



Středoškolská technika 2018

Setkání a prezentace pracístředoškolských studentů na ČVUT

JEDNOSTUPŇOVÉ Odstředivé čerpadlo

Daniel Šperlich

Střední průmyslová škola strojnická
Třída 17. Listopadu, Olomouc

Jméno a příjmení, třída: Šperlich Daniel, 4. C

Vedoucí práce: Ing. Adam Šiška

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

Datum:

Podpis

Zde bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Adamovi Šiškovi za rady a důležité poznámky při tvorbě práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Sigma Group a.s. především Ing. Vladimírovi Škarkovi za čas, pozornost a odborné rady při konstrukčním řešení. Mé díky patří také Ing. Věře Kozákové, za cenné technologické rady a Ing. Petře Najdekrové za cenné rady s formálními náležitostmi práce.

Obsah

Obsah.....	4
1 Úvod.....	5
2 SIGMA GROUP a.s.....	6
3 Čerpadla a jejich problematika	7
3.1 Hydrostatická čerpadla	8
3.2 Hydrodynamická čerpadla.....	15
4 Jednostupňové odstředivé čerpadlo	17
4.1 Hydraulická část „I“	18
4.2 Mechanická část „II“	18
4.3 Ucpávková část „III“	18
5 Výpočtová část.....	19
5.1 Návrh oběžného kola	19
5.2 Návrh hřídele čerpadla.....	36
5.3 Návrh a kontrola per těsných.....	41
6 Konstrukční část.....	43
6.1 Hydraulická část	45
6.1.1 Stator.....	46
6.1.2 Rotor	49
6.2 Ucpávková část.....	52
6.3 Mechanická část	53
6.3.1 Elektromotor	54
6.3.2 Lamelová spojka	54
6.3.3 Stator.....	55
6.3.4 Rotor	55
6.4 Nosný rám.....	56
7 Technologická část.....	57
7.1 Obrobení hřídele čerpadla	57
7.2 Obrobení části lamelové spojky	61
8 Ekonomická část	65
8.1 Cena výroby hřídele čerpadla	65
9 Závěr	67

Úvod

Předmětem této práce je jednostupňové odstředivé čerpadlo. Toto téma jsem si zvolil ze dvou důvodů, protože mě zajímá funkce čerpadel a protože mi byla nabídnuta spolupráce s firmou SIGMA GROUP a.s.

Hlavní cílem této práce je zkonstruování jednostupňového odstředivého čerpadla s objemovým průtokem 320 l/s, dopravní výškou 89 m, otáčkami hřídele 1488 min¹, celkovou účinností 86,3 %, hustotou čerpaného média 1000 kg/m³, požadovanou trvanlivostí 40000 hodin. Součástí práce je také vytvoření 3D digitálního modelu tohoto čerpadla v programu Autodesk Inventor Professional 2018.

První část práce bude teoretická. V té bude objasněn význam, účel a problematika čerpadel a následně jejich rozdělení podle konstrukce. Další část práce bude konstrukční a bude se zabývat popisem jednotlivých částí vlastního čerpadla a popisem jednotlivých částí. Třetí část bude výpočtová. V této části budu navrhovat oběžné kolo čerpadla. Následně provedu výpočet hřídele čerpadla a těsných per. V technologické části provedu obrobení hřídele čerpadla a části lamelové spojky v programu SurfCAM 2017. Ekonomickou část práce bude tvořit kalkulace výrobních nákladů pro hřídel čerpadla. Výkresová část se bude nacházet v přílohách a bude obsahovat výkresy hřídele čerpadla, krycích vík, oběžného kola, zajištění oběžného kola, části lamelové spojky a výkresy sestav pro upnutí spirální skříně a podpěry mechanické části čerpadla. V závěru zhodnotím cíle práce a jejich splnění.

SIGMA GROUP a.s.

Akciová společnost SIGMA GROUP a.s. je moderní, dynamicky se rozvíjející strojírenskou firmou, která je nejvýznamnějším výrobcem čerpací techniky v České republice.

V současnosti se společnost zaměřuje na výzkum, vývoj a výrobu středních, těžkých a unikátních čerpadel a čerpacích soustrojí pro průmyslové využití. V tomto segmentu se firma řadí mezi světovou špičku v oboru a úspěšně tak navazuje na dlouholetou tradici výroby čerpadel v regionu střední Moravy. Mezi klíčové zákazníky patří tuzemské a zahraniční průmyslové podniky působící v oblasti lehkého i těžkého strojírenství, klasické a jaderné energetiky, petrochemie, těžby ropy, dobývání a zpracování nerostů a vodního hospodářství.

Vlastní výzkumná pracoviště, moderně vybavené výrobní provozy a široké servisní zázemí ve spojení s dlouholetými aplikačními zkušenostmi umožňují společnosti nabídnout zákazníkům komplexní dodávky investičních celků v oboru čerpací techniky formou staveb „na klíč“.

Společnost SIGMA GROUP a.s. je lídrem Svazu výrobců čerpadel České republiky a členem asociace evropských výrobců čerpací techniky EUROPUMP. (1)



Obrázek 1 Logo firmy SIGMA GROUP a.s. (2)

Čerpadla a jejich problematika

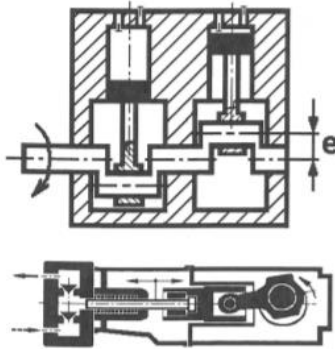
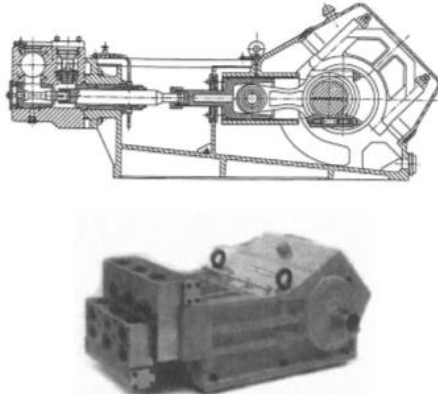

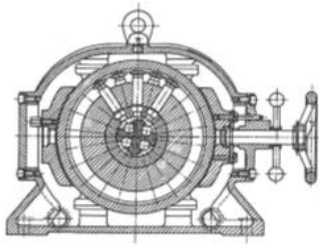
Čerpadla jsou druhem hydraulických strojů, ve kterých dochází k přeměně jednoho druhu energie na druhý za účelem přemístování kapaliny (pracovního média), která je nositelkou energie.

První čerpadla se již používala na počátku lidské existence, jednalo se o hydrostatická čerpadla. V dnešní době jsou však více používána čerpadla hydrodynamická. Čerpadla najdou uplatnění ve všech odvětvích průmyslu, např. ve stavebnictví, zemědělství, energetice, potravinářství, strojírenství. Není pochyb, že čerpadla zastupují významné postavení ve světě strojů a zařízení. Mezi dva hlavní problémy při čerpání kapalin patří vodní ráz a kavitace. (3) 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 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. (4)

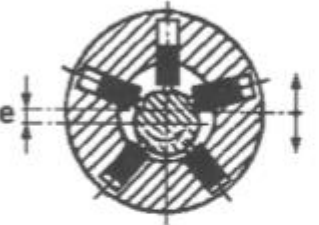
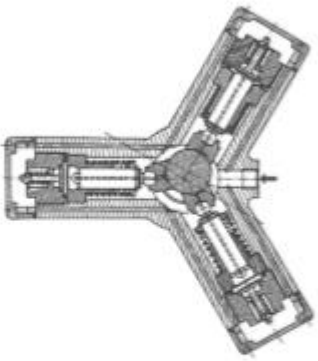
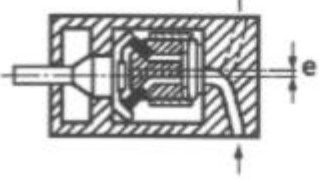
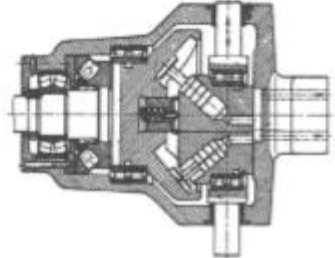
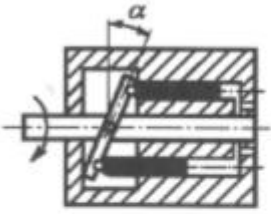
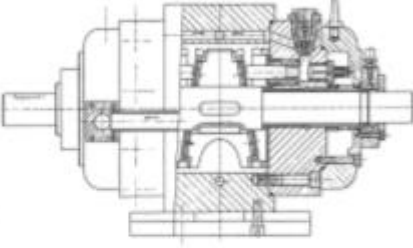
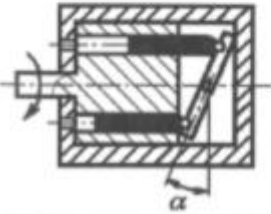
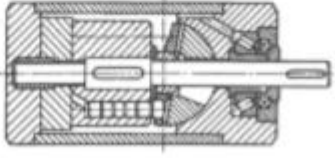
Kavitace je fyzikální jev vyskytující se v kapalinách, přičemž projevy kavitace mohou být odlišné v závislosti na fyzikálních vlastnostech kapaliny. Při kavitaci vznikají v pracovním médiu bubliny, které následně rostou a implodují (zanikají). Tyto bubliny jsou zaplněny plyny a párami vyloučenými z kapaliny. 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 těžkých kapalin. (3) (4)

Hydrostatická čerpadla

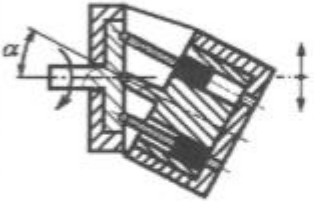
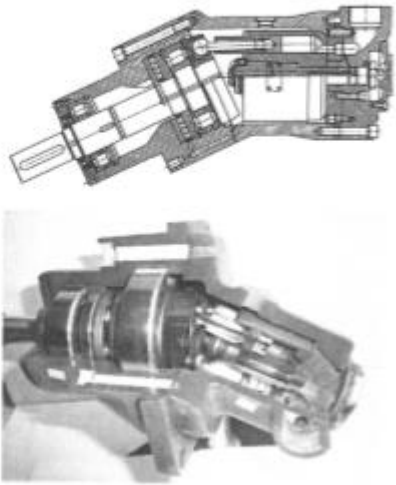
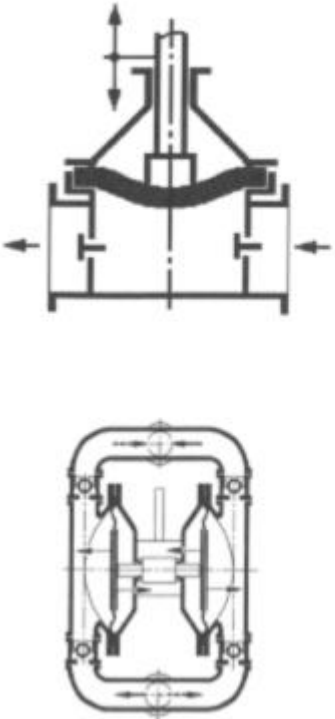
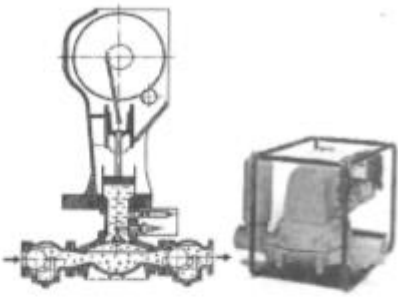

U tohoto typu čerpadel je dopravovaná kapalina vytlačována z pracovního prostoru působením pracovního prvku. Hlavní převáděnou složkou energie je potenciální, neboli polohová, energie, kinetická energie je zde zanedbatelná. Zvyšuje se buď tlaková energie kapaliny, nebo její poloha. Podle konstrukce se hydrostatická čerpadla dělí na pístová, membránová, zubová, lamelová, šroubová neboli šneková a hadicová neboli peristaltická. (3)

Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
Pracovní prvek - píst (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. $V_g = f(e)$.</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 $V_g = f(e)$</p>	

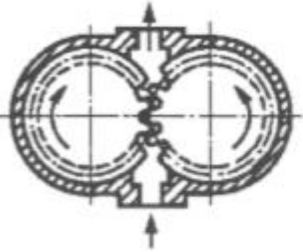
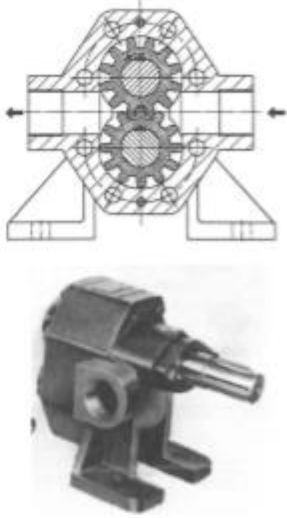

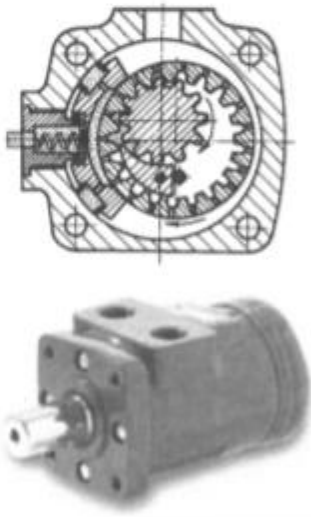
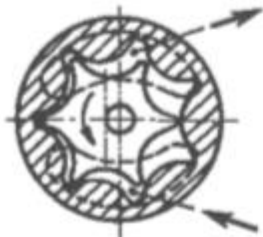
Obrázek 2 Pístová čerpadla (4)

Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
Pracovní prvek - píst (přímocháry vratný pohyb)		
<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; $V_g = f(e)$.</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; $V_g = f(e)$.</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; $V_g = f(\alpha)$.</p>	
<p>Axiální s nerotující nakloněnou deskou</p> 	<p>Písty kmitají v rotujícím tělese. Rozvod výřezy. Velikost činného prostoru se mění sklonem desky; $V_g = f(\alpha)$.</p>	

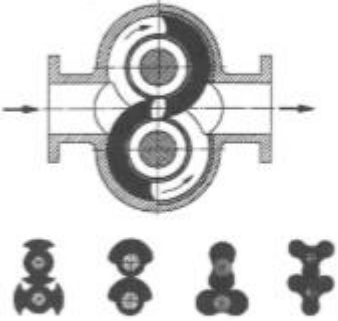
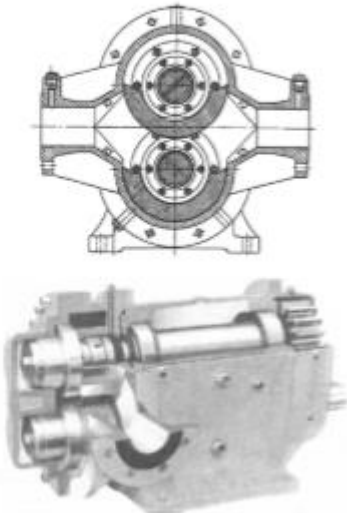
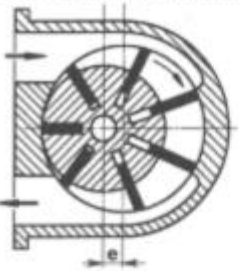
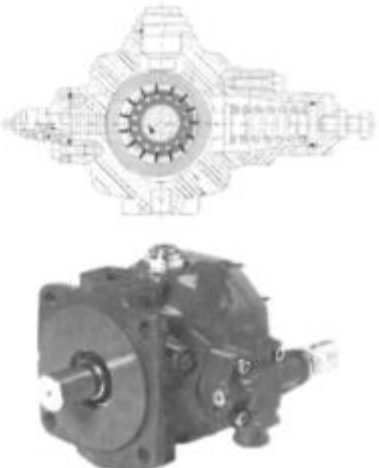

Obrázek 3 Pístová čerpadla (4)

Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
Pracovní prvek - píst (přímočarý vratný pohyb)		
<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; $V_g = f(\alpha)$.</p>	
Pracovní prvek - membrána		
<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> 



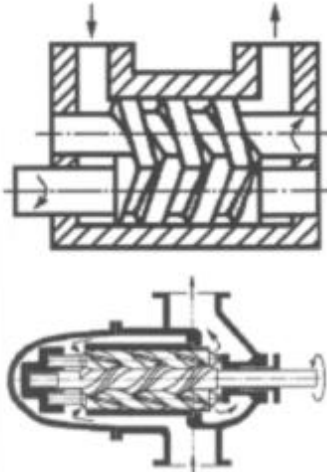
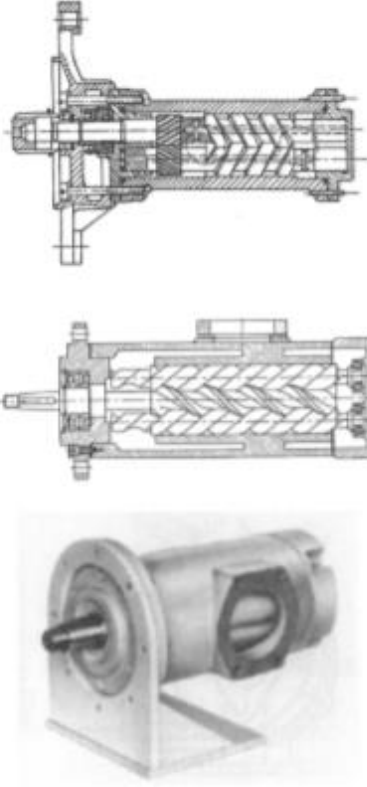
Obrázek 4 Pístové a membránové čerpadlo (4)

Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
Pracovní prvek - zub		
<p>Zubové s vnějším ozubením</p> 	<p>Mezery mezi zuby tvoří se stěnami tělesa činný prostor, který se nedá měnit. $V_g = \text{konst.}$</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. $V_g = \text{konst.}$</p>	

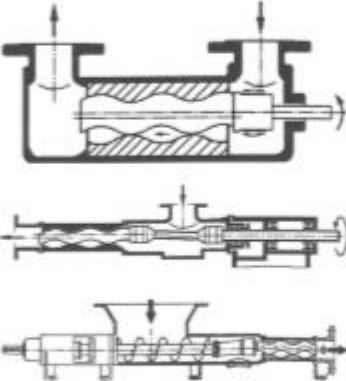

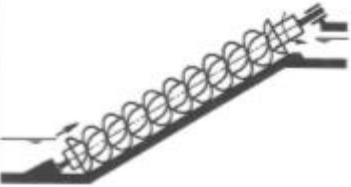
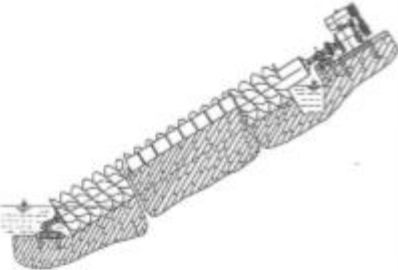
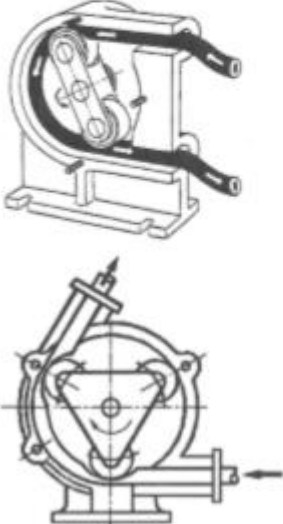
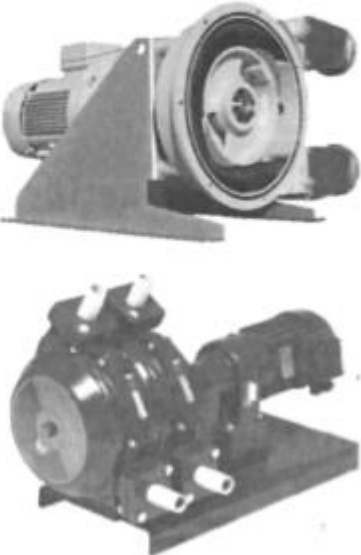
Obrázek 5 Zubová čerpadla (4)

Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
Pracovní prvek - rotační píst ("zub", "vačka", "nůž")		
<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. $V_g = \text{konst.}$</p>	
Pracovní prvek – lamela		
<p>Lamelové s kruhovým státorem</p> 	<p>Lamely kmitají ve výfzech kruhového rotoru, který je vůči statoru excentricky uložen a kloužou po kruhové dráze statoru přitlačovány odstředivou silou. $V_g = f(e)$.</p>	
<p>Lamelové s oválným státorem</p> 	<p>Obdobně jako předchozí, kruhový rotor není excentricky uložen, oválný stator je osově symetrický. $V_g = \text{konst.}$</p>	

Obrázek 6 Pístové čerpadlo a lamelová čerpadla (4)

Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
Pracovní prvek – lamela		
<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. $V_g = \text{konst.}$</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. $V_g = \text{konst.}$</p>	
Pracovní prvek - závit ("šikmý zub", "vřeteno", "šroub", "šroubová plocha")		
<p>Vřetenové</p> 	<p>Činný prostor tvoří obvykle čtvercové nebo lichoběžníkové závit rotoru 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) $V_g = \text{konst.}$</p>	

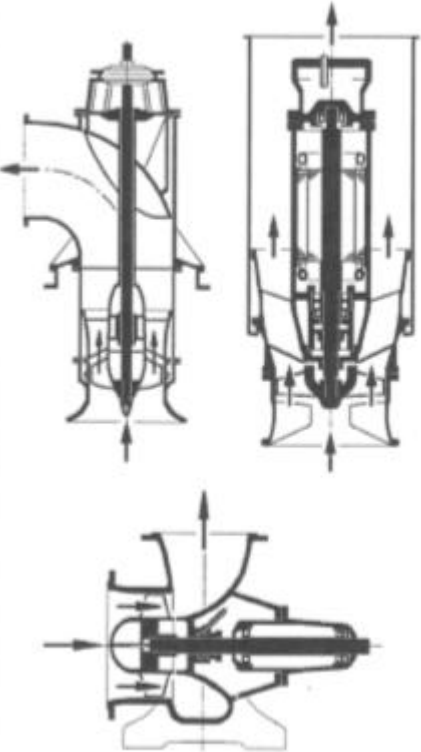


Obrázek 7 Lamelové a vřetenové čerpadlo (4)

Hydrostatické čerpadlo	Charakteristické znaky	Konstrukční provedení
Pracovní prvek - závit ("šikmý zub", "vřeteno", "šroub", "šroubová plocha")		
<p>Vřetenové (šnekové, šroubové)</p> 	<p>Činný prostor tvoří oblý vnější závit vřetene rotoru a pružné těleso statoru s vnitřním oblým závitěm. Dutiny mezi statorem a rotorem naplněné kapalinou se při rotaci vřetene axiálně posouvají.</p> <p>$V_g = \text{konst.}$</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>$V_g = \text{konst.}$</p>	
Pracovní prvek – vačka		
<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>$V_g = \text{konst.}$</p>	

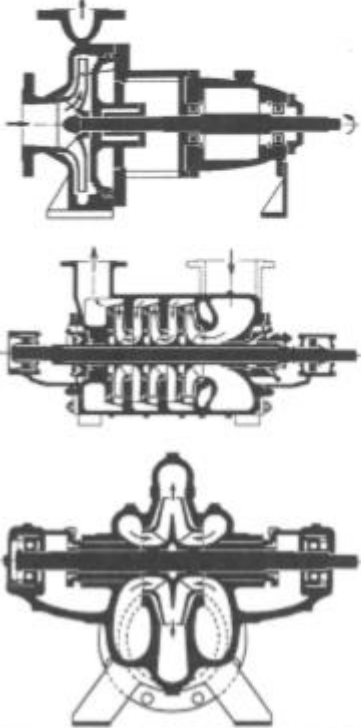

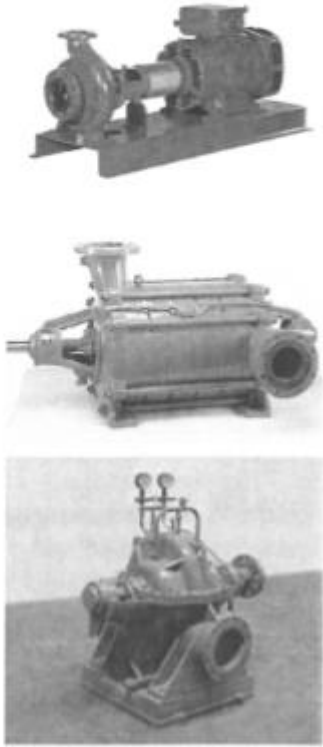
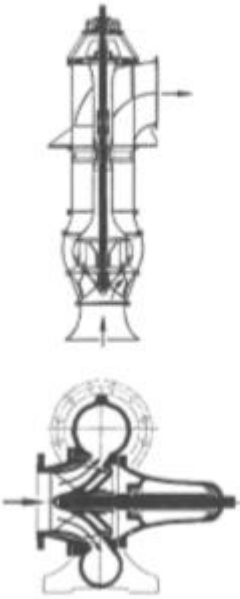


Obrázek 8 Vřetenové a hadicové čerpadlo (4)

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. U všech typů hydrodynamických čerpadel je axiální vstup do oběžného kola. Konstrukčně se hydrodynamická čerpadla dělí podle výstupu kapaliny z oběžného kola na axiální, radiální, diagonální, další rozdělení je podle polohy hřídele na vertikální a horizontální a podle počtu oběžných kol na jednostupňové a vícestupňové. (3)

Hydrodynamické čerpadlo	Charakteristické znaky oběžného kola	Konstrukční provedení
<p>Axiální</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> 	

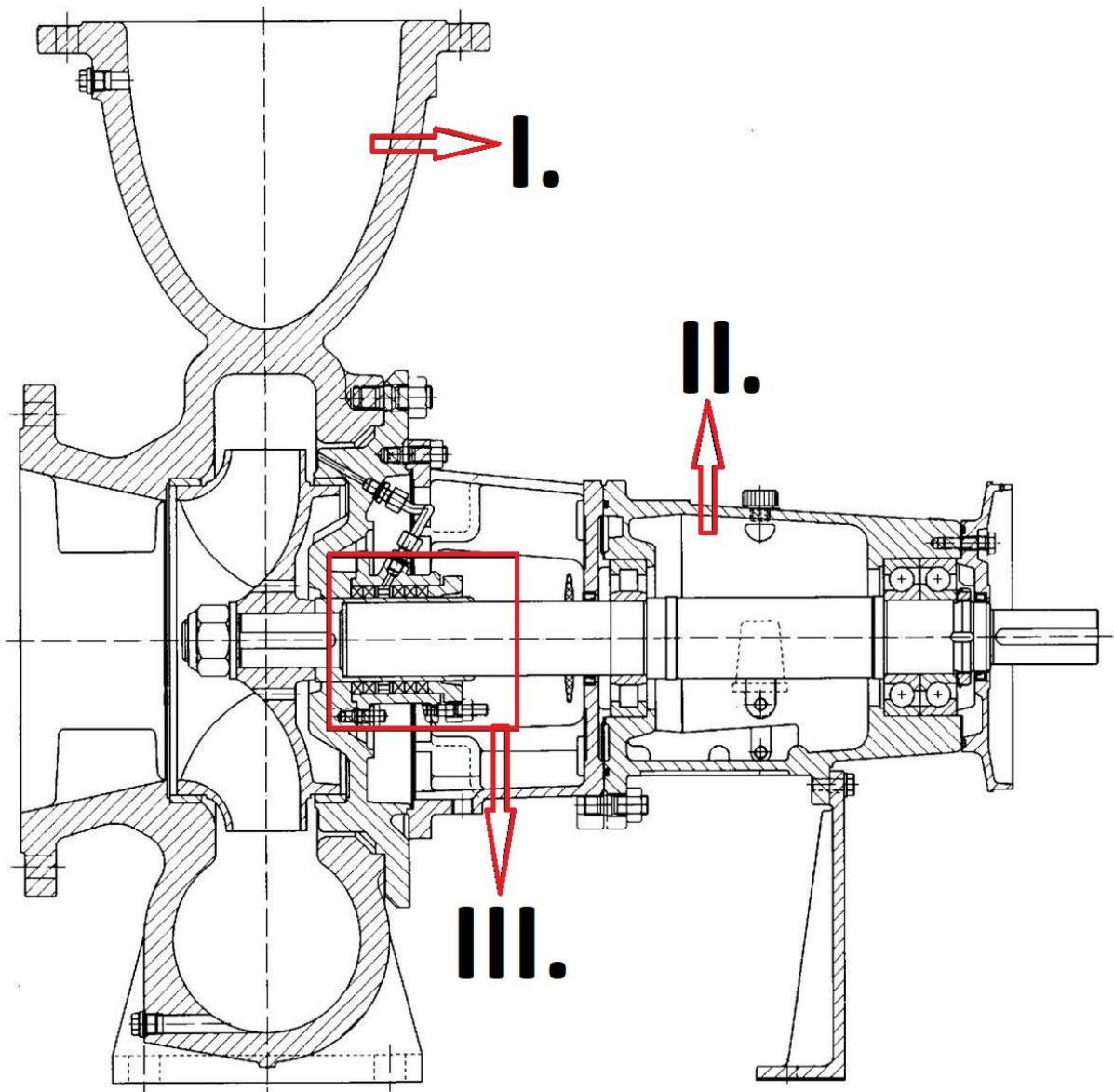
Obrázek 9 Axiální čerpadlo (3)

Hydrodynamické čerpadlo	Charakteristické znaky oběžného kola	Konstrukční provedení
<p>Radiální 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>Diagonální 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 10 Radiální a diagonální čerpadlo (4)

Jednostupňové odstředivé čerpadlo

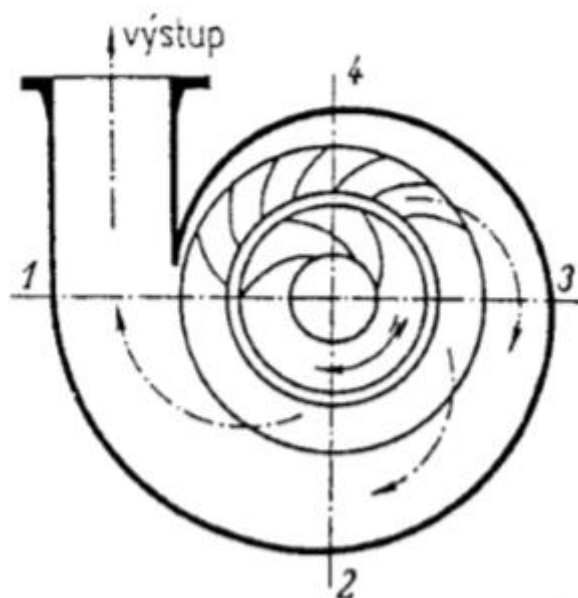
U tohoto typu čerpadla vstupuje kapalina axiálně do oběžného kola, kde se do ní předává přiváděná mechanická práce. V oběžném kole se zvyšuje tlak kapaliny vlivem tlaku lopatek oběžného kola na kapalinu a dále se zvyšuje rychlost kapaliny vlivem odstředivé síly a pohybu lopatek. Kapalina na výstupu má poměrně vysokou jak tlakovou, tak i kinetickou (rychlostní) energii. U tohoto čerpadla je další částí čerpadla spirální skříň (spirála) sloužící k převodu kapaliny z radiálního do axiálního směru, slouží současně jako difuzor. Běžná hydrodynamická čerpadla se skládají ze tří částí, jak je uvedeno na obrázku jednostupňového radiálního čerpadla. (5)



Obrázek 11 Jednostupňové odstředivé čerpadlo (6)

Hydraulická část „I“

Tato část obsahuje vstupní a výstupní hrdlo, oběžné kolo a spirální skříň. Oběžné kolo může být buďto uzavřené (nosný i krycí disk) nebo otevřené (pouze nosný disk). Spirální skříň (spirála) slouží k rovnoměrnému převádění kapaliny z radiálního do axiálního směru, proto se zvětšují jednotlivé průřezy spirály také rovnoměrně. Na obrázku spirální skříňe průřez čtyři tvoří 25 %, průřez tři 50 %, průřez dva 75 % a průřez jedna 100 % celkového průtočného průřezu.



Obrázek 12 Náčrt spirální skříňe (5)

Mechanická část „II“

Tato část slouží k uchycení ložisek hřídele. Obvykle ji tvoří skříň umožňující mazání ložisek.

Ucpávková část „III“

Tuto část tvoří spojení mezi hydraulickou a mechanickou částí a současně těsní hřídel čerpadla (ucpávka). Ucpávka může být buďto měkká (tvořená kroužky z provazců čtvercového průřezu, které jsou napuštěny mazivem) nebo mechanická (dva kroužky z tvrdého kovu nebo keramiky, jeden stojí a druhý se otáčí a jsou k sobě přitlačovány pružinou). (5)

Výpočtová část

V této části navrhují hřídel a oběžné kolo čerpadla. Dále kontrolují pera těsná na otláčení. Při výpočtu oběžného kola vycházím z podkladů získaných v hodinách konstrukčního cvičení (7).

Návrh oběžného kola

Zadané hodnoty:

Objemový průtok: $Q_v = 320 \text{ l/s} = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$

Dopravní výška: $H = 89 \text{ m}$

Počet stupňů čerpadla: $s = 1$

Tíhové zrychlení: $g = 10 \text{ m/s}^2$

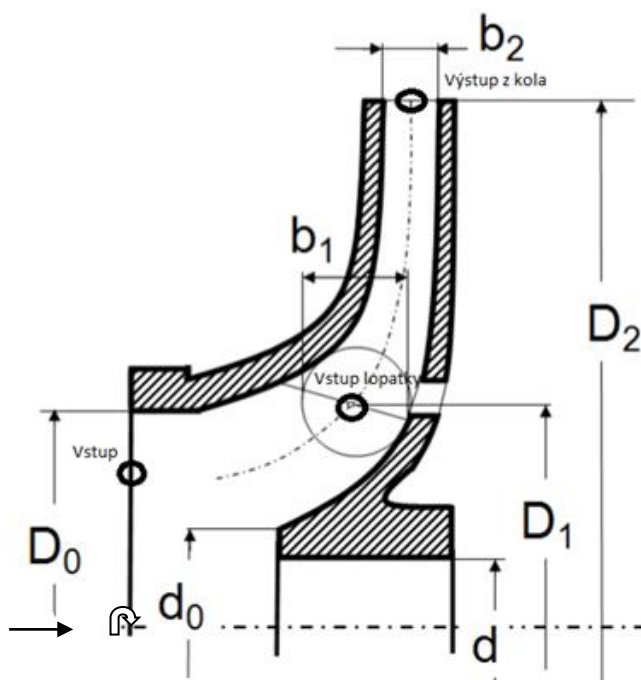
Hustota čerpaného média: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Celková účinnost čerpadla: $\eta_c = 86,3 \%$

Otáčky motoru: $n = 1488 \text{ min}^{-1}$

Životnost: $L_{10h} = 40000 \text{ hod}$

Tlakový součinitel: $\Psi = 1$



Obrázek 13 Náčrt oběžného kola v řezu (7)

Výpočet měrné energie

$$Y = H * g$$

$$Y = 89 * 10$$

$$Y = 890 \text{ J/kg}$$

Výpočet výkonu čerpadla

$$P = Y * Q_v * \rho$$

$$P = 890 * (320/1000) * 1000$$

$$P = 284800 \text{ W}$$

Výpočet příkonu elektromotoru

$$Př = P / \eta$$

$$Př = 284800 / 0,863$$

$$Př = 330012 \text{ W}$$

Výpočet ztrát

$$\Delta P = Př - P$$

$$\Delta P = 330012 - 284800$$

$$\Delta P = 45212 \text{ W}$$

Výpočet hydraulických ztrát

$$\Delta Ph = \Delta P / 2$$

$$\Delta Ph = 45212 / 2$$

$$\Delta Ph = 22606 \text{ W}$$

Výpočet hydraulického výkonu

$$Ph = P + \Delta Ph$$

$$Ph = 284800 + 22606$$

$$Ph = 307406 \text{ W}$$

Výpočet hydraulické účinnosti

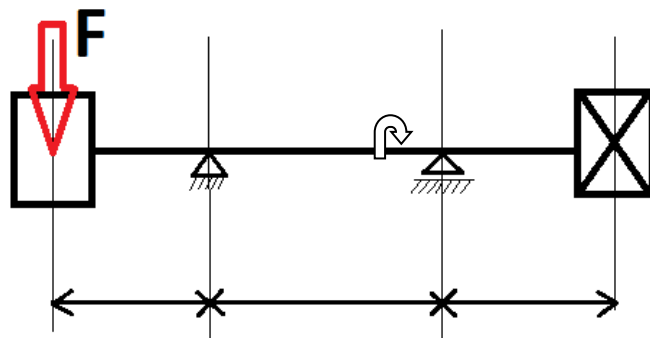
$$\eta_h = P / Ph$$

$$\eta_h = 284800 / 307406$$

$$\eta_h = 0,93$$

Výpočet průměru hřídele oběžného kola

1. Náčrt nosníku se zatížením hřídele čerpadla



Obrázek 14 Náčrt nosníku se zatížením

2. Hřídel je namáhaná na krut a ohyb, pro výpočet ohybu jsou potřeba jednotlivé vzdálenosti, které neznám, proto provedu výpočet průměru hřídele z pevnostní podmínky na krut a dovolené napětí snížím o 50 %
3. Výpočet průměru z pevnostní podmínky na krut

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk}$$

$$\frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk}$$

$$\frac{M_k}{\frac{\pi}{16} * d^3} \leq \tau_{Dk}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16M_k}{\pi * \tau_{Dk}}}$$

$$M_k = \frac{P_{\dot{r}}}{\frac{2 * \pi * n}{330012}}$$

$$M_k = \frac{2 * \pi * (\frac{1488}{60})}{330012}$$

$$M_k = 2117,862 \text{ N.m}$$

$$M_k = 2117862 \text{ N.mm}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 2117862}{\pi * 35}}$$

$$d \geq 67,55 \text{ mm}$$

$$\mathbf{d = 70 \text{ mm}}$$

4. Dovolené napětí v krutu jsem našel ve Strojnických na straně 54. Zvolil jsem z rozmezí 65–105 MPa hodnotu 70 MPa a snížil o 50 %. Zvolený materiál hřídele je ocel 11 600 s míjivým zatížením.

