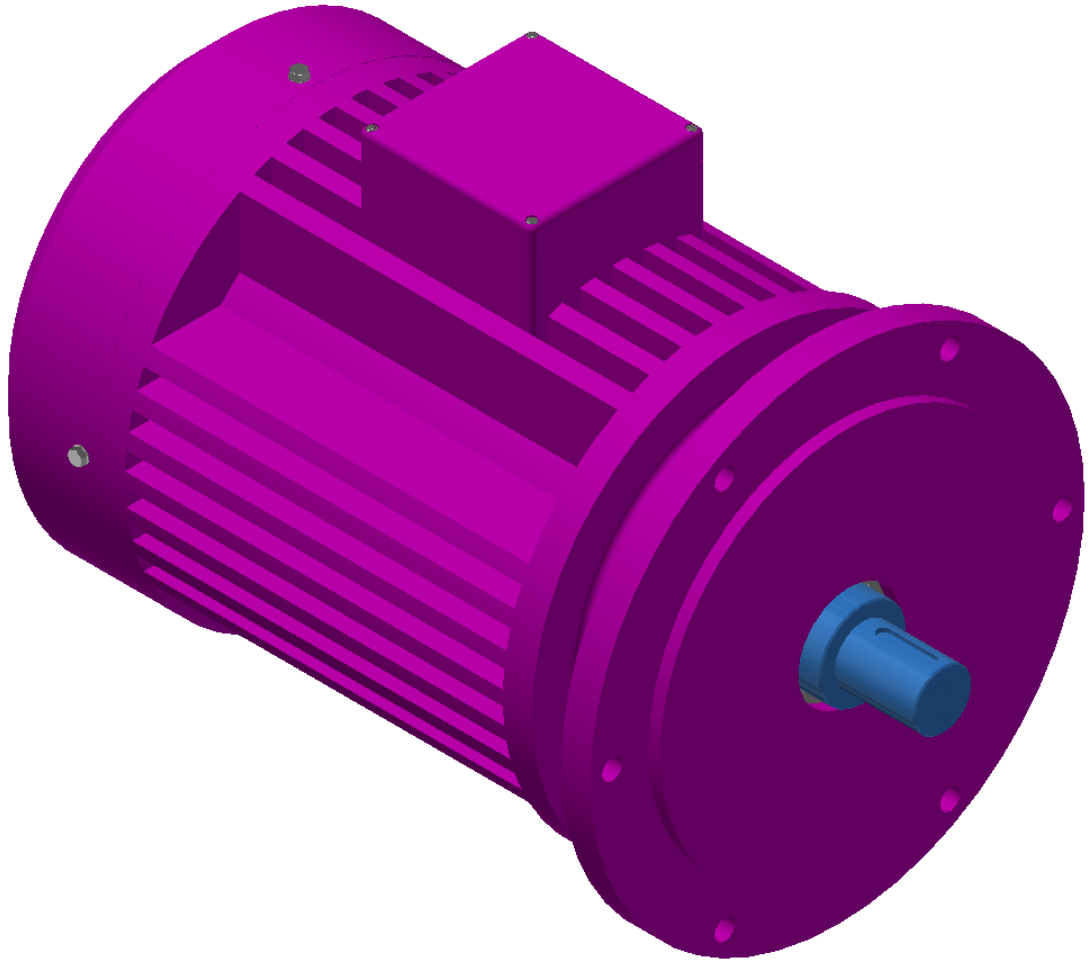
### 6.3.3 Elektromotor

Pohonnou jednotkou čerpadla je tří fázový asynchronní přírubový elektromotor. Pracuje na střídavý elektrický proud. Je tvořen rotorem a státorem. Rotorem je myšlena hřídel, ventilátor, rotorové plechy, rotorová klec a rotorové vinutí. Stator je potom těleso motoru se svorkovnicí, statorové vinutí, statorové plechy, krycí plech a držák ložiska.

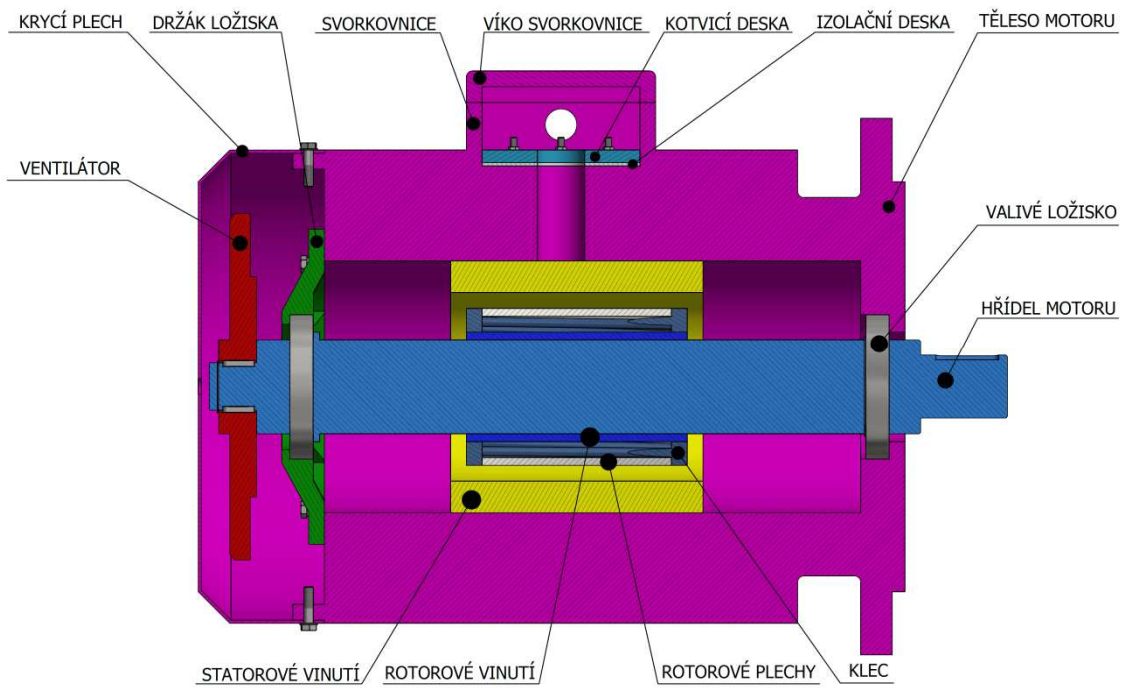
Rotor je řešen s tzv. kotvou na krátko (klecovou kotvou). Kotva je složena ze dvou zkratovacích kruhů, které jsou spojeny měděnými, mosaznými nebo hliníkovými tyčemi. Klec je svařovaná, nebo odlévaná. Mezi tyčemi klece jsou rotorové plechy, vyrobené z hliníku. V kleci je dále umístěno rotorové vinutí.

Statorové vinutí a statorové plechy nejsou v přímém kontaktu s rotorem. Krycí plech je děrovaný a k tělesu motoru je připevněn čtveřicí šroubů. Ve svorkovnici se nachází izolační deska, aby šrouby nebyly v kontaktu s vodivým tělesem motoru, dále šestice šroubů pro zapojení motoru, která je uložena v kotvicí desce. Ve svorkovnici je udělán z boku otvor pro přívodní kabel.

Motor jsem modeloval pouze schematicky, bez detailů. K vymodelování jsem použil stránky (5) a (6) jako předlohu a informace.