Konstrukční oceli		11 343	11 368	11 373	11 423	11 500	11 600	11 700	12 020	12 060	Slitinové oceli
Krut (smyk)	I. statický	55 až 80	65 až 90	65 až 95	70 až 105	85 až 125	105 až 145	125 až 190	70 až 85	110 až 130	250 až 440
	II. míjivý	45 až 70	55 až 75	40 až 60	45 až 70	55 až 85	65 až 105	80 až 125	45 až 55	70 až 80	210 až 375
	III. střídavý	35 až 50	40 až 60	30 až 45	35 až 50	40 až 60	50 až 70	60 až 90	33 až 40	50 až 60	160 až 285

Obrázek 15 Tabulka dovolených napětí pro namáhání v krutu (8)

Výpočet průměru náboje oběžného kola

$$d_o = (1,6 \div 1,8) * d$$

$$d_o = 1,7 * 70$$

$$d_o = 119 \text{ mm}$$

Výpočet součinitele rychloběžnosti

$$\sigma = 2 * \sqrt{\pi} * \frac{n * \sqrt{Qv}}{\sqrt[4]{(2 * Y)^3}}$$

$$\sigma = 2 * \sqrt{\pi} * \frac{(1488/60) * \sqrt{320/1000}}{\sqrt[4]{(2 * 890)^3}}$$


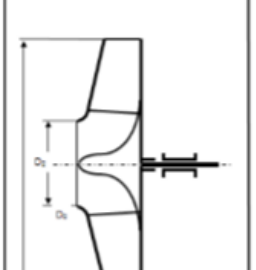
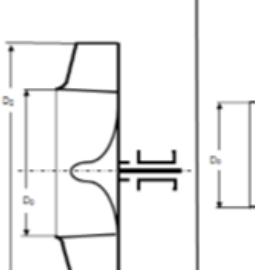
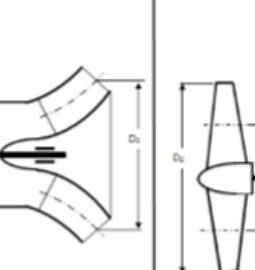
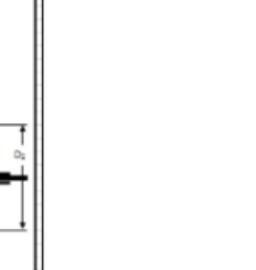
$$\sigma = 0,1815$$

Volba počtu lopatek (z) a poměr vstupního a výstupního průměru (x)

z = 8

x = 1,9

- Počet lopatek a poměr vstupního a výstupního průměru jsem zvolil podle tabulky, vypočítaný součinitel rychloběžnosti leží v intervalu 0,104–0,26 a zároveň je téměř středem intervalu, proto jsem zvolil střední hodnoty rozsahů.

σ	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 16 Tabulka pro určení hodnot X; Z (7)

Výpočet obvodové rychlosti na výstupu

$$Y = \Psi * \frac{u_2^2}{2}$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 * Y}{\Psi}}$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 * 890}{1}}$$

$$u_2 = 42,19 \text{ m} * \text{s}^{-1}$$

Výpočet největšího (výstupního) průměru oběžného kola

$$u_2 = \pi * D_2 * n$$

$$D_2 = \frac{u_2}{\pi * n}$$

$$D_2 = \frac{42,19}{\pi * (1488/60)}$$

$$D_2 = 0,542 \text{ m}$$

$$\mathbf{D_2 = 542 \text{ mm}}$$

Výpočet výstupního průměru

$$D_o = D_2 / x$$

$$D_o = 542 / 1,9$$

$$\mathbf{D_o = 285 \text{ mm}}$$

Výpočet vstupní rychlosti kapaliny do oběžného kola

- Rychlost v sacím hrdle určím z průtoku požadovaného množství
- Vzhledem ke ztrátám a ke zpětnému proudění uvažuji s průtokem o 10 % větším

$$Q_v = S * c$$

$$1,1 * Q_v = \frac{\pi}{4} * (D_o^2 - d_o^2) * c_o$$

$$c_o = \frac{4,4 * Q_v}{\pi * (D_o^2 - d_o^2)}$$

$$c_o = \frac{4,4 * (320/1000)}{\pi * ((285/1000)^2 - (119/1000)^2)}$$

$$\mathbf{c_o = 6,668 \text{ m} * \text{s}^{-1}}$$

Určení rychlosti kapaliny a průměru oběžného kola na vstupu do lopatek

- Rychlost kapaliny do běžného kola a do lopatek je přibližně stejná

$$\mathbf{c_1 = c_o = 6,668 \text{ m/s}}$$

$$\mathbf{D_1 = D_o = 285 \text{ mm}}$$

Výpočet obvodové rychlosti na vstupu do lopatek

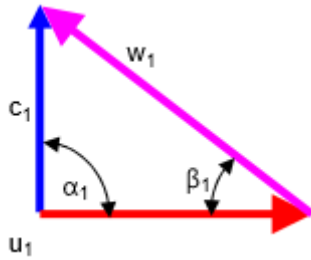
$$u_1 = \pi * D_1 * n$$

$$u_1 = \pi * (285/1000) * (1488/60)$$

$$u_1 = 22,23 \text{ m/s}$$

Výpočet úhlu lopatek na vstupu

- Z trojúhelníku stanovíme úhel β_1 , tedy úhel sklonu relativní rychlosti w_1
- Pod tímto úhlem β_1 začíná náběhový úhel lopatky



Obrázek 17 Rychlostní trojúhelník na vstupu (7)

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

$$\text{tg}\beta_1 = \frac{6,668}{22,23}$$

$$\text{tg}\beta_1 = 0,299$$

$$\beta_1 = 16,701^\circ$$

Výpočet šířky lopatek na vstupu

- Vypočítám ji z rovnice průtoku
- „ k “ je součinitel zmenšení šířky lopatek volím $k = 0,9$

$$Q_v = S * c$$

$$1,1 * Q_v = b_1 * \pi * D_1 * c_1 * k$$

$$b_1 = \frac{1,1 * Q_v}{\pi * D_1 * c_1 * k}$$

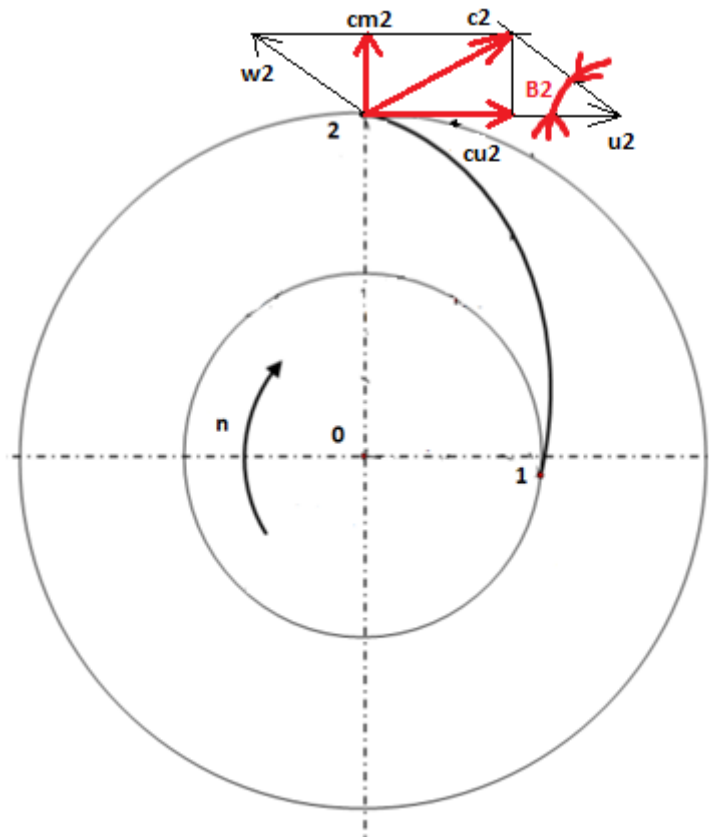
$$b_1 = \frac{1,1 * (320/1000)}{\pi * (285/1000) * 6,668 * 0,9}$$

$$b_1 = 0,0654 \text{ m}$$

$$b_1 = 0,0654 \text{ m}$$

$$b_1 = 65,4 \text{ mm}$$

Unášivá složka absolutní rychlosti c_{u2}



Obrázek 18 Rychlostní poměry na výstupu oběžného kola (7)

$$Y = \frac{c_{u2} * u_2 * \eta h}{Y}$$
$$c_{u2} = \frac{Y}{u_2 * \eta h}$$
$$c_{u2} = \frac{890}{42,19 * 0,93}$$
$$c_{u2} = 22,683 \text{ m/s}$$

Meridiánová složka absolutní rychlosti c_{m2}

$$c_{m2} = 1,1 * c_1$$
$$c_{m2} = 1,1 * 6,668$$
$$c_{m2} = 7,335 \text{ m/s}$$

Korekce rychlosti c_{u2}

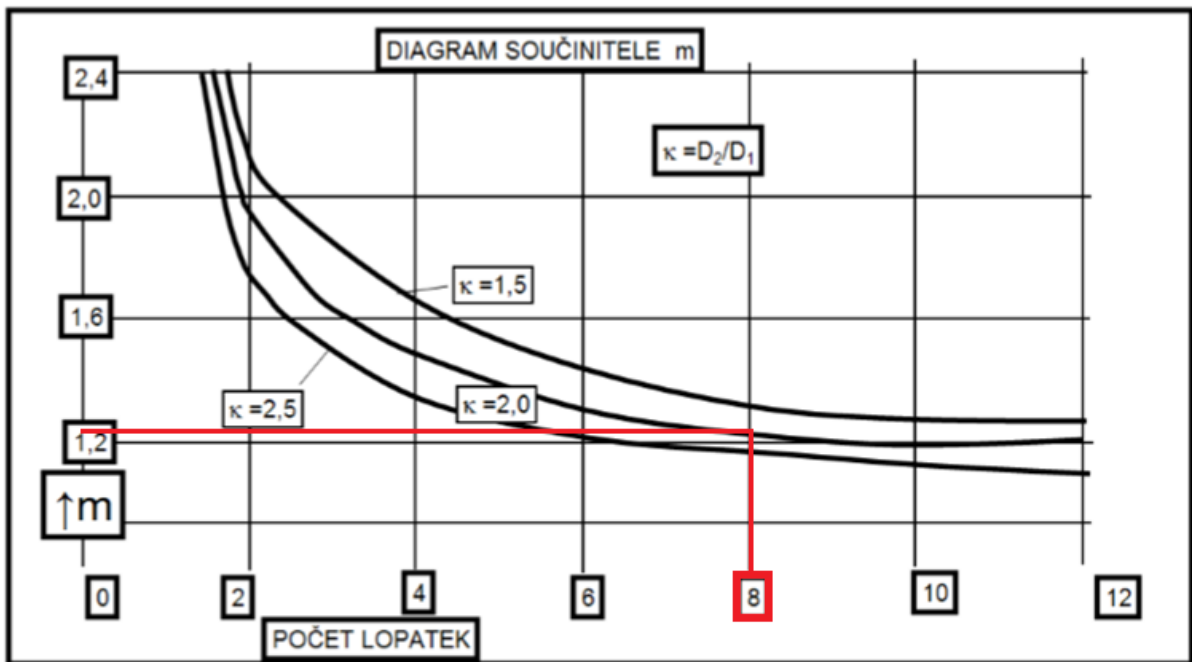
$$c_{u2'} = \frac{c_{u2}}{m}$$
$$c_{u2'} = \frac{22,683}{1,23}$$

$$c_{u2'} = \mathbf{18,441 \text{ m/s}}$$

- Velikost součinitele „ m “ jsem určil z diagramu v závislosti na počtu lopatek „ z “ a na poměru „ K “ = D_2/D_1
 $z = 8$ lopatek

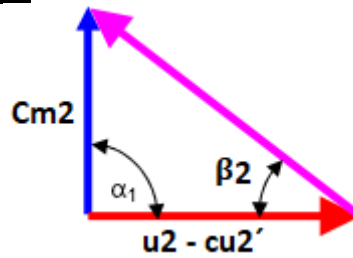
$$K = D_2/D_1 = 542/285 \cong 1,9$$

$$m = \mathbf{1,23}$$



Obrázek 19 Tabulka pro určení koeficientu "m" (7)

Výpočet úhlu lopatek na výstupu



Obrázek 20 Rychlostní trojúhelník na výstupu (7)

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{c_{m2}}{u_2 - c_{u2'}}$$

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{7,335}{42,19 - 18,441}$$

$$\operatorname{tg}\beta_2 = 0,308$$

$$\beta_2 = 17,164^\circ$$

Výpočet šířky lopatek na výstupu

- Vypočítám ji z rovnice průtoku
- „k“ je součinitel zmenšení šířky lopatek volím $k = 0,9$

$$Q_v = S * c$$

$$1,1 * Q_v = b_2 * \pi * D_2 * c_{m2} * k$$

$$b_2 = \frac{1,1 * Q_v}{\pi * D_2 * c_{m2} * k}$$

$$b_2 = \frac{1,1 * (320/1000)}{\pi * (542/1000) * 7,335 * 0,9}$$

$$b_2 = 0,0313 \text{ m}$$

$$b_2 = 31,3 \text{ mm}$$

Výpočet pera těsného pro spojení hřídele s oběžným kolem

- Vycházím z pevnostní rovnice pro otláčení

$$p = \frac{F}{S} \leq pd$$

$$\frac{F}{S} \leq pd$$

$$\frac{2 \cdot Mk}{d} \leq pd$$

$$l \geq b + \frac{2 \cdot Mk}{i \cdot t_1 \cdot d \cdot pd}$$

$$l \geq 20 + \frac{2 \cdot 2117862}{2 \cdot 4,6 \cdot 70 \cdot 100}$$

$$l \geq 85,77 \text{ mm}$$

$$l = 90 \text{ mm}$$

Volím 2x pero těsné: 20e7 x 12 x 90 ČSN 02 2562

- Rozměry pera těsného jsem vyhledal ve strojnických tabulkách na straně 462. Nejbližší normalizované délky per: 80 mm, 90 mm, 100 mm

Průměr hřídele d	Rozměry				Hloubka drážky				Poloměr drážky R_1
	b	h	f	l	t	mezní úchytky	t_1	mezní úchytky	
6 až 8	2	2	0,25	8 až 20	1,1	+0,1 0,0	0,9		0,2
8 až 10	3	3		8 až 36	1,7		1,3		
10 až 12	4	4		10 až 45	2,4		1,6		
12 až 17	5	5	0,5	12 až 56	2,9		2,1	+0,2 +0,1	0,4
17 až 22	6	6		16 až 70	3,5		2,5		
22 až 30	8	7		20 až 90	4,1		2,9		
30 až 38	10	8		25 až 110	4,7		3,3		
38 až 44	12	8		32 až 110	4,9		3,1		
44 až 50	14	9		40 až 140	5,5		3,5		
50 až 58	16	10	0,7	45 až 180	6,2		3,8		
58 až 65	18	11		50 až 200	6,8		4,2		
65 až 75	20	12		56 až 220	7,4	+0,2 0,0	4,6	+0,4 +0,2	0,6
75 až 85	22	14	1,2	63 až 250	8,5		5,3		
85 až 95	25	14		70 až 280	8,7		5,5		
95 až 110	28	16		80 až 315	9,9		6,1		

Obrázek 21 Tabulka s hodnotami pro pero těsné (8)

- Hodnotu dovoleného tlaku jsem vyhledal ve Strojnických tabulkách na straně 52 a z rozsahu 75-115 MPa jsem zvolil 100 MPa

Konstrukční oceli		11 343	11 368	11 373	11 423	11 500	11 600	11 700	12 020	12 060	Slitinové oceli
Tlak	I. statický	90 až 125	100 až 140	100 až 150	115 až 170	140 až 210	150 až 230	210 až 310	115 až 135	175 až 205	400 až 700
	II. mřivý	75 až 105	85 až 120	65 až 95	75 až 105	90 až 135	110 až 165	135 až 200	95 až 115	150 až 175	340 až 595
	III. střídavý	60 až 80	65 až 90	45 až 70	55 až 80	65 až 95	75 až 115	90 až 140	75 až 87	115 až 135	260 až 455

Obrázek 22 Tabulka dovolených napětí v tlaku (8)

Výpočet šířky oběžného kola

$$G = l_p + 10$$

$$G = 90 + 10$$

$$G = 100 \text{ mm}$$

Přehled vypočítaných hodnot pro konstrukci oběžného kola

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$d_o = 119 \text{ mm}$$

$$D_1 = 285 \text{ mm}$$

$$D_2 = 542 \text{ mm}$$

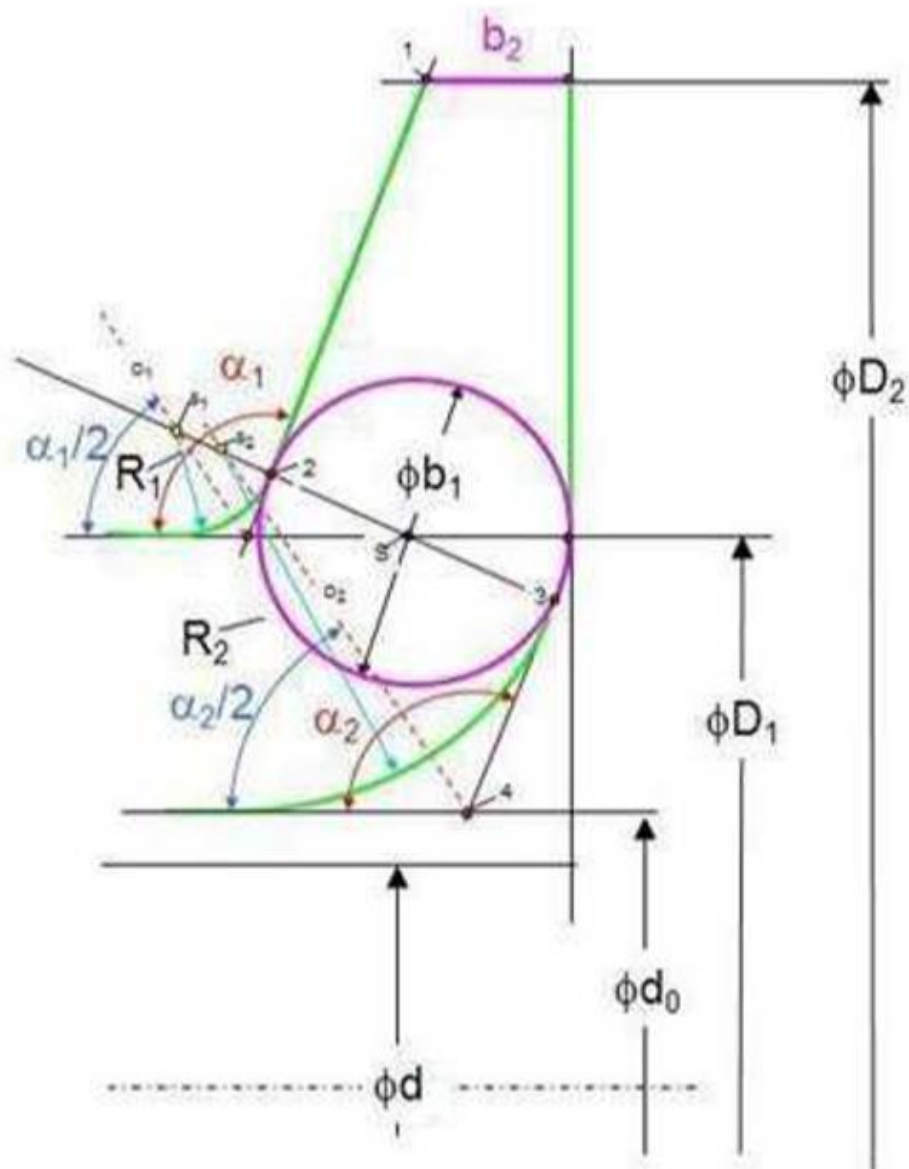
$$b_1 = 65,4 \text{ mm}$$

$$b_2 = 31,3 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 16,701^\circ$$