Obrázek 54 Přírubový elektromotor



Obrázek 55 Elektromotor v řezu

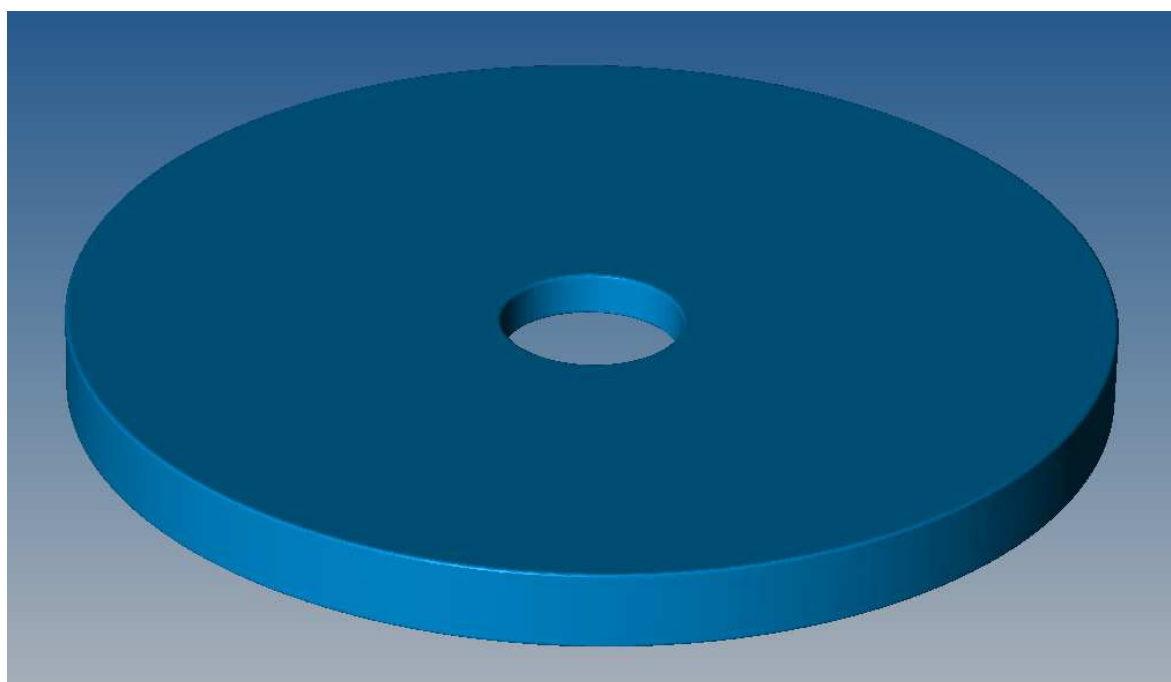
## 7 Technologická část

V této části práce se budu věnovat obrábění dvou součástí - víka ložiskové vany a ložiskové vany. Víko ložiskové vany budu obrábět celkem třemi způsoby. Nejprve jako frézování odlitku, potom jako soustružení odlitku a nakonec jako soustružení výpalku. Ložiskovou vanu budu obrábět pouze jedním způsobem, a to frézováním odlitku. Obrábění jsem provedl v programu SufrCAM 2016. Seřizovací listy jednotlivých obrábění jsou přiloženy v přílohách.

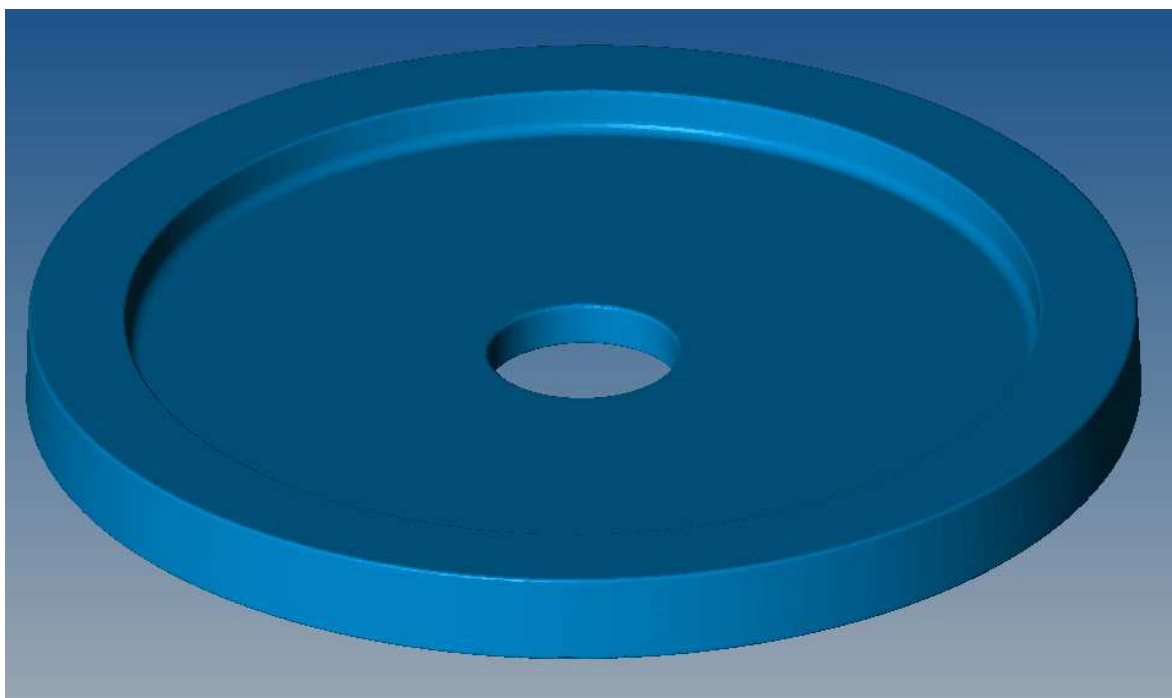
### 7.1 Frézování víka ložiskové vany z odlitku

Při tomto způsobu je odlitek víka obroben na dvě upnutí (nastavení). Při prvním nastavení se odlitek upne za vnější průměr. Potom následuje výroba středového otvoru pro břitové těsnění a hřídel, a sražení hrany. Otvor pro břitové těsnění se nejprve hrubuje a následně frézuje načisto. Další operací je výroba čtyř průchozích děr po 90° a sražení jejich hran.

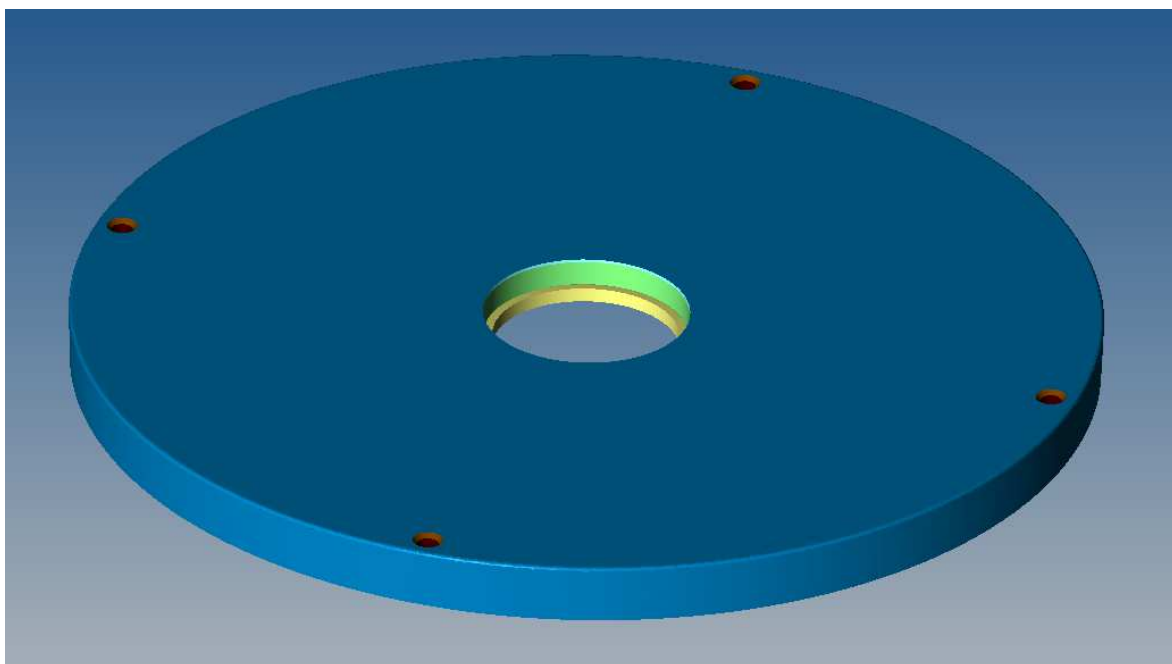
V druhém nastavení se odlitek upne za obrobený vnitřní průměr pro hřídel. Jako první se zarovná čelo (v tomto případě mezikružší). Druhou operací je hrubování vnějšího průměru pro usazení do ložiskové vany. Následuje frézování načisto pro tento průměr. Poslední operací tohoto nastavení je sražení hrany usazovacího průměru.