$$\beta_2 = \beta_3 = 17,164^\circ$$

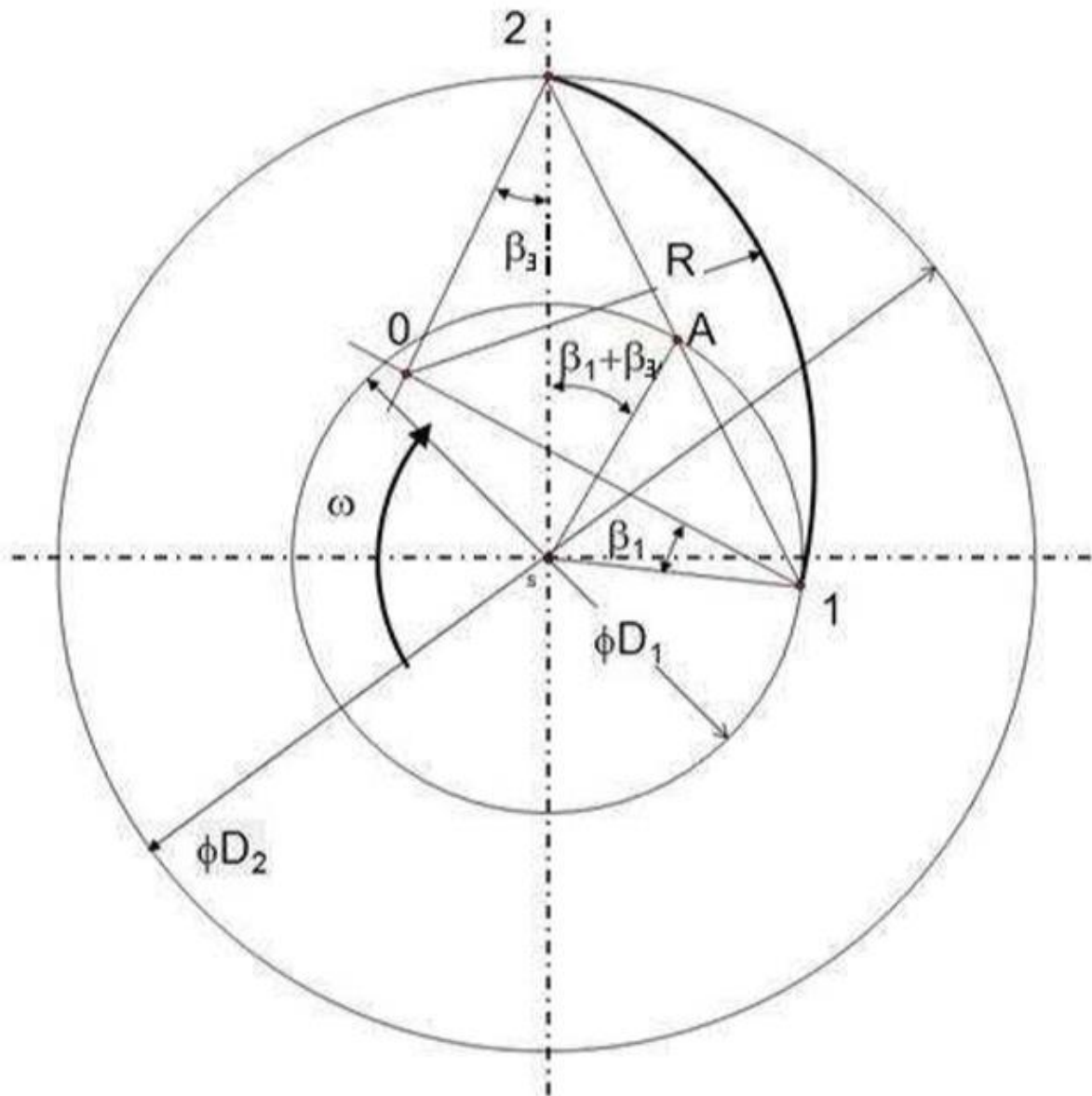
$$\beta_1 + \beta_3 = 33,865^\circ$$



Obrázek 23 Konstrukce kanálu oběžného kola (7)

Postup konstrukce:

Nakreslit přímky, které určují průměry d ; d_0 ; D_1 ; D_2 , tyto přímky se musí ohraničit svislou přímkou, která je kolmá na osu. Na přímce D_2 nanese se úsečku b_2 , na přímce D_1 sestrojíme kružnici se středem na přímce D_1 , která má průměr b_1 a je tečná k svislé přímce. Z bodu 1 vedeme tečnu ke kružnici. Tečný bod se označí jako 2. Kolmice na tečnu v bodě 2 protne kružnici v bodě 3. V bodě 3 se sestrojí kolmice, která protne přímku d_0 v bodě 3. Úsečka 3-4 a přímka d_0 svírají úhel α_2 . Tento úhel se rozpůlí a kde osa tohoto úhlu protne prodloužení úsečky 2-3 leží střed S_2 kružnice o poloměru R_2 . Obdobně se postupuje při zjištění středu kružnice o poloměru R_1 se středem S_1 na ose úhlu α_1 . (7)



Obrázek 24 Konstrukce lopatky oběžného kola (7)

Postup konstrukce:

Ze středu S se vedeme paprsek svírající s osou Y úhel $\beta_1 + \beta_3$. Kde tento paprsek protne kružnici D_1 , obdržíme bod A . Spojíme bod 2 s průsečíkem A a na prodloužení přímky $2-A$ získáme bod 1 . Bod 1 propojíme se středem S úsečkou $1-S$. Bodem 1 dále proložíme přímku, která svírá s úsečkou $S-1$ úhel β_1 . Z bodu 2 vedeme přímku, která svírá s osou Y úhel β_3 . Kde tato přímka protne přímku vedenou z bodu 1 pod úhlem β_1 je průsečík označen jako O . Tento průsečík je středem kružnice, která spojí bod 1 a 2 , a tím vytvoří tvar lopatky. (7)

Výpočet axiální síly z oběžného kola

- Po odborné konzultaci jsem průtok čerpadlem v optimu Q_{opt} a dopravní výšku v optimu H_{opt} zvolil stejně jako objemový průtok Q_v a dopravní výšku H ze zadaných hodnot
- Na základě odborné rady jsem koeficient „k“ zvolil nulový

1. Známé hodnoty

Průtok čerpadlem v optimu

$$Q_{opt} = Q_v = 320 \text{ l/s}$$

Dopravní výška v optimu

$$H_{opt} = H = 89 \text{ m}$$

Otáčky čerpadla

$$n = 1488 \text{ min}^{-1}$$

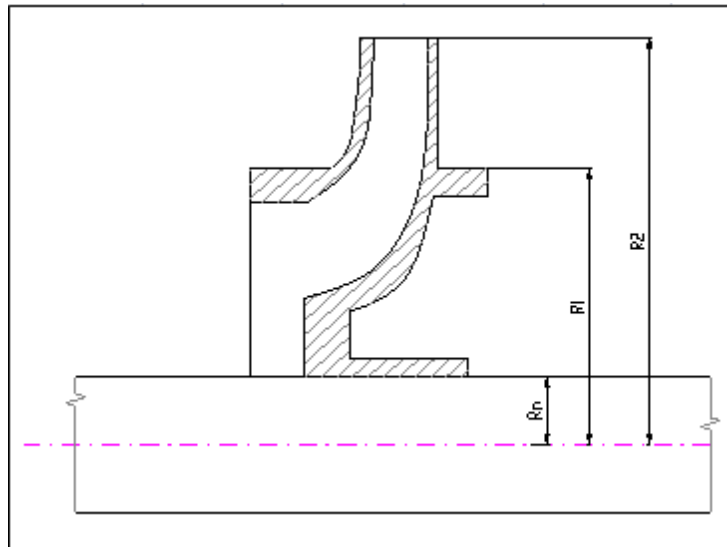
Hustota čerpaného média

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Gravitační zrychlení

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

2. Určené hodnoty



Obrázek 25 Určení hodnot pro výpočet sil

$$R_h = d/2 = 70/2 = 35 \text{ mm} = 0,035 \text{ m}$$

$$R_1 = 152,5 \text{ mm} = 0,1525 \text{ m}$$

$$R_2 = D_2/2 = 542/2 = 271 \text{ mm} = 0,271 \text{ m}$$

$$\text{Koeficient } k = 0$$

3. Výpočty

Výpočet dopravní výšky v závěrném bodě

$$H' = 1,3 * H_{opt}$$

$$H' = 1,3 * 89$$

$$H' = 115,7 \text{ m}$$

Výpočet podílu z celkové dopravní výšky, který přísluší oběžnému kolu

$$H_p = 0,75 * H'$$

$$H_p = 0,75 * 115,7$$

$$H_p = 86,775 \text{ m}$$

Úhlová rychlost

$$\omega = 2 * \pi * n$$

$$\omega = 2 * \pi * (1488/60)$$

$$\omega = 155,823 \text{ rad} * \text{s}^{-1}$$

Axiální tah pro neodlehčené kolo

$$F_{axn} = \pi * g * \rho * (R_1^2 - R_h^2) * \left[H_p - \left(R_2^2 - \frac{R_1^2 + R_h^2}{2} \right) * k * \frac{\omega^2}{8 * g} \right]$$

$$F_{axn} = \pi * 10 * 1000 * (0,1525^2 - 0,035^2) * \left[86,775 - \left(0,271^2 - \frac{0,1525^2 + 0,035^2}{2} \right) * 0 * \frac{155,823}{8 * 10} \right]$$

$$F_{axn} = 60059,8 \text{ N}$$

Axiální tah pro odlehčené kolo

$$F_{ax} = x * F_{axn}$$

$$F_{ax} = 0,25 * 60059,8$$

$$F_{ax} = \mathbf{15014,94 \text{ N}}$$

- x se volí v rozmezí 0,20–0,25, zvolil jsem x = 0,25

Výpočet radiální síly z oběžného kola

- Po odborné konzultaci jsem průtok čerpadlem v optimu Q_{opt} a dopravní výšku v optimu H_{opt} zvolil stejně jako objemový průtok Q_v a dopravní výšku H ze zadaných hodnot

1) **Znamé hodnoty**

Průtok čerpadlem

$$Q = 320 \text{ l/s}$$

Průtok čerpadlem v optimu

$$Q_{opt} = Q = 320 \text{ l/s}$$

Hustota čerpaného média

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Dopravní výška jednoho oběžného kola

$$H_{opt} = H = 89 \text{ m}$$

Průměr oběžného kola

$$D_2 = 542 \text{ mm} = 0,542 \text{ m}$$

Šířka oběžného kola (šířka kanálu + disky)

$$B_2 = 31,3 \text{ mm} = 0,0313 \text{ m}$$

2) Výpočty

Radiální síla pro jednoduchou spirálu

$$F_{RAD}' = k_1 * g * \rho * H * B_2 * D_2$$

$$F_{RAD}' = 0,36 * 10 * 1000 * 89 * 0,542 * 0,0313$$

$$F_{RAD}' = 5435,5 \text{ N}$$

- Protože je dopravní výška vyšší než 60 metrů, musí se ve spirální skříní použít tzv. dvojitá spirála z důvodu nárůstu radiální síly jednoduché spirály a je to tedy nutné řešit dvojitou spirálou, aby se snížila radiální síla, která by ohýbala hřídel a docházelo by ke kontaktu v těsnících kruzích a mechanické ucpávce
- Na základě odborné rady jsem koeficient „ k_1 “ zvolil 0,36

Radiální síla pro dvojitou spirálu

$$F_{RAD} = x * F_{rad}'$$

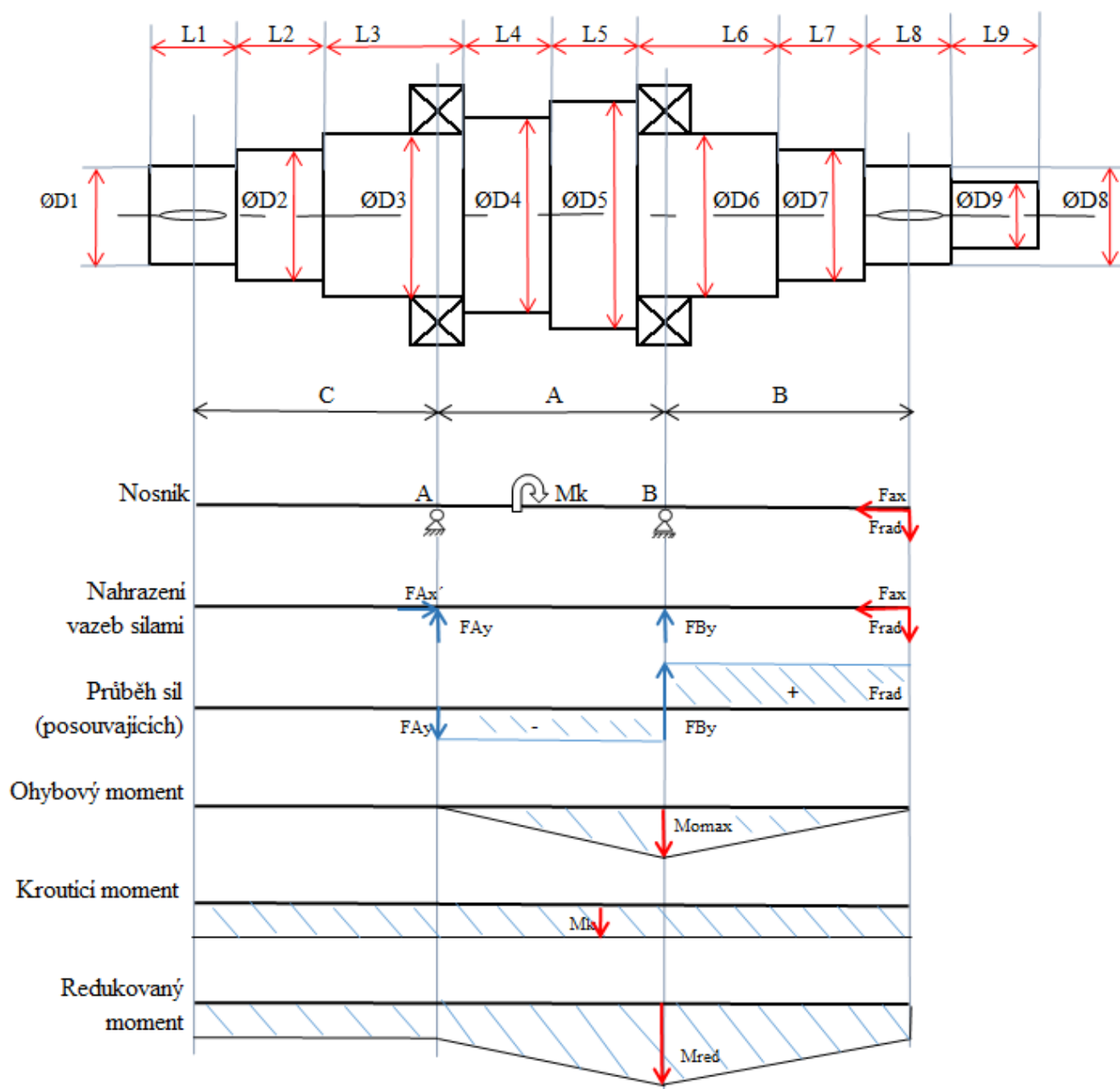
$$F_{RAD} = 0,25 * 5435,5$$

$$F_{RAD} = 1358,9 \text{ N}$$

- x se volí v rozmezí 0,20 – 0,25, zvolil jsem $x = 0,25$

Návrh hřídele čerpadla

Schéma hřídele



Obrázek 26 Náčrt hřídele, průběhy sil a momentů

I. Síly působící na hřídel z oběžného kola

$$F_{rad} = 1358,9 \text{ N}$$

$$F_{ax} = 15014,94 \text{ N}$$

II. Nahrazení vazeb silami (uvolnění)

- Volím vzdálenosti:
A = 300 mm
B = 400 mm
C = 200 mm

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ F_{Ax} - F_{ax} &= 0 \\ F_{Ax} &= F_{ax} \\ \mathbf{F_{Ax} = 15014,94 \text{ N}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ -F_{ay} + F_{by} - F_{rad} &= 0 \\ -1811,82 + 3170,68 - 1358,9 &= 0 \\ 0 &= 0 \\ \mathbf{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M(A) &= 0 \\ -F_{By} * A + F_{rad} * (A + B) &= 0 \\ F_{By} &= \frac{F_{rad} * (A + B)}{A} \\ F_{By} &= \frac{1358,9 * (300 + 400)}{300} \\ \mathbf{F_{By} = 3170,68 \text{ N}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M(B) &= 0 \\ -F_{Ay} * A + F_{rad} * B &= 0 \\ F_{Ay} &= \frac{F_{rad} * B}{A} \\ F_{Ay} &= \frac{1358,9 * 400}{300} \\ \mathbf{F_{Ay} = 1811,82 \text{ N}}\end{aligned}$$

III. Výpočet maximálního ohybového momentu

$$\begin{aligned}M_{o_{max}} &= F_{rad} * B \\ M_{o_{max}} &= 1358,9 * 400 \\ \mathbf{M_{o_{max}} = 543546 \text{ N. mm}}\end{aligned}$$

IV. Výpočet krouticího momentu

- Krouticí moment je vypočítaný již z výpočtu průměru hřídele oběžného kola
 $\mathbf{M_k = 2117862 \text{ N. mm}}$

V. Výpočet redukovaného momentu

$$M_{redmax} = \sqrt{M_{o_{max}}^2 + 0,75 * M_k^2}$$

$$M_{redmax} = \sqrt{543546 + 0,75 * 2117862}$$

$$\mathbf{M_{redmax} = 1912968 \text{ N.mm}}$$

- Protože redukovaný moment vyšel menší než moment krouticí, budu dál počítat s krouticím momentem

VI. Výpočet průměru D1 z pevnostní rovnice na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do}$$

$$\frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do}$$

$$\frac{M_k}{0,1 * D1^3} \leq \sigma_{Do}$$

$$D1 = \sqrt[3]{\frac{10 * M_k}{\sigma_{Do}}}$$

$$D1 = \sqrt[3]{\frac{10 * 2117862}{100}}$$

$$D1 = 59,61 \text{ mm}$$

- Protože při provozu čerpadla vznikají kmity, které způsobují rozvibrování čerpadla a následné poničení ložisek, zvýším vypočítaný průměr o 30 % a zvolím nejbližší vyšší průměr podle válcových konců hřídelů, tím se tyto vibrace značně sníží.

$$D1 = 59,61 * 1,3$$

$$D1 = 77,49 \text{ mm}$$

$$\mathbf{D1 = 80 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{L1 = 170 \text{ mm}}$$

Průměr d		Toleranční pole	Délka l		s	$R^1)$
Řada 1	Řada 2		dlouhá	krátká		
70 71	65	m6	140	105	1,6	2,5 4,0
80 90	75		170	130		
100 110	85		210	165	2,5	6,0
125 140	95		250	200		
160	150		300	240	4,0	

Obrázek 27 Válcové konce hřídelů (8)

- Dovolené napětí v ohybu jsem vyhledal ve Strojnických tabulkách na straně 52. Materiál hřídele je 11 600 a zatížení je střídavé. Z rozmezí 80–105 MPa jsem zvolil 100 MPa

Konstrukční oceli		11 343	11 368	11 373	11 423	11 500	11 600	11 700	12 020	12 060	Slitinové oceli
Ohyb	III. střídavý	65	70	50	60	70	85	105	80	85	285
		až 85	až 100	až 75	až 85	až 105	až 115	až 125	až 95	až 100	až 500

Obrázek 28 Dovolená napětí v ohybu (8)

VII. Výpočet ostatních průměrů hřídele

$$D2 = D1 + 5$$

$$D2 = 80 + 5$$

$$\mathbf{D2 = 85 \text{ mm}}$$

$$D3 = D2 + 10$$

$$D3 = 85 + 10$$

$$\mathbf{D3 = 95 \text{ mm}}$$

$$D4 = D3 + 15$$

$$D4 = 95 + 15$$

$$\mathbf{D4 = 110 \text{ mm}}$$

$$D5 = D4 + 5$$

$$D5 = 110 + 5$$

$$\mathbf{D5 = 115 \text{ mm}}$$

$$D6 = D3$$

$$\mathbf{D6 = 95 \text{ mm}}$$

$$D7 = D6 - 5$$

$$D7 = 95 - 5$$

$$\mathbf{D7 = 90 \text{ mm}}$$

$$D8 = d$$

$$\mathbf{D8 = 70 \text{ mm}}$$

$$D9 = D8 - 40$$

$$D9 = 70 - 40$$

$$\mathbf{D9 = 30 \text{ mm}}$$

Návrh a kontrola per těsných

Zde budu navrhovat pero těsné na průměr D1 a následně kontrolovat pera těsná v lamelové spojce RADEX-X 80 NANA 1, která spojuje hřídel čerpadla a elektromotor H17R – 315LX04 – Z. Lamelová spojka i elektromotor byly součástí zadání.