Obrázek 56 Odlitek víka před obrobením shora

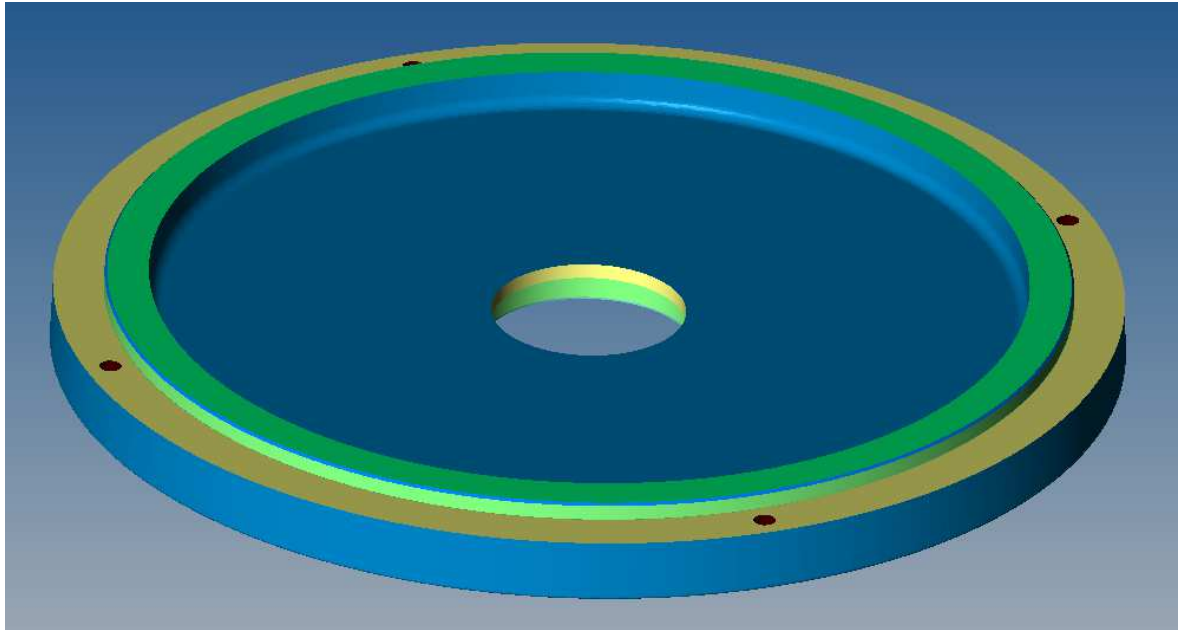


Obrázek 57 Odlitek víka před obrobením zdola



Obrázek 58 Odlitek víka po obrobení shora





Obrázek 59 Odlitek víka po obrobení zdola

## 7.2 Soustružení víka ložiskové vany z odlitku

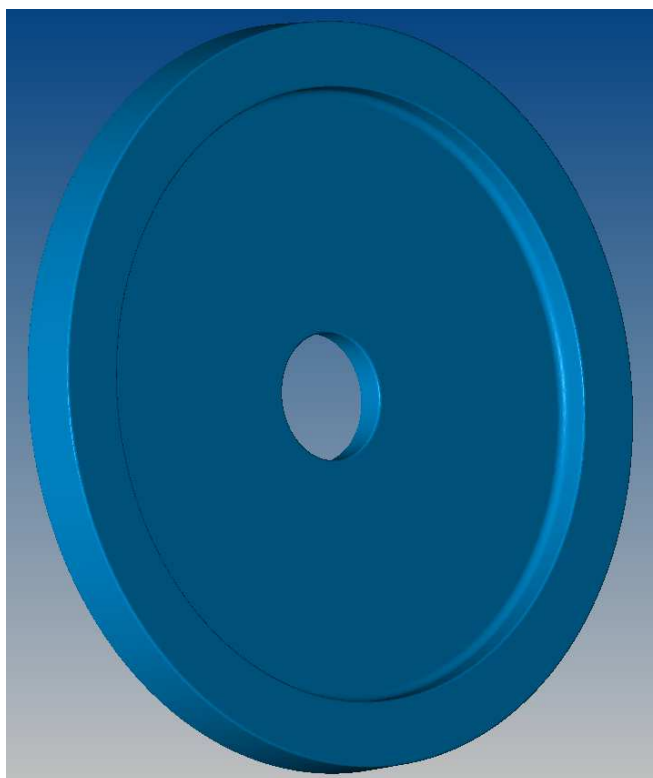
Výroba víka ložiskové vany tímto způsobem je uskutečněna na tři nastavení. V prvním nastavení se odlitek upne za vnější průměr. Vnitřní průměry pro břitové těsnění, hřídel a sražení hrany se nejprve hrubují a následně soustruží načisto.

Při druhém nastavení je odlitek upnut za vnitřní obrobený průměr pro hřídel. Následuje čelní soustružení, kterým se jednak zarovná čelo, jednak vyrobí usazovací průměr pro usazení do ložiskové vany. Čelním soustružením se nejprve hrubuje a potom dokončuje.

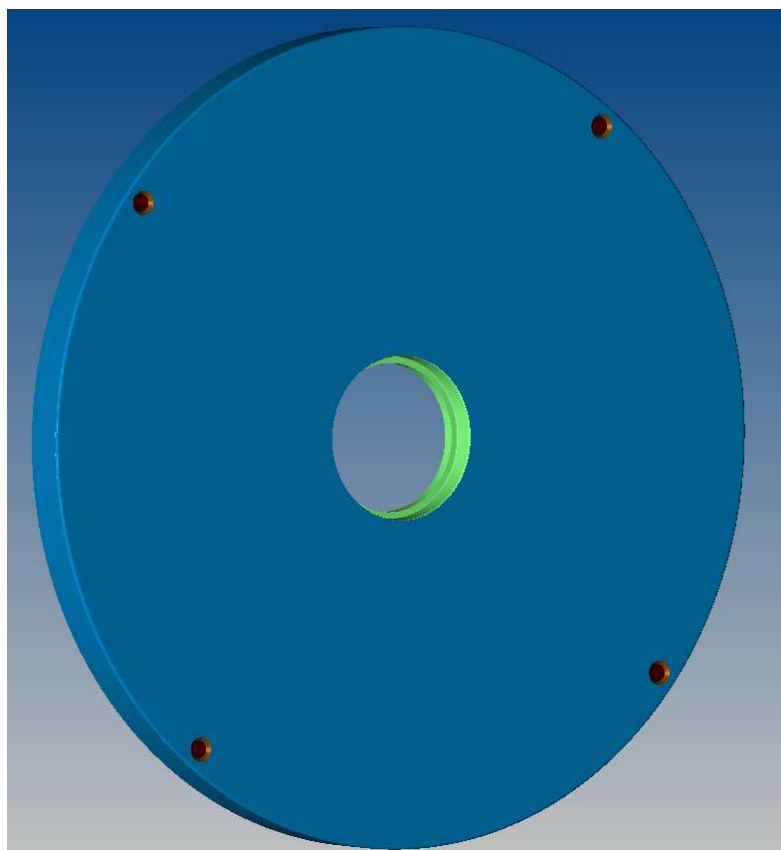
Ve třetím nastavení se odlitek přesune ze soustruhu na CNC frézovací centrum. Následuje výroba čtyř průchozích děr a sražení jejich hran.



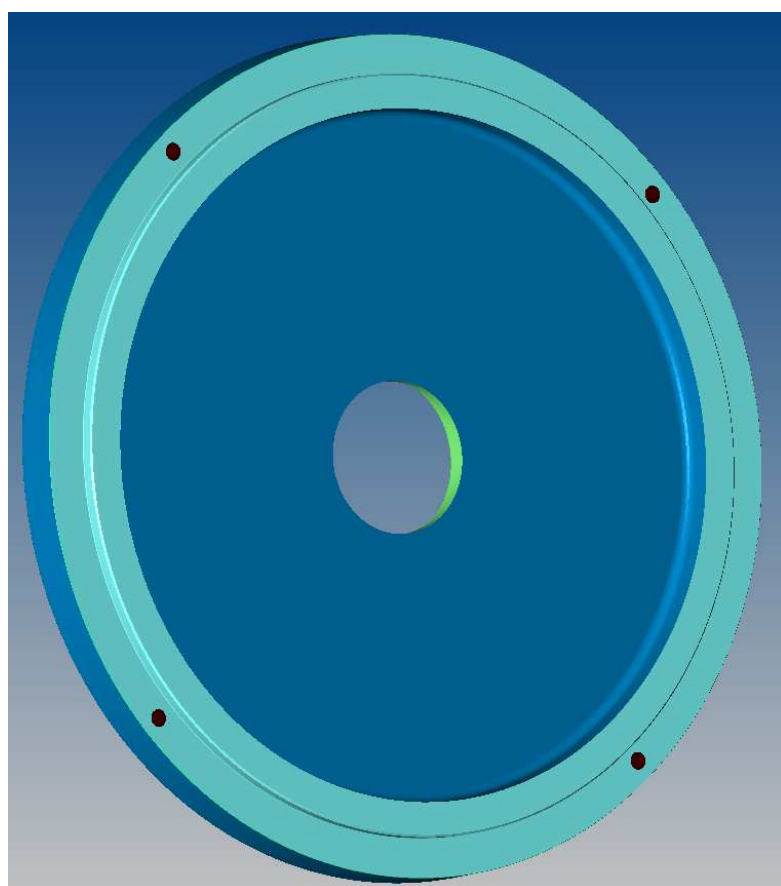
Obrázek 60 Odlitek víka před obrobením zepředu



Obrázek 61 Odlitek víka před obrobením zezadu



Obrázek 62 Odlitek víka po obrobení zepředu



Obrázek 63 Odlitek víka po obrobení zezadu

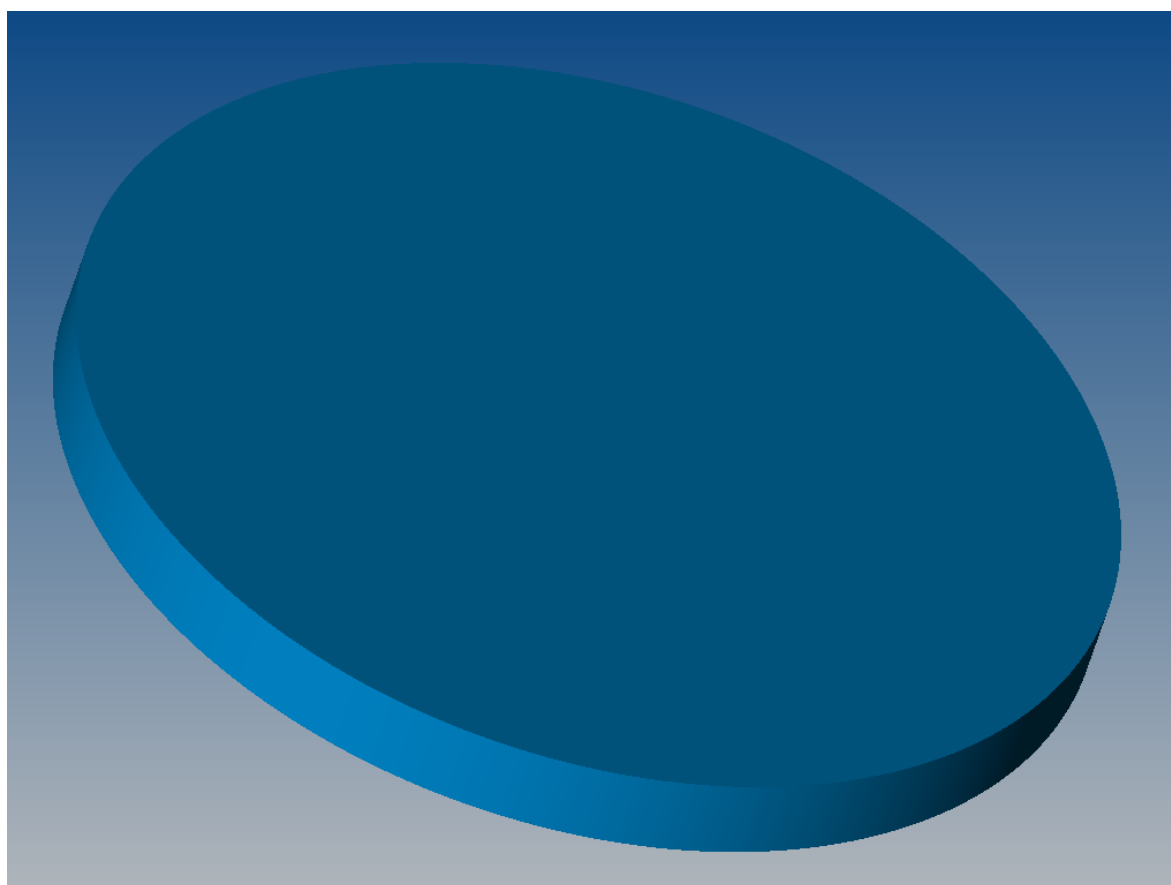
### 7.3 Soustružení víka ložiskové vany z výpalku

Pro tento způsob obrábění je použito čtyř nastavení. V prvním nastavení se výpalek upne do sklíčidla za vnější průměr. Následuje hrubování otvoru pro hřídel a břitové těsnění. Další operací je dokončování tohoto otvoru, respektive soustružení na čisto.

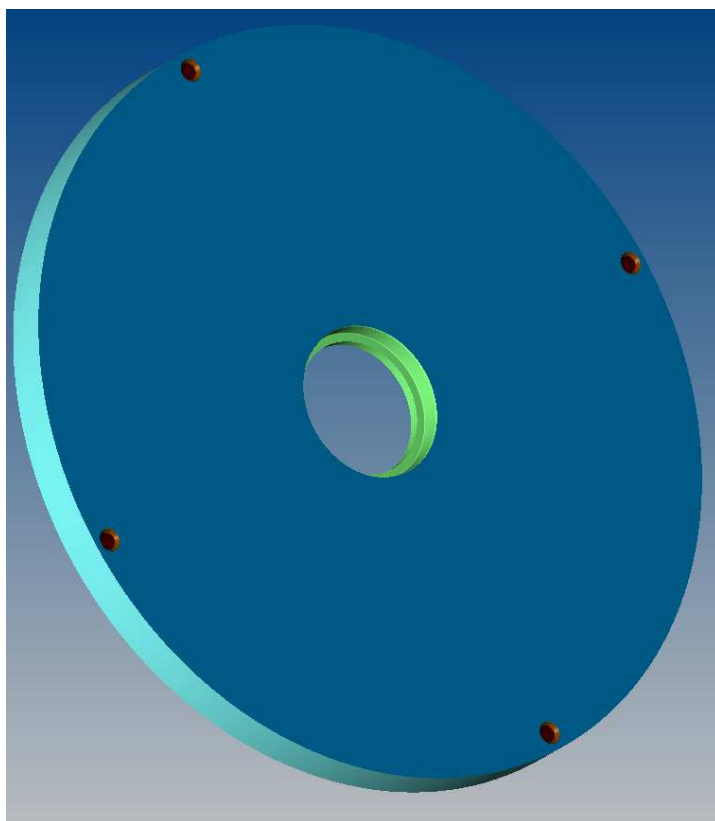
Při nastavení číslo dvě je výpalek upnut za vnitřní obrobený průměr. Provádí se hrubování a dokončování vnějšího tvaru pomocí čelního soustružení.

V nastavení číslo tři se výpalek upne za vnější obrobený průměr. Následuje čelní soustružení vnitřní dutiny víka.