A. Návrh pera těsného na průměr D1

- Protože je průměr D1 normalizován, stačí navrhnout délku pera těsného tak, aby bylo pero minimálně 5 mm od hran průměru
L1 = 170 mm
D1 = 80 mm
- Nejbližší normalizované délky per těsných dle ČSN 02 2562: 100 mm, 110 mm, 125 mm, **140 mm**, 160 mm, 180 mm
- Volím délku pera těsného podle strojnických tabulek **Lp = 140 mm**
- **Volím pero těsné: 22e7 x 14 x 140 ČSN 02 2562**

B. Kontrola per těsných v lamelové spojce

Po odborné konzultaci provedu kontrolu per těsných pouze na otlačení, jestli vzniklé tlakové napětí bude menší než 160 MPa, bude pero vyhovovat.

i. Kontrola pera těsného na průměru D1

Znamé informace:

Průměr hřídele	D1 = 80 mm
Otáčky hřídele	n = 1488 min ⁻¹
Krouticí moment	Mk = 2117862 N.mm
Šířka pera těsného	b = 22 mm
Výška pera těsného	h = 14 mm
Dovolený tlak	pd = 160 MPa
Vzdálenost mezi perem a hranou	o = 5 mm
Délka drážky pro pero ve spojce	L = 75 mm

Výpočty:

Délka drážky ve spojce na otlačení

$$L\check{c} = L - (b/2) - o$$

$$L\check{c} = 75 - (22/2) - 5$$

$$L\check{c} = 59 \text{ mm}$$

Výpočet tlaku

$$p = \frac{4 * Mk}{L\check{c} * h * d} \leq pd$$

$$p = \frac{4 * 2117862}{59 * 14 * 80} \leq 160$$

$$128,20 \leq 160$$

Vyhovuje

ii. Kontrola pera těsného na elektromotoru

Znamé informace:

Průměr hřídele	D1 = 80 mm
Otáčky hřídele	n = 1488 min ⁻¹
Krouticí moment	Mk = 2117862 N.mm
Šířka pera těsného	b = 22 mm
Výška pera těsného	h = 14 mm
Dovolený tlak	pd = 160 MPa
Vzdálenost mezi perem a hranou	o = 5 mm
Délka drážky pro pero ve spojce	L = 75 mm

Výpočty:

Délka drážky ve spojce na otláčení

$$L\check{c} = L - (b/2) - o$$

$$L\check{c} = 75 - (22/2) - 5$$

$$L\check{c} = 59 \text{ mm}$$

Výpočet tlaku

$$p = \frac{4 * Mk}{L\check{c} * h * d} \leq pd$$

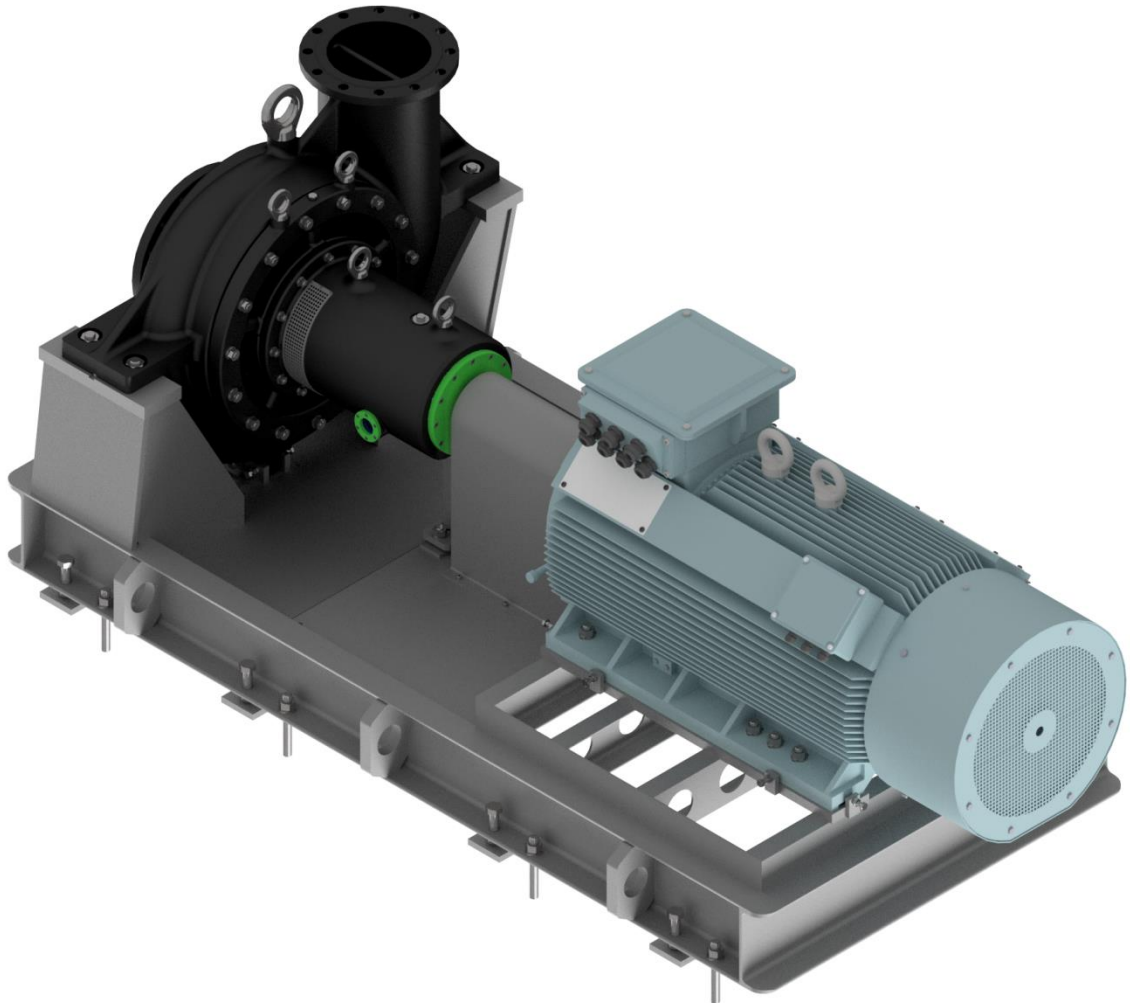
$$p = \frac{4 * 2117862}{59 * 14 * 80} \leq 160$$

$$128,20 \leq 160$$

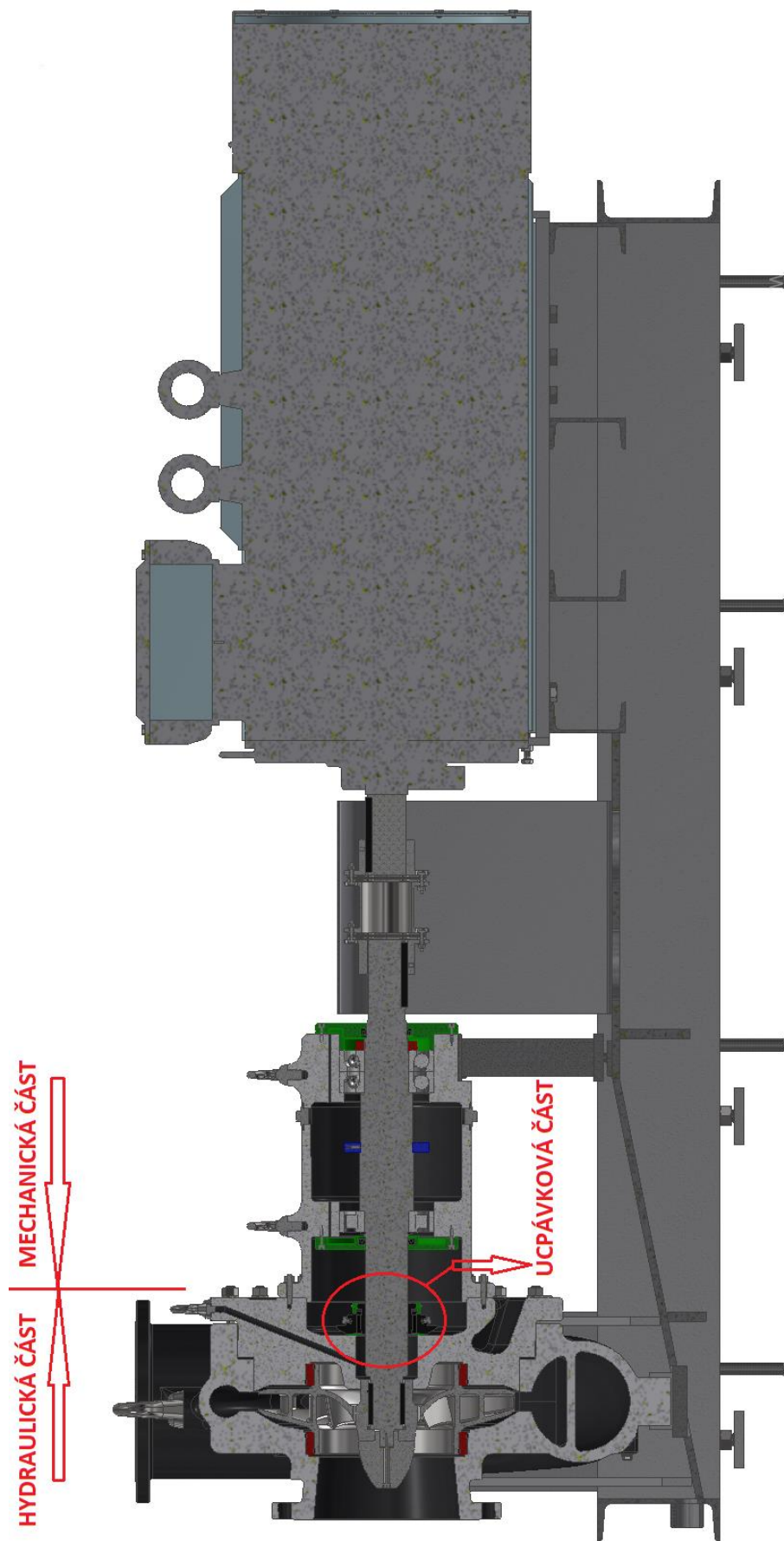
Vyhovuje

Konstrukční část

Tato část práce se zabývá konstrukcí 3D modelu jednostupňového odstředivého čerpadla. Čerpadlo je rozděleno celkem na čtyři části. Jedná se o hydraulickou, ucpávkovou, mechanickou a nosný rám.



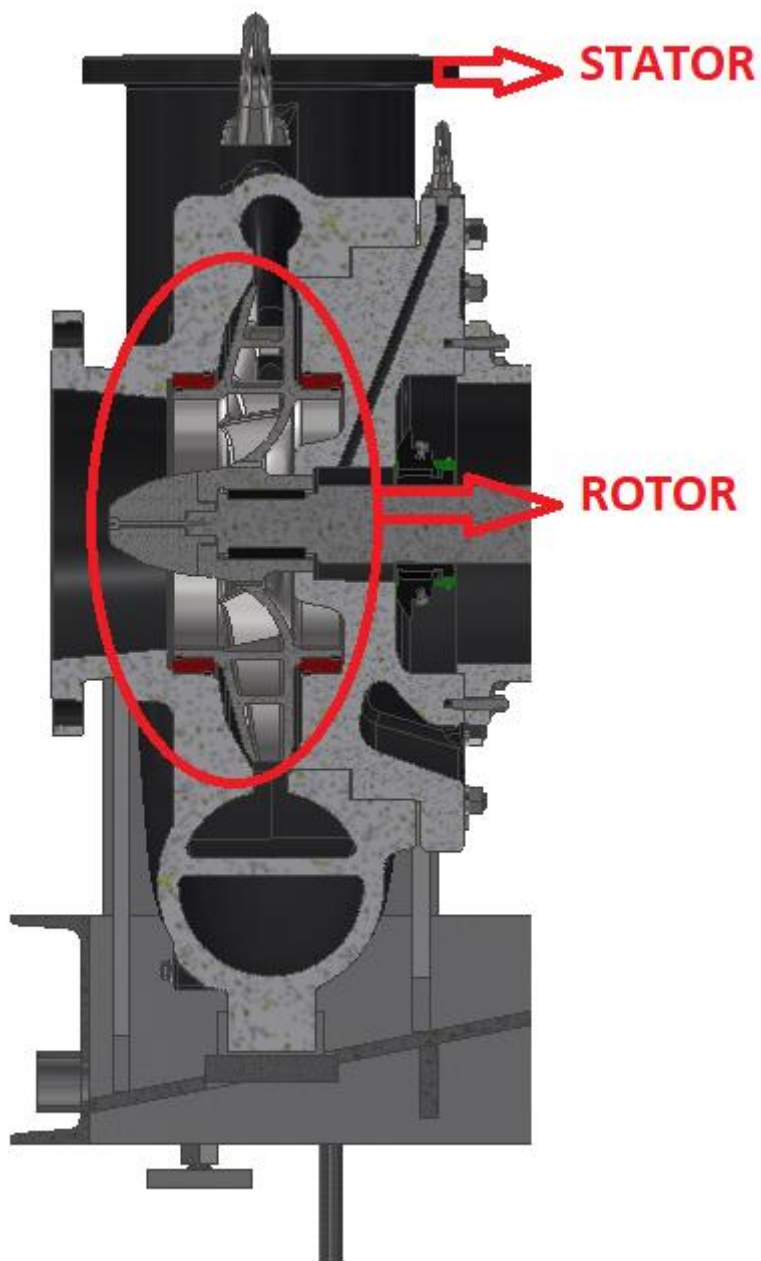
Obrázek 29 Celková sestava čerpadla



Obrázek 30 Celková sestava v řezu

Hydraulická část

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



Obrázek 31 Hydraulická část čerpadla v řezu

Stator

Stator hydraulické části je tvořen spirální skříní a víkem spirální skříně. Mezi těmito částmi je vloženo ploché kruhové těsnění a jsou k sobě přišroubovány.

Spirální skřín

Spirální skřín (spirála) slouží k rovnoměrnému převádění kapaliny z radiálního do axiálního směru, proto se zvětšují jednotlivé průřezy spirály také rovnoměrně. Spirála také obsahuje sací a výtlačné hrdlo, úchopové, středící, ustavovací prvky včetně výpustného otvoru. Monolitická (jednotná) spirální skřín může být vyrobena z litiny s označením dle ČSN 42 2420. Musí být dostatečně tuhá, pevná a musí odolávat vibracím.



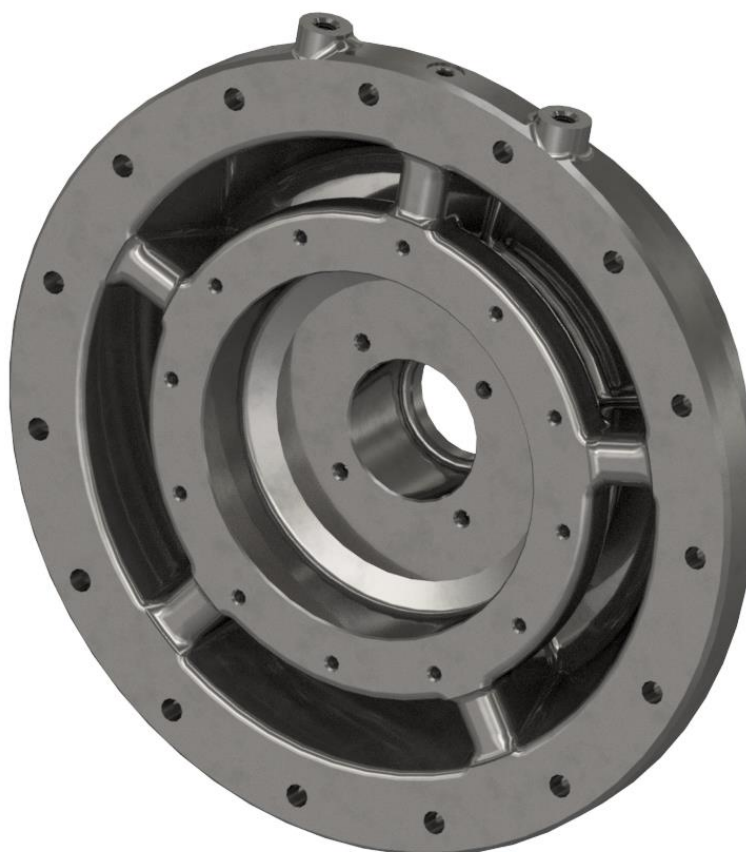
Obrázek 32 Spirální skřín zepředu



Obrázek 33 Spirální skříně zezadu

Víko spirální skříně

Víko spirální skříně slouží k uzavření otvoru z přední strany spirální skříně. Obsahuje úchopové prvky, mazací kanál, který je na povrchu čerpadla z důvodu lepší údržby mechanické ucpávky. Monolitické (jednotné) víko spirální skříně může být vyrobeno z litiny s označením dle ČSN 42 2420. Musí být dostatečně tuhé, pevné a musí odolávat vibracím.