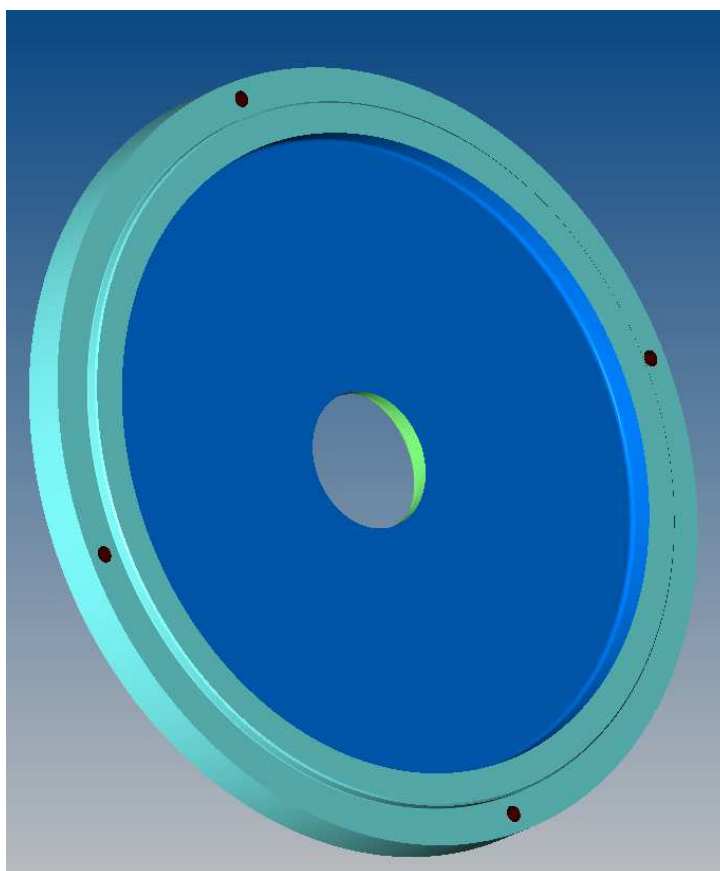
Při nastavení číslo čtyři je výpalek přesunut na CNC frézovací centrum. Následuje výroba čtyř průchozích děr se sražením.



Obrázek 64 Plechový výpalek před obrobením



Obrázek 65 Výpalek po obrobení zepředu



Obrázek 66 Výpalek po obrobení zezadu

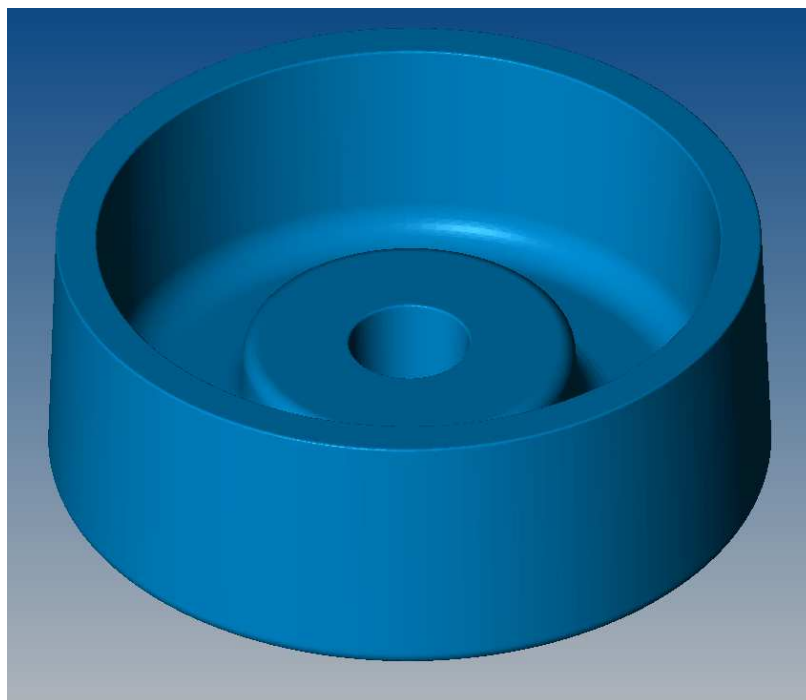
## 7.4 Frézování ložiskové vany z odlitku

Toto obrábění je provedeno celkem na čtyři nastavení. V nastavení číslo jedna se odlitek upne za vnější průměr a následuje obrobení spodních stykových ploch. Nejprve se zarovná vrchlík, potom se frézuje vnější průměr pro usazení vany do stojanu a následně se u tohoto průměru srazí hrana. Poslední operací tohoto nastavení je výroba šesti neprůchozích děr se závitem.

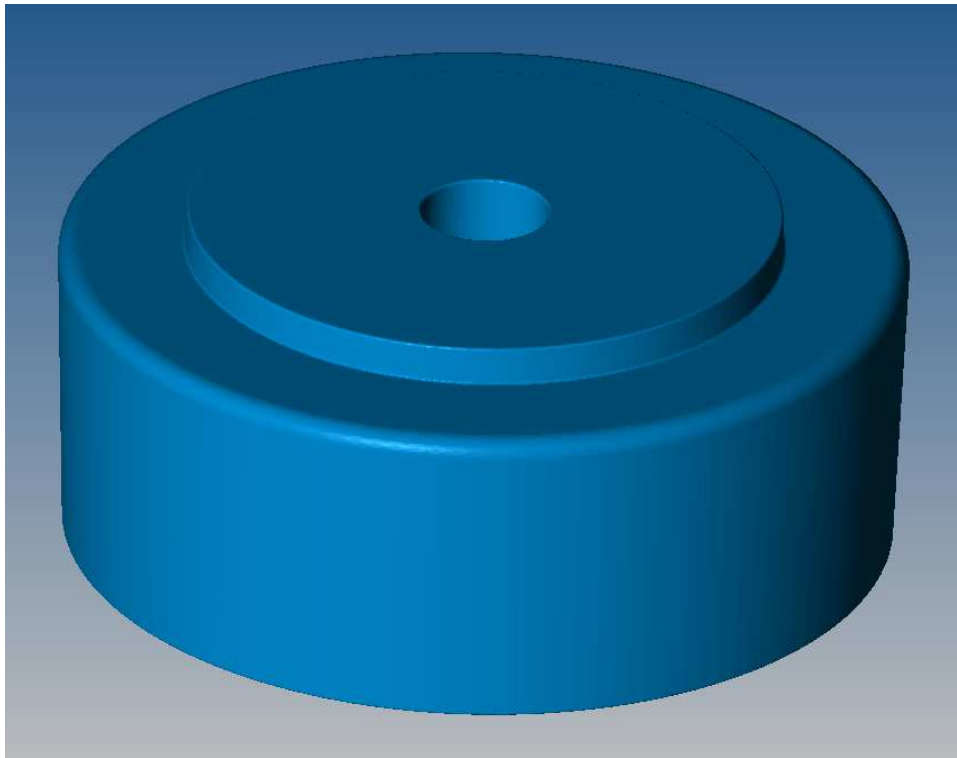
Při nastavení číslo dvě je odlitek otočen o 180° a upnut opět za vnější průměr. První operací je zarovnání vrchlíku. Následuje výroba zahloubení pro usazení víka vany a sražení hrany. Poté se vyrobí čtyři neprůchozí díry se závitem. Dále se frézuje průměr pro ložisko, průměr pro vsazení břitového těsnění, průměr pro břitové těsnění a průměr pro hřídel. Následně se srazí hrany u průměru pro ložisko a pro břitové těsnění.

V nastavení číslo tři se odlitek upne do speciálního přípravku. Kapsuje se zahloubení pro olejznak. Dále se pomocí kapsování vyrobí otvor pro řezání závitu pro olejznak. Následuje sražení hrany. Z důvodu absence vhodného nástroje pro výrobu závitu pro olejznak jsem výrobu závitu vynechal.

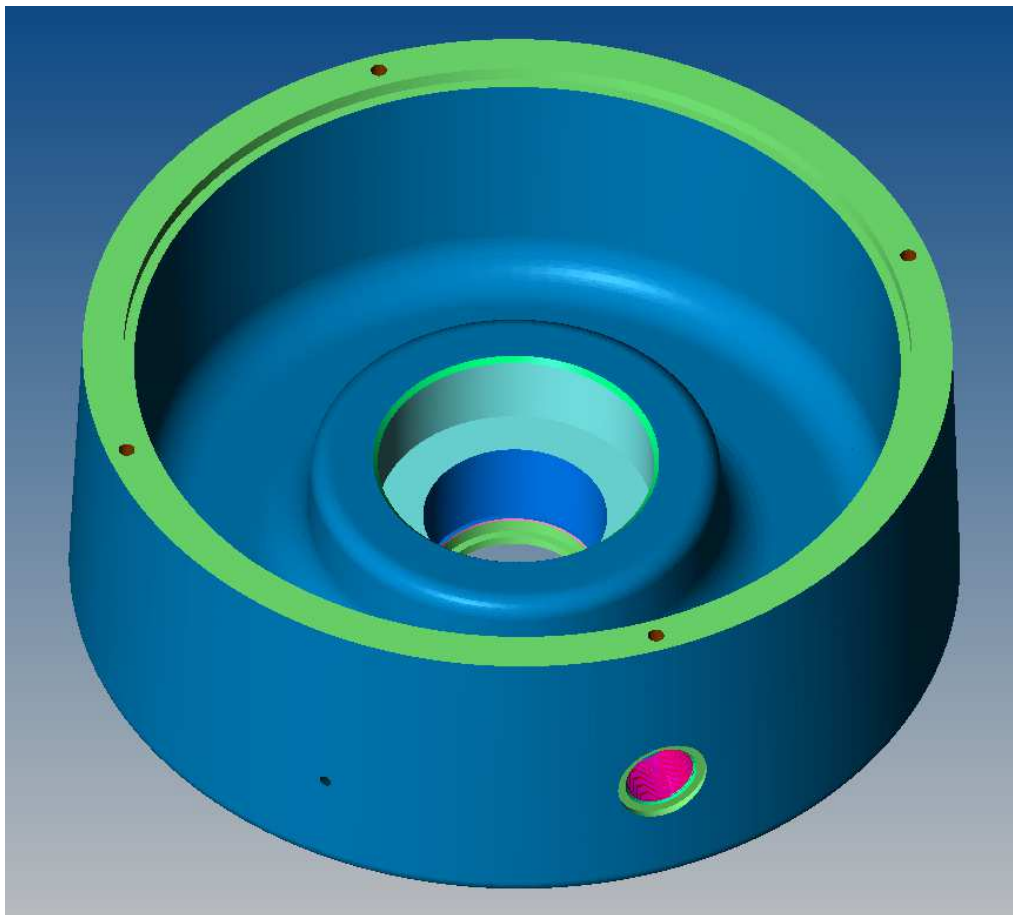
Při nastavení číslo čtyři je odlitek upnut opět do speciálního přípravku. Dochází k předvrtání díry pro trubkový závit. Z důvodu absence nástrojů pro výrobu trubkových závitů jsem zde použil závit metrický.



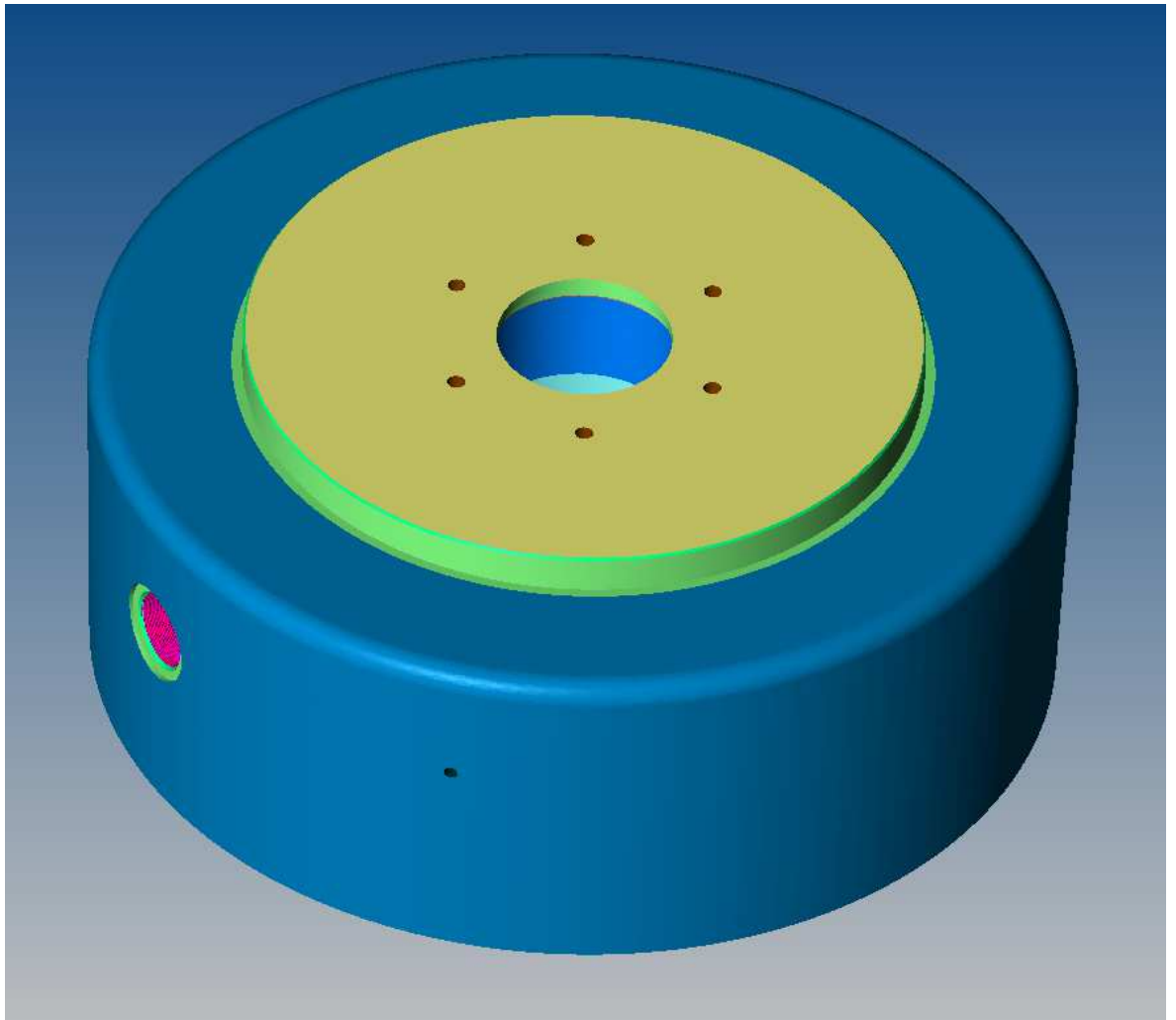
Obrázek 67 Odlitek vany před obrobením shora



Obrázek 68 Odlitek vany před obrobením zdola



Obrázek 69 Odlitek vany po obrobení shora



Obrázek 70 Odlitek vany po obrobení zdola



## 8 Ekonomická část

V této části práce se budu zabývat kalkulací ceny výroby víka ložiskové vany třemi různými způsoby. Vycházím ze strojních časů z programu SurfCAM 2016. Uvažuji ceny bez DPH.

### 8.1 Cena výroby víka ložiskové vany při frézování odlitku

Polotovár: odlitek o hmotnosti 203 kg

Cena za 1 kg odlitku: 130 Kč

Cena odlitku:  $203 \times 130 = 26390$  Kč

Strojní čas při frézování: 3 h 19 min 57 s = 199,95 min

Přípravný čas: 20 min

Jednicové mzdy: 2,40 Kč/min -  $2,40 \times (199,95 + 20) = 527,88$  Kč

Režie:  $1200 \% = \frac{1200}{100} \times 527,88 = 6334,56$  Kč

Zisk:  $10 \% = \frac{10}{100} \times (527,88 + 6334,56) = 686,244$  Kč

Celková cena:  $26390 + 527,88 + 6334,56 + 686,244 \approx 33939$  Kč

### 8.2 Cena výroby víka ložiskové vany při soustružení odlitku

Polotovár: odlitek o hmotnosti 203 kg

Cena za 1 kg odlitku: 130 Kč

Cena odlitku:  $203 \times 130 = 26390$  Kč

Strojní čas při soustružení: 2 h 48 min 10 s  $\approx 168,33$  min

Strojní čas při frézování: 1 min 48 s = 1,8 min

Celkový strojní čas: 2 h 50 min 2 s  $\approx 170,03$  min

Přípravný čas pro soustružení: 17 min

Přípravný čas pro frézování: 5 min

Jednicové mzdy při soustružení: 2,40 Kč/min -  $2,40 \times (168,33 + 17) = 444,792$  Kč