Obrázek 34 Víko spirální skříně zepředu



Obrázek 35 Víko spirální skříně zezadu

Rotor

Rotor hydraulické části je složen z hřídele čerpadla, oběžného kola a zajištění. Zajištění přitlačuje oběžné kolo k osazení na hřídeli a současně je spojeno šroubem s vnitřním šestihranem k hřídeli.

Hřídel

Hřídel čerpadla je uložena v ložiscích ve skříni mechanické části. Na jedné straně je připevněno oběžné kolo zajištěním a na druhé straně je lamelová spojka, která zajišťuje přenos krouticího momentu z motoru na hřídel.



Obrázek 36 Hřídel čerpadla

Oběžné kolo

Nejdůležitější část čerpadla. Je uloženo na hřídeli a připevněno zajištěním, přenos krouticího momentu je přenášen pomocí per těsných. Je konstruováno jako uzavřené a má osm lopatek. Kvůli vyrovnání tlaku, axiálních silám a mazání mechanické ucpávky je v předním disku kola vyvrtáno šest vyrovnávacích otvorů po 60 °. Monolitické (jednotné) oběžné kolo může být vyrobeno z litiny s označením dle ČSN 422643, 422931, 422941, 422942, 422953 nebo z oceli 17 349.



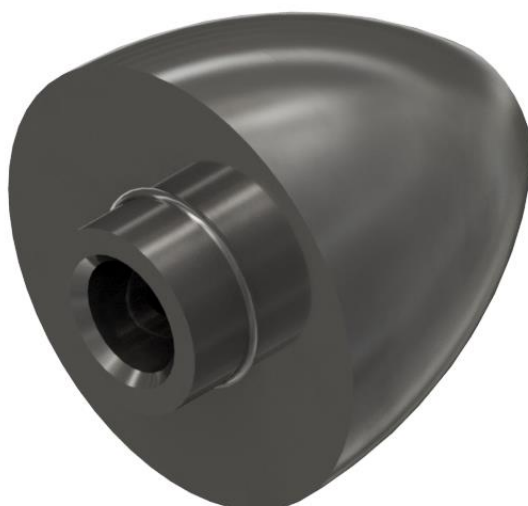
Obrázek 37 Oběžné kolo zepředu



Obrázek 38 Oběžné kolo zezadu

Zajištění oběžného kola

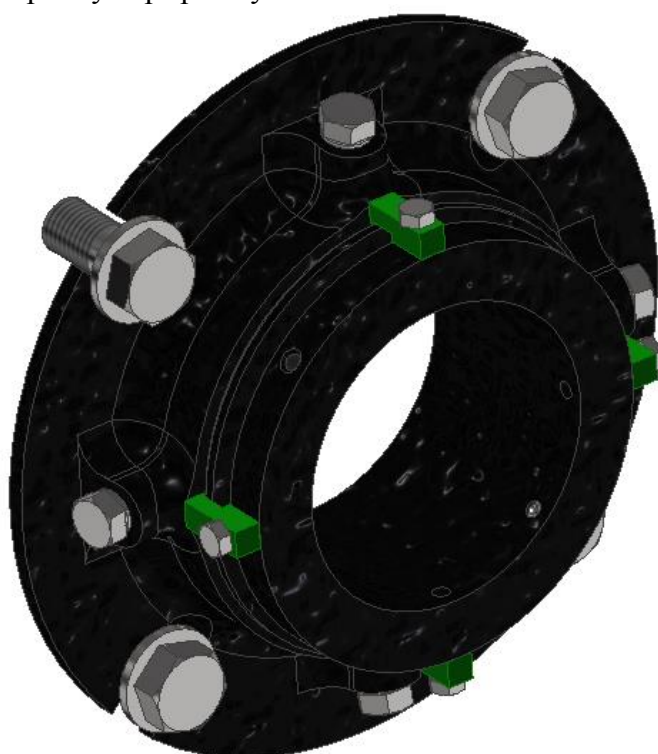
Je připevněno k hřídeli pomocí šroubu s vnitřním šestihranem. Drží oběžné kolo v nehybné poloze. Má tvar umožňující plynulý náběh kapaliny do oběžného kola.



Obrázek 39 Zajištění oběžného kola

Ucpávková část

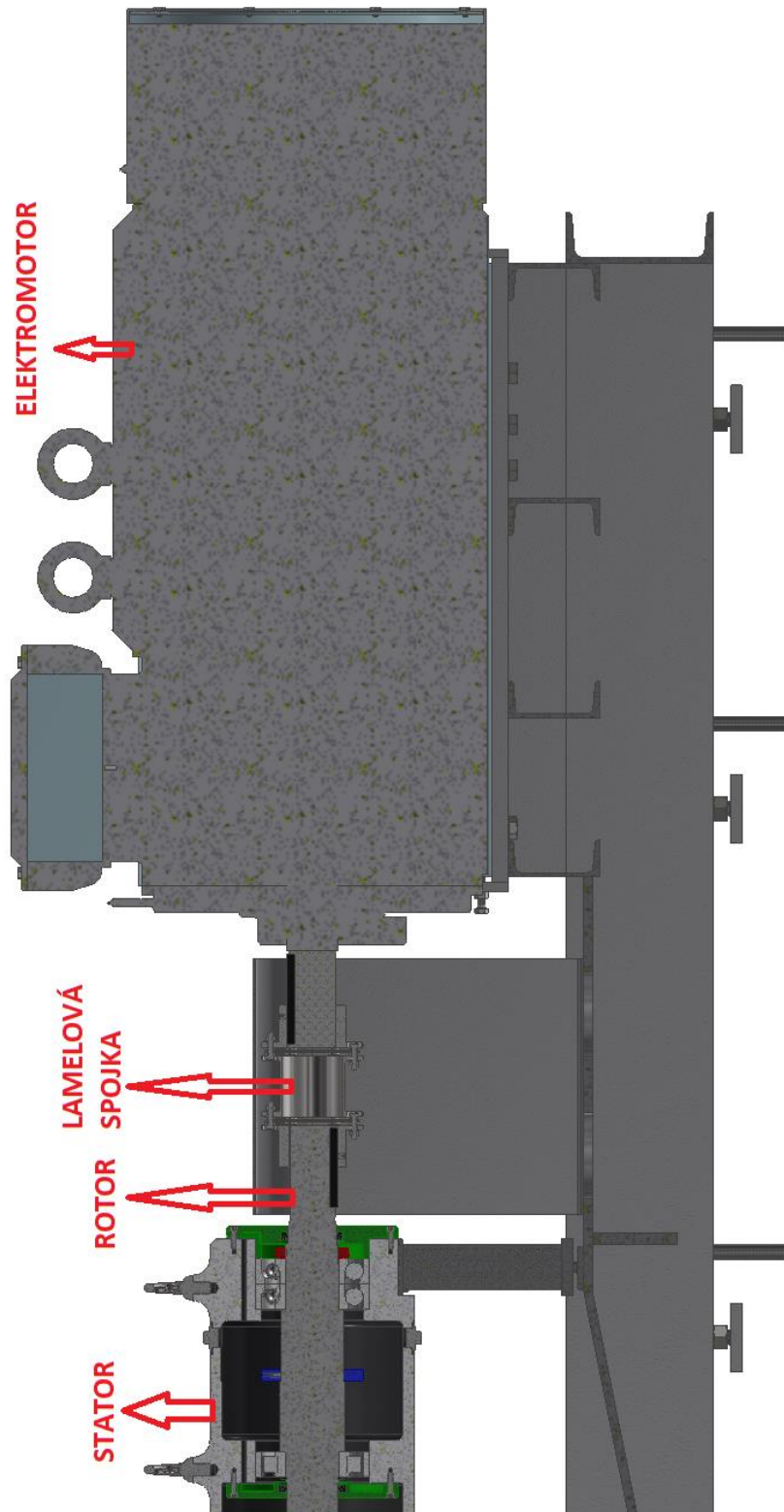
Těsnění mezi hydraulickou a mechanickou částí je tvořeno mechanickou ucpávkou typu 5610V na průměr 90 mm, která je přišroubována čtyřmi šrouby do mezistěny, to znamená, že jedna část je pevně připevněná a druhá se otáčí s hřídelí. Mechanickou ucpávku jsem použil z důvodu bezobslužného provozu (šňůrová ucpávka by vyžadovala seřizovače, který by ji kontroloval) a dále též proto, že předpokládané využití je v chemickém, ropném průmyslu, kde je jakýkoliv únik kapaliny nepřipustný.



Obrázek 40 Mechanická ucpávka

Mechanická část

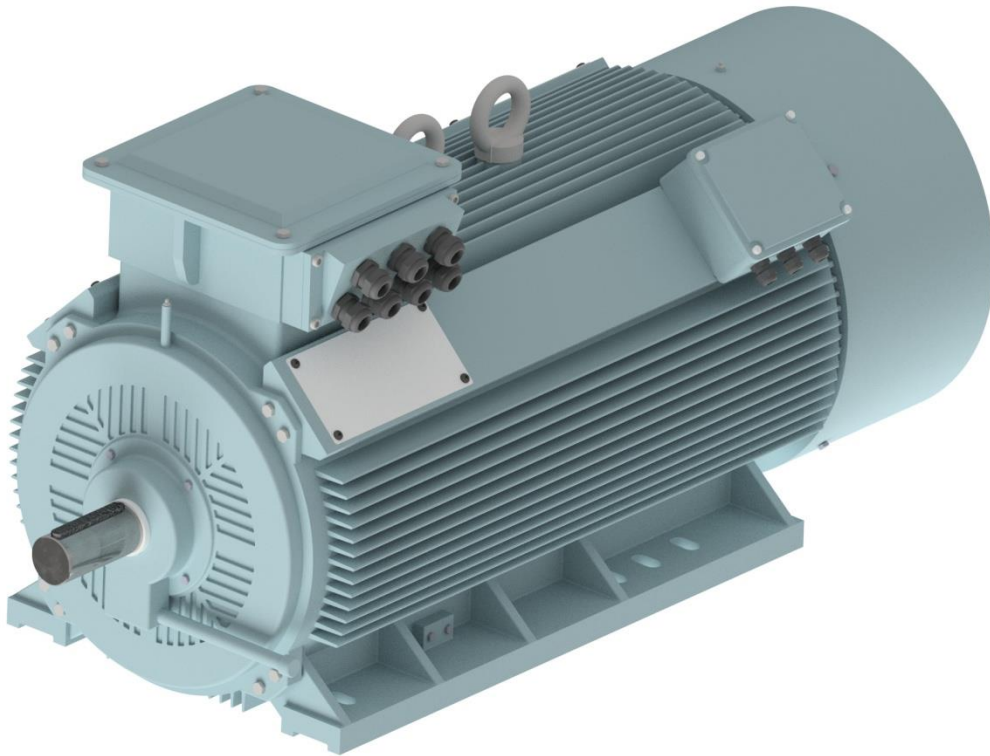
Mechanická část se skládá z rotoru, statoru, elektromotoru a lamelové spojky. Rotor je uvnitř statoru, kde je uložen v ložiscích a je poháněn přes lamelovou spojku elektromotorem. Touto částí neprotéká čerpané médium.



Obrázek 41 Mechanická část čerpadla v řezu

Elektromotor

Pohonnou jednotkou čerpadla je elektromotor H17R-315LX04-Z, který byl součástí zadání. Mezi jeho nejdůležitější parametry patří výkon 365 kW, otáčky 1488 min^{-1} a průměr hřídele 80 mm.



Obrázek 42 Elektromotor H17R-315LX04-Z

Lamelová spojka

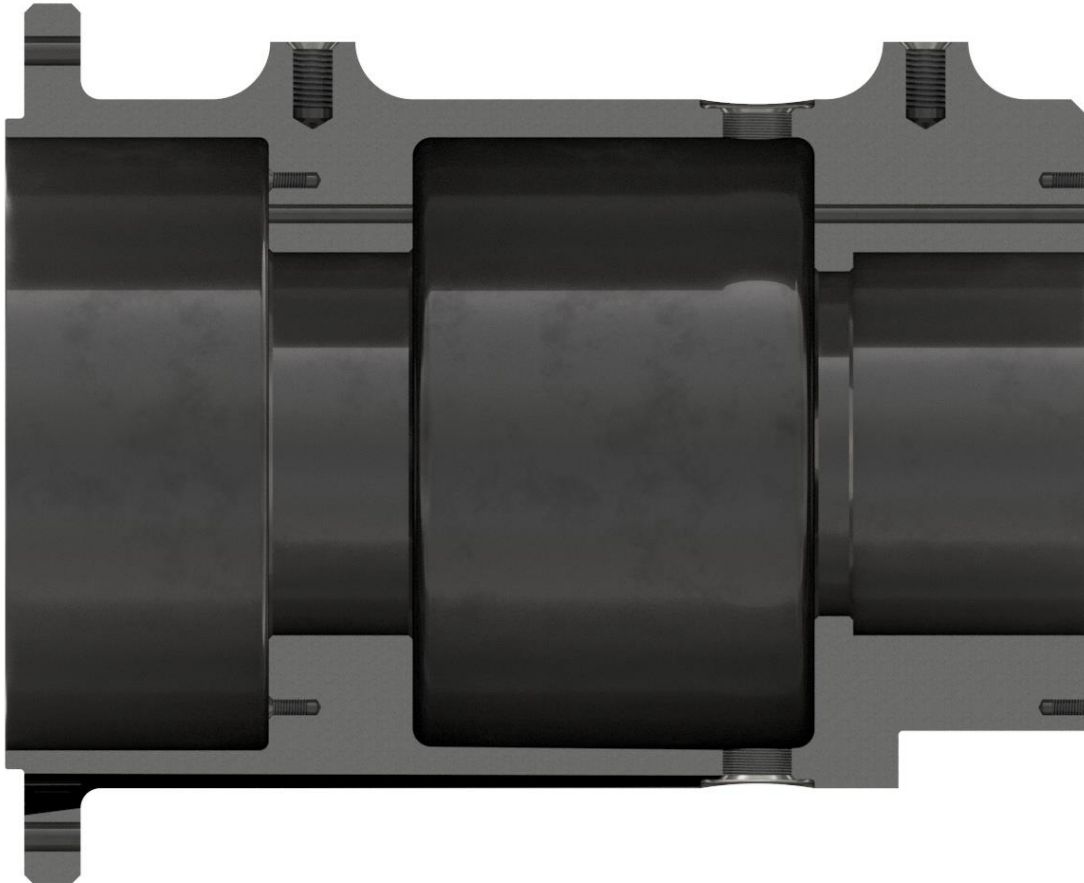
Přenos krouticího momentu z elektromotoru na hřídel čerpadla je lamelovou spojkou KTR RADEX-N 80 NANA 1, která byla součástí zadání.



Obrázek 43 Lamelová spojka KTR RADEX-N 80 NANA 1

Stator

Stator mechanické části tvoří skříň, která je přišroubovaná k víku spirální skříně. Má mechanickou část, kde jsou uloženy ložiska pro hřídel. Dále má úchopové prvky, mazací kanály, nalévací a výpustný otvor oleje a olejovzdušný odvětrávací otvor. Monolitická (jednotná) mechanická skříň může být vyrobena z litiny s označením dle ČSN 42 2420. Musí být dostatečně tuhá, pevná a musí odolávat vibracím.



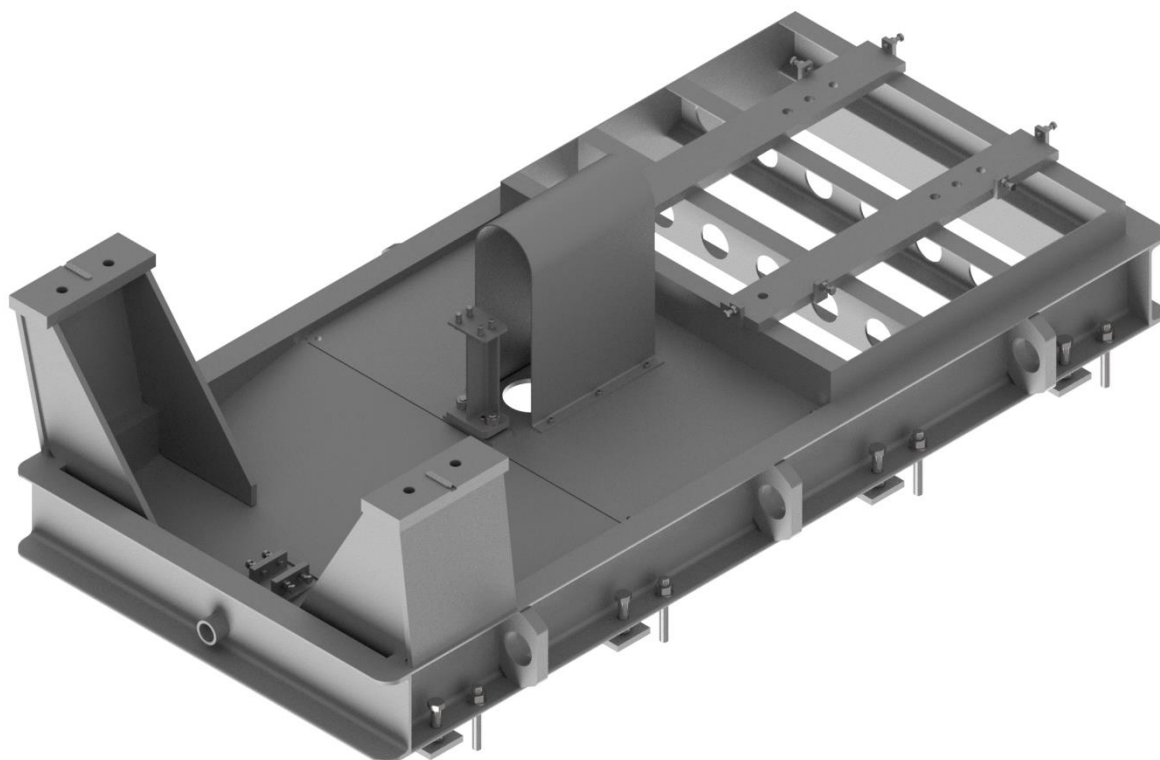
Obrázek 44 Skříň mechanické části čerpadla v řezu

Rotor

Rotor mechanické části je stejný jako rotor hydraulické části. Hřídel čerpadla je uložena v ložiscích ve skříni mechanické části. První ložisko je válečkové, které je uloženo volně. Druhé ložisko je kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem montované ve dvojici (tzv. zády k sobě) a provedení CB tj. univerzálně párovaná ložiska. Toto ložisko jsem zvolil z důvodu, že axiální síla může v některých aplikacích, kdy je na sání velký statický tlak působit směrem k elektromotoru a při najetí se překlápí směrem do sání, a proto bylo třeba použít ložisko, které oba směry zachytí.

Nosný rám

Nosný rám slouží k ustavení spirální skříňe, skříňe mechanické části, elektromotoru a zároveň k úplnému vyrovnání těchto částí do vodorovné polohy. Obsahuje centrovací a upevňovací prvky pro spirální skříň, vyrovnávací prvky skříňe mechanické části, vyrovnávací prvky celkového čerpadla, přenosné prvky a výpustný otvor. Celá ustavovací část je vyrobena z oceli se zaručenou svařitelností s označením dle ČSN 11 373.