Jednicové mzdy při frézování: 2,40 Kč/min -  $2,40 \times (1,8 + 5) = 16,32$  Kč

$$\text{Režie pro soustružení: } 650 \% = \frac{650}{100} \times 444,792 = 2891,148 \text{ Kč}$$

$$\text{Režie pro frézování: } 1200\% = \frac{1200}{100} \times 16,32 = 195,84 \text{ Kč}$$

$$\text{Zisk: } 10 \% = \frac{10}{100} \times (444,792 + 16,32 + 2891,148 + 195,84) = 354,81 \text{ Kč}$$

$$\text{Celková cena: } 26390 + 444,792 + 16,32 + 2891,148 + 195,84 + 354,81 \approx 30293 \text{ Kč}$$

### 8.3 Cena výroby víka ložiskové vany při soustružení výpalku

Polotovar: PLECH 70 -  $\phi$ 870 ČSN 42 5310

Hmotnost polotovaru: 346 kg

Cena za 1 kg polotovaru: 25 Kč

Cena polotovaru:  $346 \times 25 = 8650 \text{ Kč}$

Strojní čas při soustružení: 26 h 55 min 53 s  $\approx 1615,88 \text{ min}$

Strojní čas při frézování: 1 min 48 s = 1,8 min

Celkový strojní čas: 26 h 57 min 41 s  $\approx 1617,68 \text{ min}$

Přípravný čas pro soustružení: 17 min

Přípravný čas pro frézování: 5 min

$$\begin{aligned} \text{Jednicové mzdy při soustružení: } & 2,40 \text{ Kč/min} - 2,40 \times (1615,88 + 17) = \\ & = 3918,912 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Jednicové mzdy při frézování:  $2,40 \text{ Kč/min} - 2,40 \times (1,8 + 5) = 16,32 \text{ Kč}$

$$\text{Režie pro soustružení: } 650 \% = \frac{650}{100} \times 3918,912 = 25472,928 \text{ Kč}$$

$$\text{Režie pro frézování: } 1200 \% = \frac{1200}{100} \times 16,32 = 195,84 \text{ Kč}$$

$$\text{Zisk: } 10 \% = \frac{10}{100} \times (3918,912 + 16,32 + 25472,928 + 195,84) = 2960,4 \text{ Kč}$$

$$\begin{aligned} \text{Celková cena: } & 8650 + 3918,912 + 16,32 + 25472,928 + 195,84 + 2960,4 \approx \\ & \approx 41215 \text{ Kč} \end{aligned}$$

## 8.4 Závěrečné zhodnocení

U výroby víka ložiskové vany z odlitku je cena za 1 kus 33939 Kč při frézování a 30293 Kč při soustružení. Cena 1 kusu víka při soustružení plechového výpalku je 41215 Kč.

Soustružení odlitku je tedy nejlevnější výrobní variantou, je o 3646 Kč levnější než frézování odlitku. Oproti tomu, frézování odlitku je o 7276 Kč levnější než soustružení výpalku.

## 9 Závěr

Odstředivá čerpadla jsou charakterizována menšími průtoky a většími dopravními výškami. Uplatnění naleznou téměř ve všech odvětvích lidské činnosti. Čerpadlo, které jsem zde konstruoval, by se mohlo použít v přečerpávacích elektrárnách nebo v chladicím okruhu elektrárny jaderné.

V první části této maturitní práce jsem se zmínil o problematice čerpadel a rozdělil čerpadla podle konstrukce, následoval návrhový výpočet oběžného kola a kontrola těsných per. Dále jsem v konstrukční části detailně popsal jednotlivé části mnou vybraného čerpadla. Vytvořil jsem výkresy sestavy části statoru, jednotlivých součástí a jejich polotovarů - odlitků. V technologické části práce bylo provedeno obrobení ložiskové vany a víka ložiskové vany na tři způsoby. Nástrojové a operační listy, stejně jako výkresy, jsou přiloženy v přílohách. Následující ekonomická část hodnotí náklady pro výrobu víka ložiskové vany frézováním odlitku, soustružením odlitku a soustružením výpalku. Z vypočtených hodnot jsem zjistil, že nejlevnější výrobní variantou je soustružení odlitku, následuje frézování odlitku a nakonec soustružení výpalku.

Tato práce měla pro mne velký přínos. Naučil jsem se lépe ovládat konstrukční program Autodesk Inventor 2017, vyhledávat informace a zpracovávat odbornou práci. Vytvořit 3D model vertikálního odstředivého čerpadla byl hlavní cíl této práce a myslím si, že se mi ho podařilo splnit.

## Anotace

Příjmení a jméno:	Eduard Hrtoň
Škola:	Střední průmyslová škola strojnická Olomouc, tř. 17. listopadu 49
Název práce:	Odstředivé čerpadlo
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Šimáček
Počet stran:	81
Počet příloh:	16
Počet použitých zdrojů:	8
Klíčová slova:	Odstředivé čerpadlo Hydrodynamické čerpadlo Vertikální čerpadlo Radiální čerpadlo Návrh oběžného kola čerpadla Konstrukce odstředivého čerpadla

Hlavním cílem této maturitní práce bylo vytvořit 3D model vertikálního radiálního odstředivého čerpadla v programu Autodesk Inventor 2017. Tvorbě modelu předcházela návrh oběžného kola čerpadla. Dále byly zpracovány výkresy vybraných součástí a některé z nich byly posléze v programu SurfCAM 2016 virtuálně obrobena. Na základě obrobění byla vytvořena kalkulace výrobních nákladů pro jednu součást.

## **Resumé**

The main focus of this paper is on the design and construction of 3D model of vertical radial centrifugal pump in program Autodesk Inventor 2017. Before creating the 3D model I have designed the impeller of the pump. Further, I have created drawings of selected parts and some of them I have virtually machined. According to the previous machining I have done calculation of production cost of one part.

## Seznam použitých zdrojů

1. MELICHAR, Jan. *Hydraulické a pneumatické stroje: část čerpadla*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04383-7.

2. MELICHAR, Jan. *Úvod do čerpací techniky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05056-9.

3. *Odstředivá čerpadla* [online]. In: . [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <https://vyuka.spssol.cz/~vyuka/>

4. *CVFV - CVFVP: Vertikální článková nízkotlaká čerpadla CVFV* [online]. In: . s. 8 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [ftp://www.kres.cz/katalogy\\_kres/KATALOG\\_Cerpadla/SIGMA/CVFVP.PDF](ftp://www.kres.cz/katalogy_kres/KATALOG_Cerpadla/SIGMA/CVFVP.PDF)

5. *Strojnické tabulky*. Třetí, doplněné vydání. Praha: Scientia, spol. s r.o., 1999. ISBN 80-7183-164-6.

6. LONÍČEK, Rostislav. *ČERPADLO 1600 BQDV* [online]. In: . s. 44 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2013/sbornik\\_2013/62.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2013/sbornik_2013/62.pdf)

7. *Přehled a zapojení motorů*. *Mylms* [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/text-prehled-a-zapojeni-motoru/>

8. *Asynchronní motor*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronn%C3%AD\\_motor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronn%C3%AD_motor)

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Pístová čerpadla (2).....	7
Obrázek 2 Pístová čerpadla (2).....	8
Obrázek 3 Pístové a membránové čerpadlo (2).....	9
Obrázek 4 Zubová čerpadla (2) .....	10
Obrázek 5 Pístové čerpadlo a lamelová čerpadla (2).....	11
Obrázek 6 Lamelové a vřetenové čerpadlo (2).....	12
Obrázek 7 Vřetenové a peristaltické čerpadlo (2) .....	13
Obrázek 8 Axiální čerpadlo (1) .....	14
Obrázek 9 Radiální a diagonální čerpadlo (2) .....	15
Obrázek 10 Oběžná kola hydrodynamických čerpadel (3).....	19
Obrázek 11 Rychlostní trojúhelník (3) .....	21
Obrázek 12 Rychlostní trojúhelníky čerpadla (3).....	23
Obrázek 13 Diagram součinitele m (3).....	23
Obrázek 14 Rychlostní trojúhelníky čerpadla (3).....	24
Obrázek 15 Konstrukce kanálu oběžného kola (3).....	26
Obrázek 16 Konstrukce lopatky oběžného kola (3) .....	26
Obrázek 17 Celková sestava čerpadla .....	29
Obrázek 18 Celková sestava čerpadla v řezu .....	30
Obrázek 19 Hydraulická část čerpadla .....	31
Obrázek 20 Sací koš .....	32
Obrázek 21 Sací zvon .....	33
Obrázek 22 Sestava kohoutu .....	34
Obrázek 23 Sestava kohoutu v řezu.....	34
Obrázek 24 Sací potrubí .....	35
Obrázek 25 Sací těleso.....	36
Obrázek 26 Mezičlánek .....	37
Obrázek 27 Výtlačné těleso .....	38
Obrázek 28 Výtlačné potrubí.....	39
Obrázek 29 Kluzné pouzdro .....	39
Obrázek 30 Ložiskový mezikus.....	40
Obrázek 31 Difuzor .....	41
Obrázek 32 Výtlačné koleno.....	42
Obrázek 33 První stupeň hřídele.....	43