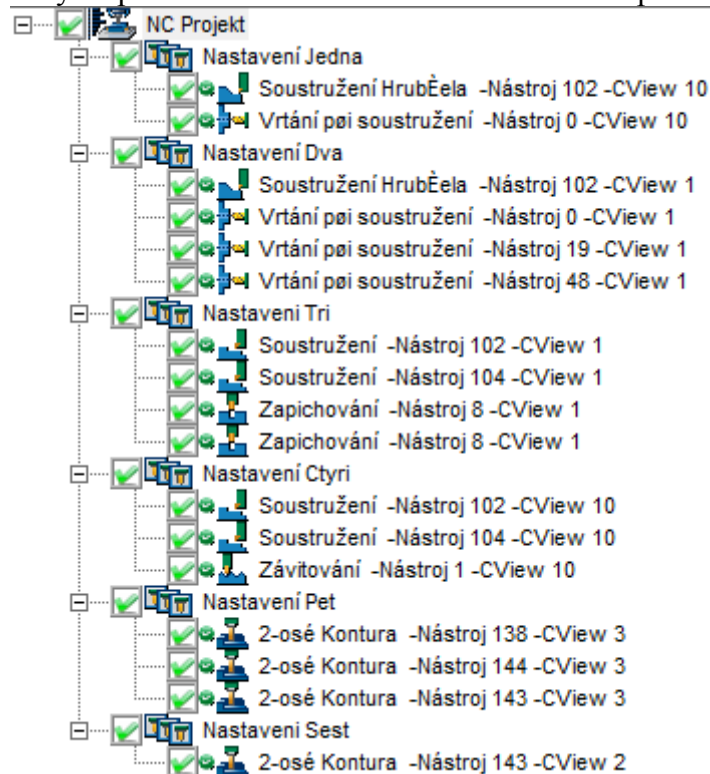
Obrázek 45 Nosný rám čerpadla

Technologická část

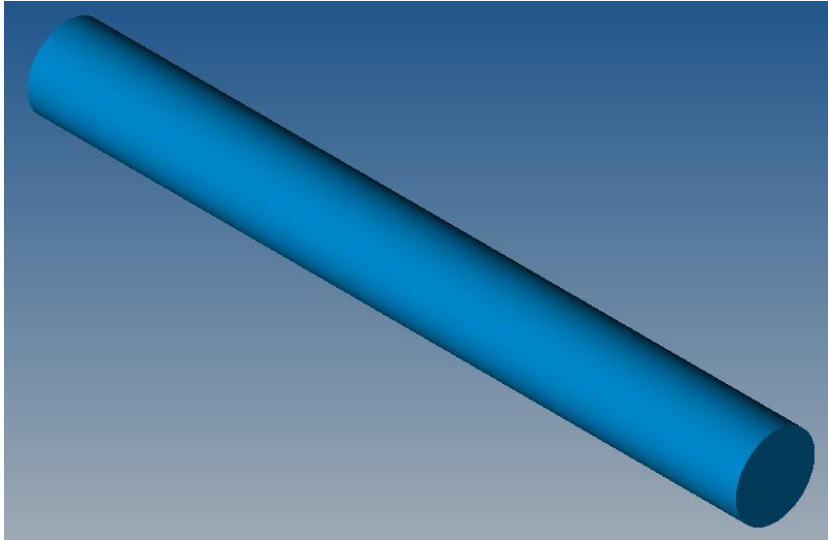
V této části se zabývám obrobením hřídele čerpadla a části lamelové spojky KTR RADEX-N 80 NANA 1. K obrobení těchto součástí byly potřeba tři technologie, a to soustružení, frézování a vrtání. Obrobení těchto součástí jsem provedl v programu SurfCAM 2017. Seřizovací listy obrobení jsou přiloženy v přílohách.

Obrobení hřídele čerpadla

Hřídel čerpadla jsem obrobil celkem na šest nastavení. První, druhé, třetí a čtvrté nastavení jsou operace patřící k soustružení. Zbývající dvě nastavení jsou operace patřící k frézování, kdy jsem obrobil drážky na pera těsná a drážku na KM matici a MB podložku.



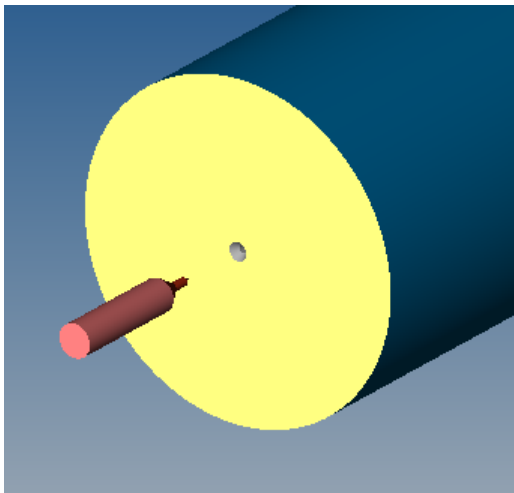
Obrázek 46 Seznam operací k výrobě hřídele



Obrázek 47 Polotovar hřídele čerpadla

Nastavení jedna

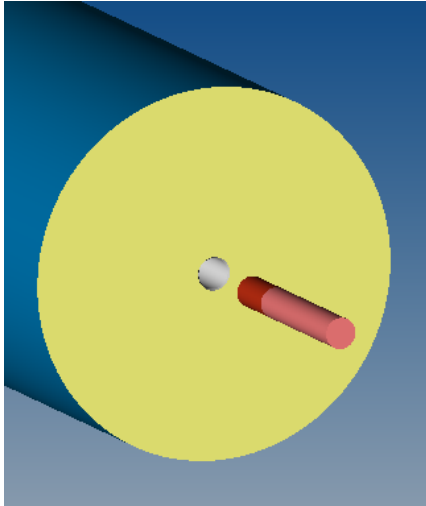
- V tomto nastavení jsem zarovnal čelo polotovaru a následně vyvrtal technologický středící důlek typu A podle ISO 866.



Obrázek 48 Nastavení jedna

Nastavení dva

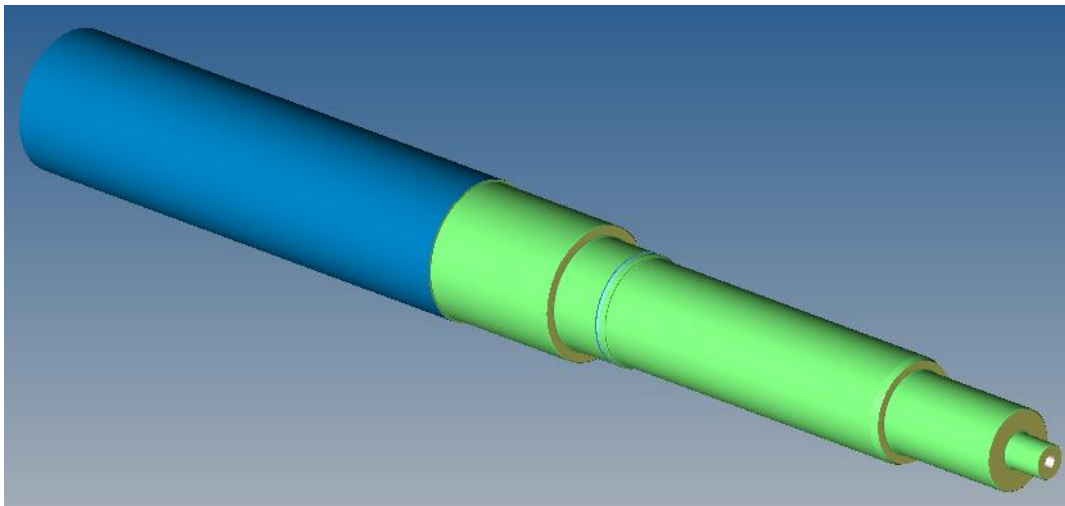
- V tomto nastavení jsem otočil obrobek a zarovnal čelo druhé strany polotovaru. Potom jsem vyvrtal středící důlek typu A podle ISO 866. Následně jsem vyvrtal díru o průměru 8,5 mm a vysoustružil vnitřní závit M10.



Obrázek 49 Nastavení dva

Nastavení tři

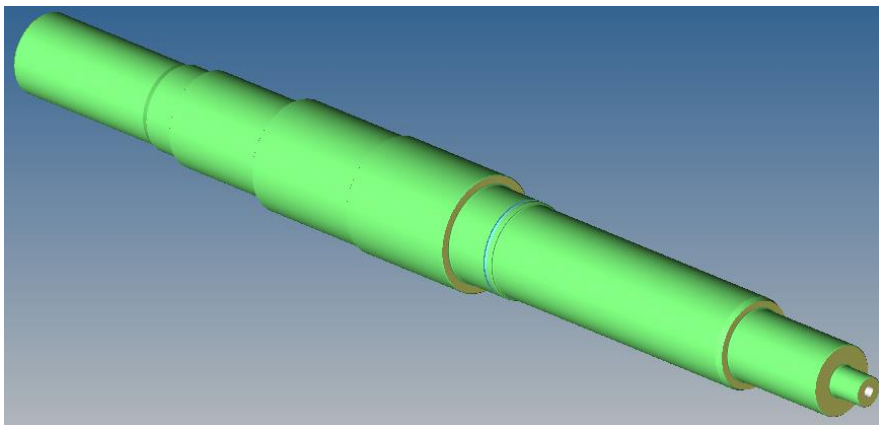
- V tomto nastavení jsem provedl vyhrubování první poloviny hřídele, kterou jsem následně soustružil na čisto. V další operaci jsem provedl vyhrubování a dokončení drážky na pojistný kroužek.



Obrázek 50 Nastavení tři

Nastavení čtyři

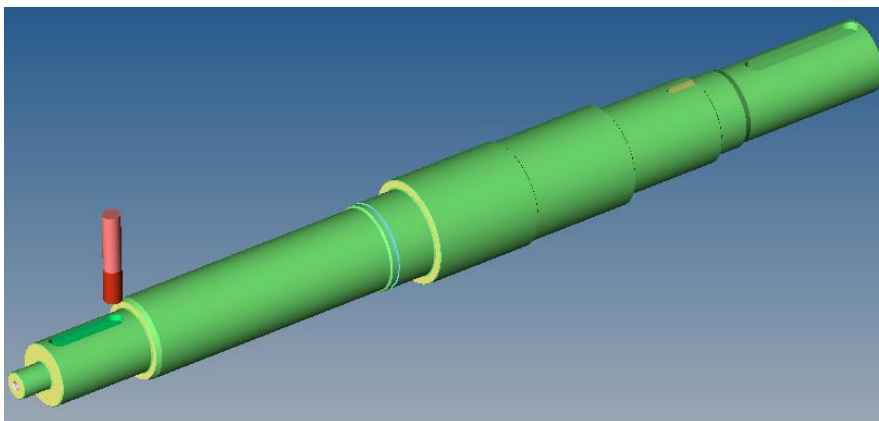
- V tomto nastavení jsem vyhruboval druhou polovinu hřídele, kterou jsem následně soustružil na čisto. Poslední operací je soustružení jemného závitu pro KM matici.



Obrázek 51 Nastavení čtyři

Nastavení pět

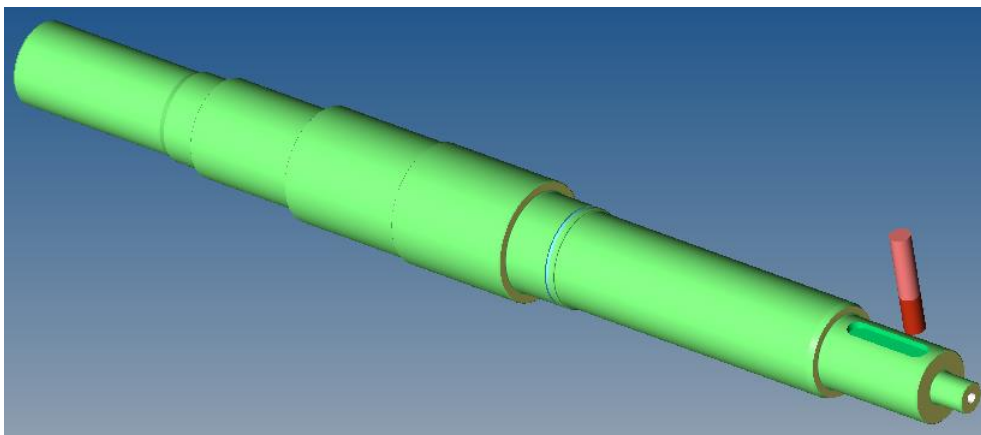
- V tomto nastavení jsem obrobil válcovou frézou drážku pro MB podložku, drážku 20P9 na pero těsné a drážku 22P9 na pero těsné.



Obrázek 52 Nastavení pět

Nastavení šest

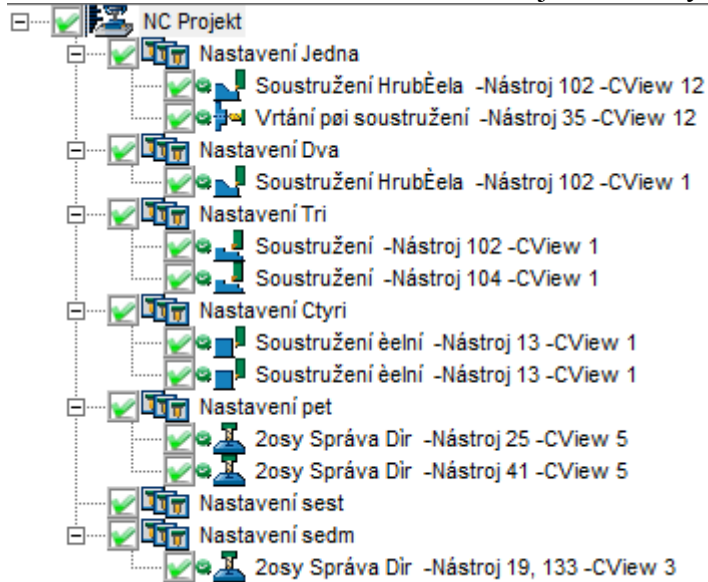
- V tomto nastavení jsem hřídel otočil o 180 ° a vyfrézoval poslední drážku 20P9 pro pero těsné.



Obrázek 53 Nastavení šest

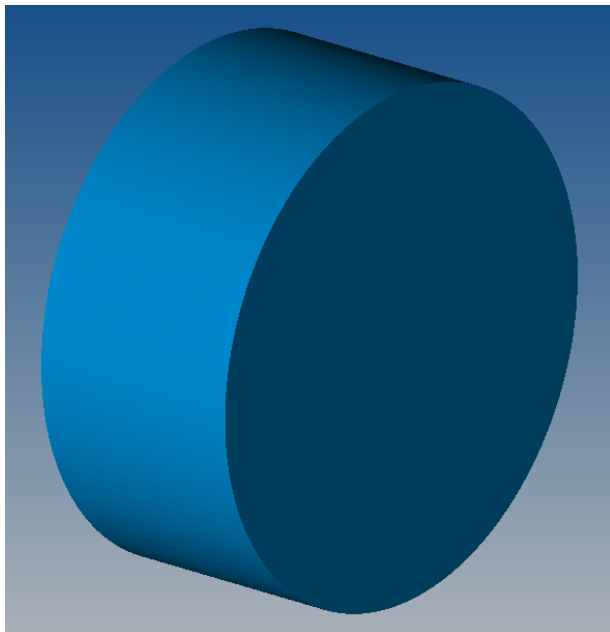
Obrobení části lamelové spojky

Část lamelové spojky KTR RADEX-N 80 NANA 1 jsem obrobil celkem na sedm nastavení. První, druhé, třetí a čtvrté nastavení jsou operace patřící k soustružení. V šestém nastavení jsem kvůli chybějící technologii v programu SurfCAM 2017 neobrobil drážku na pero těsně. V pátém a sedmém nastavení jsem vyvrtal všechny zbývající



otvory.

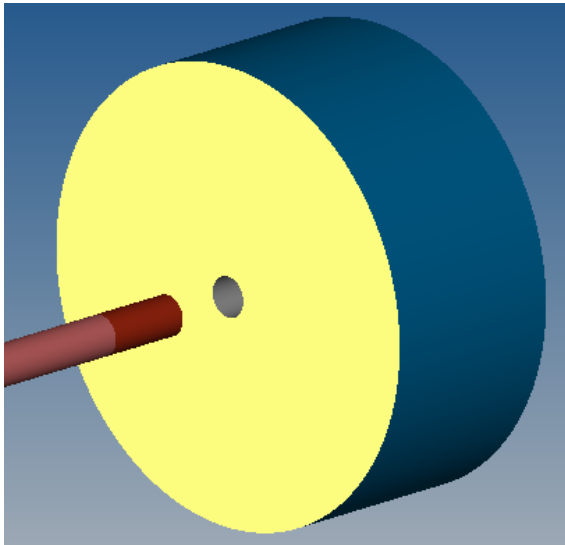
Obrázek 54 Seznam operací k výrobě části lamelové spojky



Obrázek 55 Polotovar části lamelové spojky

Nastavení jedna

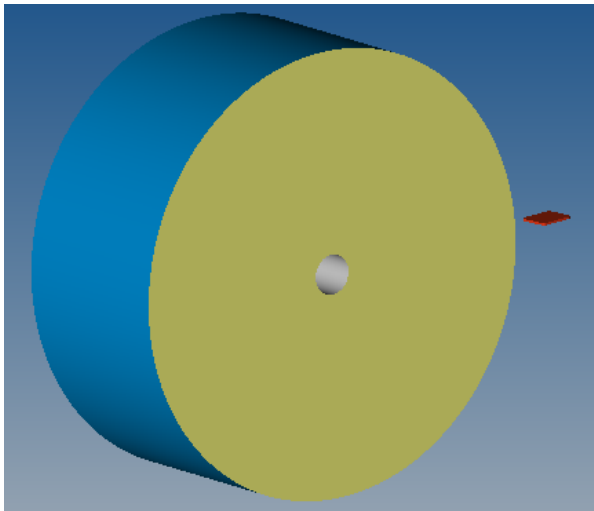
- V tomto nastavení jsem nejdříve zarovnal čelo polotovaru a následně jsem vyvrtal technologickou díru o průměru 16 mm.



Obrázek 56 Nastavení jedna

Nastavení dva

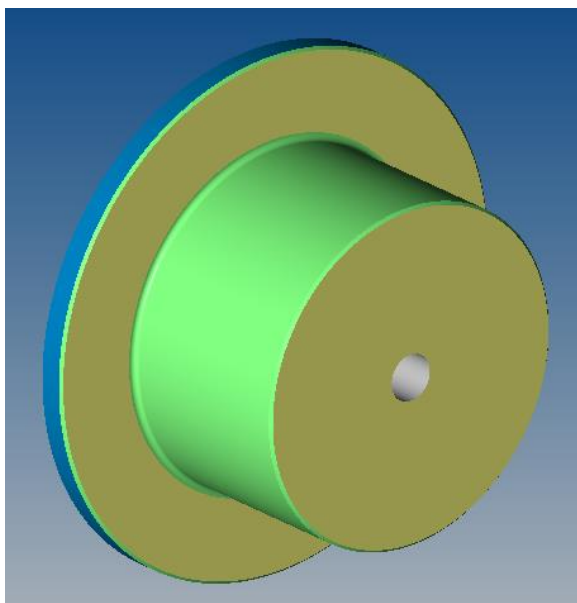
- V tomto nastavení jsem zarovnal druhé čelo polotovaru.