Obrázek 34 Druhý stupeň hřídele .....	43
Obrázek 35 Třetí stupeň hřídele .....	44
Obrázek 36 Zděřová spojka .....	44
Obrázek 37 Oběžné kolo zepředu .....	45
Obrázek 38 Oběžné kolo zezadu .....	46
Obrázek 39 Ucpávková část čerpadla .....	47
Obrázek 40 Provazcová (šňůrová) ucpávka .....	48
Obrázek 41 Dotlačovací těleso .....	48
Obrázek 42 Mechanická část čerpadla .....	49
Obrázek 43 Vodicí potrubí .....	50
Obrázek 44 Ložiskový mezikus .....	50
Obrázek 45 Mazací systém .....	51
Obrázek 46 Těleso mezikusu .....	51
Obrázek 47 Stojan .....	52
Obrázek 48 Sestava olejové vany v řezu .....	53
Obrázek 49 Sestava olejové vany .....	53
Obrázek 50 První stupeň hřídele .....	54
Obrázek 51 Druhý stupeň hřídele .....	55
Obrázek 52 Hřídelová spojka .....	55
Obrázek 53 Hřídelová spojka v řezu .....	56
Obrázek 54 Přírubový elektromotor .....	57
Obrázek 55 Elektromotor v řezu .....	57
Obrázek 56 Odlitek víka před obrobením shora .....	58
Obrázek 57 Odlitek víka před obrobením zdola .....	59
Obrázek 58 Odlitek víka po obrobení shora .....	59
Obrázek 59 Odlitek víka po obrobení zdola .....	60
Obrázek 60 Odlitek víka před obrobením zepředu .....	61
Obrázek 61 Odlitek víka před obrobením zezadu .....	61
Obrázek 62 Odlitek víka po obrobení zepředu .....	62
Obrázek 63 Odlitek víka po obrobení zezadu .....	62
Obrázek 64 Plechový výpalek před obrobením .....	63
Obrázek 65 Výpalek po obrobení zepředu .....	64
Obrázek 66 Výpalek po obrobení zezadu .....	64
Obrázek 67 Odlitek vany před obrobením shora .....	65
Obrázek 68 Odlitek vany před obrobením zdola .....	66

Obrázek 69 Odlitek vany po obrobení shora .....	66
Obrázek 70 Odlitek vany po obrobení zdola .....	67

## Seznam použitých značek a symbolů

$Q_v$	objemový průtok	$[m^3/s]$
$H$	dopravní výška	$[m]$
$s$	počet stupňů čerpadla	$[-]$
$g$	tíhové zrychlení	$[m/s^2]$
$\rho$	hustota kapaliny	$[kg/m^3]$
$\eta_c$	celková účinnost	$[%]$
$n$	otáčky hřídele	$[min^{-1}]$
$f$	otáčky hřídele	$[s^{-1}]$
$\tau_{DK}$	napětí dovolené v krutu	$[MPa]$
$Y$	měrná energie	$[J/kg]$
$H_1$	dopravní výška na 1 stupeň	$[m]$
$Y_1$	měrná energie na 1 stupeň	$[J/kg]$
$P$	příkon elektromotoru	$[W]$
$M_k$	krouticí moment	$[N.m]$
$d$	průměr hřídele	$[mm]$
$d_0$	průměr náboje oběžného kola	$[mm]$
$\sigma$	rychloběžnost čerpadla	$[-]$
$x$	poměr $D_2/D_0$	$[-]$
$z$	počet lopatek oběžného kola	$[-]$
$\psi$	tlakový součinitel	$[-]$
$u_2$	obvodová rychlost na výstupu z oběžného kola	$[m/s]$
$D_2$	průměr oběžného kola na výstupu	$[mm]$
$D_0$	průměr oběžného kola na vstupu do oběžného kola	$[mm]$
$c_0$	absolutní rychlost kapaliny na vstupu do oběžného kola	$[m/s]$
$c_1$	absolutní rychlost kapaliny na vstupu do lopatky	$[m/s]$
$D_1$	průměr oběžného kola na vstupu do lopatky	$[mm]$

$u_1$	unášivá rychlost na vstupu do kanálu oběžného kola	[m/s]
$\beta_1$	úhel sklonu relativní rychlosti	[°]
$b_1$	šířka kanálu na vstupu do oběžného kola	[mm]
$k_1$	součinitel zmenšení průtočného průřezu	[-]
$Y_T$	teoretická měrná energie	[J/kg]
$\eta_h$	hydraulická účinnost	[%]
$c_{u2}$	unášivá složka absolutní rychlosti na výstupu z oběžného kola	[m/s]
$k$	poměr $D_2/D_1$	[-]
$m$	součinitel	[-]
$c_{u3}$	unášivá složka absolutní rychlosti na vstupu do difuzoru	[m/s]
$\alpha_1$	úhel sklonu absolutní rychlosti kapaliny	[°]
$c_{m1}$	meridiánová složka absolutní rychlosti na vstupu do oběžného kola	[m/s]
$c_{m2}$	meridiánová složka absolutní rychlosti na výstupu z oběžného kola	[m/s]
$c_{m3}$	meridiánová složka absolutní rychlosti na vstupu do difuzoru	[m/s]
$\beta_3$	úhel lopatky	[°]
$b_2$	šířka lopatky na výstupu z oběžného kola	[mm]
$k_2$	součinitel zúžení kanálu	[-]
$b$	šířka pera	[mm]
$t_1$	výška pera v náboji	[mm]
$l$	délka pera	[mm]
$\tau_s$	napětí ve smyku	[MPa]
$F$	síla působící na pero	[N]
$S_s$	střížná plocha pera	[mm <sup>2</sup> ]
$\tau_{DS}$	napětí dovolené ve smyku	[MPa]
$p$	otlačení pera	[MPa]
$S_o$	otlačená plocha pera	[mm <sup>2</sup> ]
$p_D$	dovolené otlačení pera	[MPa]

## Cizojazyčný slovník

Odstředivé čerpadlo	Centrifugal pump
Oběžné kolo	Impeller
Difuzor	Diffuser
Potrubí	Piping
Hřídel	Shaft
Kavitace	Cavitation
Vodní ráz	Water hammer
Těsnění	Gasket
Kohout	Faucet
Kuličkové ložisko	Ball bearing
Kuželíkové ložisko	Tapered roller bearing
Kluzné ložisko	Sliding bearing
Mechanická ucpávka	Mechanical seal
Měkká ucpávka	Gland packing
Třífázový elektromotor	AC (alternating current) motor

## Přílohy

- Příloha 1.....Výkres sestavy části statoru, č. v. 4B - 00 - 00
- Příloha 2.....Výkres odlitku stojanu, č. v. 4B - 01 - 01
- Příloha 3.....Výkres stojanu, č. v. 4B - 01 - 02
- Příloha 4.....Výkres odlitku vany ložiska, č. v. 4B - 02 - 01
- Příloha 5.....Výkres vany ložiska, č. v. 4B - 02 - 02
- Příloha 6.....Výkres odlitku víka vany, č. v. 4B - 03 - 01
- Příloha 7.....Výkres víka vany, č. v. 4B - 03 - 02
- Příloha 8.....Výkres víka vany 2. verze, č. v. 4B - 04 - 02
- Příloha 9.....Operační list obrábění 7.1
- Příloha 10.....Nástrojový list obrábění 7.1
- Příloha 11.....Operační list obrábění 7.2
- Příloha 12.....Nástrojový list obrábění 7.2
- Příloha 13.....Operační list obrábění 7.3
- Příloha 14.....Nástrojový list obrábění 7.3
- Příloha 15.....Operační list obrábění 7.4
- Příloha 16.....Nástrojový list obrábění 7.4