Obrázek 57 Nastavení dva

Nastavení tři

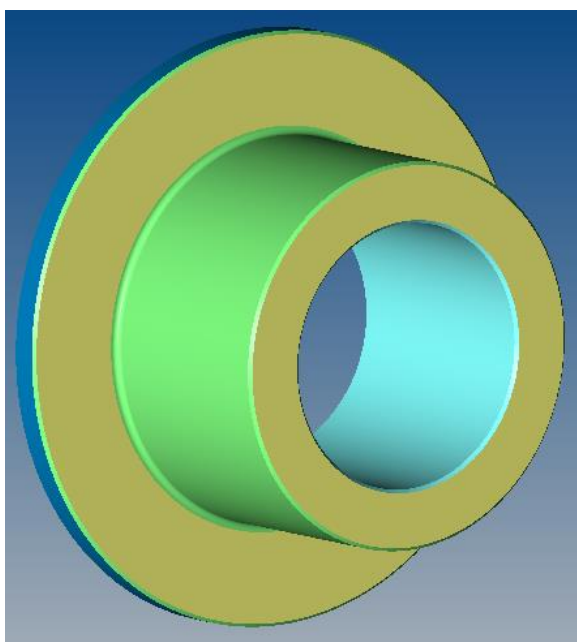
- V tomto nastavení jsem soustružil vnější tvar části lamelové spojky, který jsem následně soustružil na čisto.



Obrázek 58 Nastavení tři

Nastavení čtyři

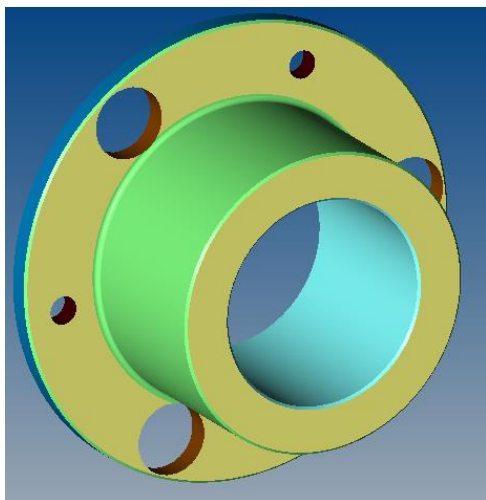
- V tomto nastavení jsem vnitřním soustružením nejdříve vyhruboval a následně dokončil díru o průměru 80H7.



Obrázek 59 Nastavení čtyři

Nastavení pět

- V tomto nastavení jsem nejdříve vyvrtal 6 děr po 60° s průměrem 11mm a následně jsem 3 tyto díry, po 120° , převrtal na průměr 28mm.



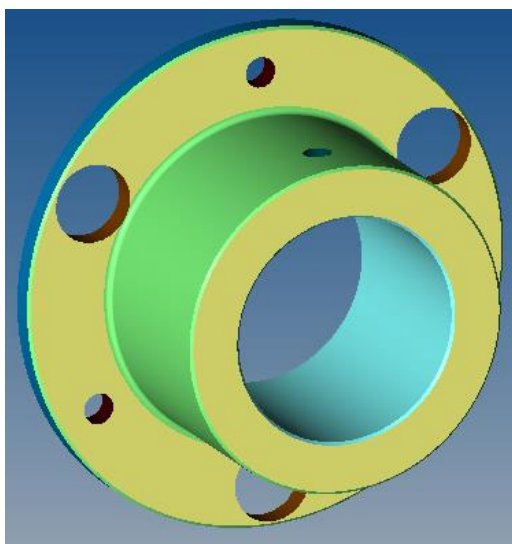
Obrázek 60 Nastavení šest

Nastavení šest

- V tomto nastavení jsem kvůli chybějící technologii v programu SurfCAM 2017 neobrobil drážku na pero těsné.

Nastavení sedm

- V tomto nastavení jsem vyvrtal radiální díru, pro pojištění pera těsného tak, že jsem nejdříve vyvrtal díru o průměru 8,5mm a následně jsem vyřezal závit M10.



Obrázek 61 Nastavení sedm

Ekonomická část

V této části práce se zabývám kalkulací ceny výroby hřídele čerpadla. Strojní časy jsem zjistil z operačního listu hřídele čerpadla (Příloha 12). Přípravné časy pro jednotlivá nastavení jsem zvolil na základě odborné rady. Výsledná cena je bez zisku a DPH.

Cena výroby hřídele čerpadla

Znamé informace:

Polotovary: Tyč kruhová Ø125-1130-11 600 ČSN 42 5510 m = 109 kg

Jednicová mzda při soustružení za minutu: $t_{j1} = 2,40$ Kč

Jednicová mzda při frézování za minutu: $t_{j2} = 2,40$ Kč

Soustružení			Frézování		
Číslo nastavení	Přípravný čas [min]	Strojní čas [h: min: s]	Číslo nastavení	Přípravný čas [min]	Strojní čas [h: min: s]
1. Nastavení	15	00: 09: 59	5. Nastavení	20	00: 00: 21
2. Nastavení	15	00: 10: 12	6. Nastavení	20	00: 00: 05
3. Nastavení	15	03: 46: 19			
4. Nastavení	15	01: 57: 35			
Celkem	$t_{p1} = 60$	$t_1 = 06: 04: 05$ = 364,08 min		$t_{p2} = 40$	$t_2 = 00: 00: 26$ = 0,43 min

Výpočty:

Celkový strojní čas při soustružení

$$T_1 = t_1 + t_{p1}$$

$$T_1 = 60 + 364,08$$

$$T_1 = \mathbf{424,08 \text{ min}}$$

Celkový strojní čas při frézování

$$T_2 = t_2 + t_{p2}$$

$$T_2 = 40 + 0,43$$

$$T_2 = \mathbf{40,43 \text{ min}}$$

Cena polotovaru

- Cenu polotovaru jsem si nechal vypočítat od firmy Fe Produkt a.s., dále jsem počítal s cenou bez DPH

$$C_p = 4051,53 + 70$$

$$C_p = \mathbf{4121,53 \text{ Kč}}$$

Fe Produkt

CENOVÁ NABÍDKA

ČÍSLO: NA10 8100388

Dodavatel: Fe Produkt, a.s.

Adresát: Prodej

Wittgensteinova 886/10

772 00 Olomouc

Registrace:

OR vedený KS v Ostravě, oddíl B, vložka 2388

Kontaktní osoba:

Tel.:

Fax:

E-mail:

Nabídku zpracoval: Ing. Tomáš Palát

Tel.: 585757561

Fax: 585757560

E-mail: palat@feprodukt.cz

Dodací podmínka:

Datum zaevid.: 10.01.2018

Požadovaný termín dodání:

Datum platnosti: 10.01.2018

Možný termín dodání:

Středisko:

Forma úhrady: Hotově

Způsob dopravy:

Na základě Vaší poptávky Vám v souladu s Obchodními podmínkami společnosti Fe Produkt, a.s. ze dne 1. 6. 2016 (dostupné na www.feprodukt.cz) zasíláme nezávaznou orientační nabídku níže uvedeného zboží:

Pozice	Popis	Cena / MJ	Množství MJ	Cena	Sleva %	Celkem Kč	% DPH
	Tyč kruhová, za tepla válovaná, pr. 125 mm, jakost 11 600 dle ČSN 42 5510	37,17	109,000 kg	4 051,53	0,00	4 051,53	21
	Dělení tyčového materiálu na rozměr 1130 mm	70,00	1,000 ks	70,00	0,00	70,00	21
Cena celkem				4 121,53		4 121,53	
DPH						865,52	
Celkem včetně DPH						4 987,05	

Množství uvedené v nabídce je stanoveno tabulkovým přepočtem a je orientační. Podkladem pro fakturaci bude skutečně odebrané množství v MJ (kilogramy, kusy).

Pokud není u jednotlivých položek uvedeno jinak, dělení tyčového materiálu provádíme s přesností +/- 5 mm.

Pokud není součástí nabídky položka „Doprava“, ceny platí pro osobní odběr v sídle Fe Produkt Olomouc.

Pokud není uvedeno jinak, cenová nabídka platí 5 pracovních dní od vystavení, pouze pro uvedené množství, s výhradou meziprodeje. Rádi Vám cenovou nabídku kdykoliv zaktualizujeme.

Obrázek 62 Cenová nabídka polotovaru hřídele

Mzda při soustružení

$$M_s = t_{j1} * T_1$$

$$M_s = 2,40 * 424,08$$

$$M_s = \mathbf{1017,80 \text{ Kč}}$$

Mzda při frézování

$$M_f = t_{j2} * T_2$$

$$M_f = 2,40 * 40,43$$

$$M_f = \mathbf{97,00 \text{ Kč}}$$

Režie při soustružení (Volím 600 % z M_s)

$$R_s = 6 * M_s$$

$$R_s = 6 * 1017,8$$

$$R_s = \mathbf{6106,80 \text{ Kč}}$$

Režie při frézování (Volím 600 % z M_f)

$$R_f = 6 * M_f$$

$$R_f = 6 * 97,00$$

$$R_f = \mathbf{582,00 \text{ Kč}}$$

Cena hřídele bez zisku a DPH

$$C = C_p + M_s + M_f + R_s + R_f$$

$$C = 1017,80 + 97,00 + 6106,80 + 582,00 + 4121,53$$

$$C = \mathbf{11925,13 \text{ Kč}}$$

Závěr

V této práci jsem navrhl jednostupňové odstředivé čerpadlo. Zdrojem krouticího momentu je elektromotor H17R-315LX04-Z zapojený na zdroj napětí 3300V. Krouticí moment je přenášen na hřídel čerpadla přes lamelovou spojku KTR RADEX-N 80 NANA 1. Čerpadlo jsem zkonstruoval tak, aby byla co nejjednodušší montáž, demontáž, manipulace a aby splňovalo požadované vlastnosti.

Kromě toho jsem udělal výkresovou dokumentaci rotujících částí, krycích vík, sestav pro podporu skříně mechanické části a podstavu spirální skříně. Navrhl jsem oběžné kolo čerpadla, hřídel čerpadla a zkontroloval pera těsná v lamelové spojce na otláčení. Následně jsem provedl obrobení dvou součástí v programu SurfCAM 2017 a vypočítal cenu výroby jedné z těchto součástí.

Tato práce pro mne měla velký přínos. Naučil jsem se lépe ovládat konstrukční program Autodesk Inventor 2018. Hlavním cílem práce bylo vytvořit 3D model jednostupňového odstředivého čerpadla a myslím si, že díky odborným konzultacím se mi tento cíl podařil splnit, dokonce jsem tomuto zařízení porozuměl.

Anotace

Jméno a příjmení:	Daniel Šperlich
Škola:	Střední průmyslová škola strojnická Olomouc
Název práce:	Jednostupňové odstředivé čerpadlo
Vedoucí práce:	Ing. Adam Šiška
Počet stran:	79
Počet příloh:	13
Počet použitých zdrojů:	8
Klíčová slova:	Hydrodynamické čerpadlo Jednostupňové odstředivé čerpadlo Návrh oběžného kola čerpadla Ucpávková část Mechanická část Hydraulická část Ustavovací část

Hlavním cílem této práce bylo vytvořit 3D model jednostupňového odstředivého čerpadla včetně výpočtů a výkresové dokumentace. Dalším bodem práce byl návrh ustavovací části tak, aby bylo možné úplné vystředění a ustavení čerpadla do vodorovné polohy.

Resumé

Firstly, the main purpose of this graduation thesis was to create a 3D model of a single-stage centrifugal pump which include not only calculations but also a drawing documentation. The second goal of this paper was to design the mounting part, so that it could be fully centered and set up the pump in a horizontal position.

Seznam použitých zdrojů

1. Současnost. *Www.sigmagroup.cz* [online]. © SIGMA GROUP a.s. - řídicí člen koncernu 2011 - 2018 [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <http://www.sigmagroup.cz/o-firme/soucasnost>
2. Sigma Lutín logo. *Www.sigmagroup.cz* [online]. © SIGMA GROUP a.s. - řídicí člen koncernu 2011 - 2018 [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <http://www.sigmagroup.cz/tpl/web/images/logotype.png>
3. MELICHAR, Jan. *Hydraulické a pneumatické stroje: část čerpadla*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04383-7.
4. MELICHAR, Jan. *Úvod do čerpací techniky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05056-9.
5. Lopátkové stroje. *Www.spssol.cz: vyuka* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: https://vyuka.spssol.cz/~vyuka/PREDMETY/SPS/lopatkove_stroje.pdf
6. Jednostupňové odstředivé čerpadlo. *Www.disa.cz: Čerpadla LS* [online]. ©2001–2018 DISA s.r.o., DISA PLUS s.r.o [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: https://www.disa.cz/data/imgauto/24/0/LS_dwg_cs.jpg
7. Oběžné kolo - výpočet. *Www.spssol.cz: vyuka* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <https://vyuka.spssol.cz/~vyuka/UCITELE/SS/CAD/4.ro%C4%8D.%20-%20PPK/KOC1/Ob%C4%9B%C5%BEEn%C3%A9%20kolo%20-%20v%C3%BDpo%C4%8Det.pdf>
8. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Logo firmy SIGMA GROUP a.s. (2).....	6
Obrázek 2 Pístová čerpadla (4).....	8
Obrázek 3 Pístová čerpadla (4).....	9
Obrázek 4 Pístové a membránové čerpadlo (4).....	10
Obrázek 5 Zubová čerpadla (4)	11
Obrázek 6 Pístové čerpadlo a lamelová čerpadla (4)	12
Obrázek 7 Lamelové a vřetenové čerpadlo (4).....	13
Obrázek 8 Vřetenové a hadicové čerpadlo (4)	14
Obrázek 9 Axiální čerpadlo (3)	15
Obrázek 10 Radiální a diagonální čerpadlo (4).....	16
Obrázek 11 Jednostupňové odstředivé čerpadlo (6).....	17
Obrázek 12 Náčrt spirální skříně (5)	18
Obrázek 13 Náčrt oběžného kola v řezu (7).....	19
Obrázek 14 Náčrt nosníku se zatížením	21
Obrázek 15 Tabulka dovolených napětí pro namáhání v krutu (8)	22
Obrázek 16 Tabulka pro určení hodnot X; Z (7)	23
Obrázek 17 Rychlostní trojúhelník na vstupu (7).....	25
Obrázek 18 Rychlostní poměry na výstupu oběžného kola (7).....	26
Obrázek 19 Tabulka pro určení koeficientu "m" (7)	27
Obrázek 20 Rychlostní trojúhelník na výstupu (7).....	28
Obrázek 21 Tabulka s hodnotami pro pero těsné (8)	29
Obrázek 22 Tabulka dovolených napětí v tlaku (8)	30
Obrázek 23 Konstrukce kanálu oběžného kola (7).....	31
Obrázek 24 Konstrukce lopatky oběžného kola (7)	32
Obrázek 25 Určení hodnot pro výpočet sil.....	33
Obrázek 26 Náčrt hřídele, průběhy sil a momentů.....	36
Obrázek 27 Válcové konce hřídelů (8).....	39
Obrázek 28 Dovolená napětí v ohybu (8).....	39
Obrázek 29 Celková sestava čerpadla	43
Obrázek 30 Celková sestava v řezu.....	44
Obrázek 31 Hydraulická část čerpadla v řezu	45
Obrázek 32 Spirální skříně zepředu	46
Obrázek 33 Spirální skříně zezadu.....	47
Obrázek 34 Víko spirální skříně zepředu	48
Obrázek 35 Víko spirální skříně zezadu.....	48
Obrázek 36 Hřídel čerpadla.....	49
Obrázek 37 Oběžné kolo zepředu.....	50
Obrázek 38 Oběžné kolo zezadu	51
Obrázek 39 Zajištění oběžného kola	52
Obrázek 40 Mechanická ucpávka.....	52
Obrázek 41 Mechanická část čerpadla v řezu	53
Obrázek 42 Elektromotor H17R-315LX04-Z	54
Obrázek 43 Lamelová spojka KTR RADEX-N 80 NANA 1.....	54
Obrázek 44 Skříně mechanické části čerpadla v řezu	55
Obrázek 45 Ustavovací část čerpadla	56
Obrázek 46 Seznam operací k výrobě hřídele	57
Obrázek 47 Polotovary hřídele čerpadla	58
Obrázek 48 Nastavení jedna	58

Obrázek 49 Nastavení dva.....	59
Obrázek 50 Nastavení tři.....	59
Obrázek 51 Nastavení čtyři.....	60
Obrázek 52 Nastavení pět.....	60
Obrázek 53 Nastavení šest.....	60
Obrázek 54 Seznam operací k výrobě části lamelové spojky	61
Obrázek 55 Polotovár části lamelové spojky	61
Obrázek 56 Nastavení jedna.....	62
Obrázek 57 Nastavení dva.....	62
Obrázek 58 Nastavení tři.....	63
Obrázek 59 Nastavení čtyři.....	63
Obrázek 60 Nastavení šest.....	64
Obrázek 61 Nastavení sedm	64
Obrázek 62 Cenová nabídka polotovaru hřídele	66

Seznam použitých značek a jednotek

ZNAČKA	NÁZEV ZNAČKY	JEDNOTKA
Q_v	Objemový průtok	[m ³ /s; l/s]
H	Dopravní výška	[m]
s	Počet stupňů čerpadla	[-]
g	Tíhové zrychlení	[m/s ²]
ρ	Hustota čerpaného média	[kg/m ³]
η_c	Celková účinnost čerpadla	[%]
n	Otáčky motoru	[min ⁻¹]
L_{10h}	Životnost	[hod]
Ψ	Tlakový součinitel	[-]
Y	Měrná energie	[J/kg]
P	Výkon čerpadla	[W]
Př	Příkon elektromotoru	[W]
ΔP	Ztráta čerpadla	[W]
ΔPh	Hydraulická ztráta čerpadla	[W]
Ph	Hydraulický výkon	[W]
η_h	Hydraulická účinnost	[-]
τ_k	Napětí v krutu	[Pa; MPa]
Mk	Krouticí moment	[N.mm; N.m]
Wk	Modul průřezu v krutu	[m ³ ; mm ³]
τ_{Dk}	Dovolené napětí v krutu	[MPa]
d	Průměr hřídele čerpadla	[mm]
d ₀	Průměr náboje oběžného kola	[mm]
σ	Součinitel rychloběžnosti	[-]
z	Počet lopatek	[-]
x	Poměr vstupního a výstupního průměru	[-]
u ₂	Obvodová rychlost na výstupu	[m/s]
D ₂	Největší (výstupní) průměr oběžného kola	[m; mm]
D ₀	Výstupní průměr	[m; mm]
c ₀	Vstupní rychlost kapaliny do oběžného kola	[m/s]
c ₁	Rychlost kapaliny na vstupu do lopatek	[m/s]
D ₀	Průměr oběžného kola na vstupu do lopatek	[mm]
u ₁	Obvodová rychlost na vstupu do lopatek	[m/s]

β_1	Úhel lopatky na vstupu	[°]
b_1	Šířka lopatky na vstupu	[mm]
c_{u2}	Unášivá složka absolutní rychlosti	[m/s]
c_{m2}	Meridiánová složka absolutní rychlosti	[m/s]
c_{u2}'	Korekce rychlosti c_{u2}	[m/s]
m	Součinitel pro korekci rychlosti c_{u2}	[-]
β_2	Úhel lopatky na výstupu	[°]
b_2	Šířka lopatky na výstupu	[mm]
p	Tlak	[Pa; MPa]
F	Síla	[N]
S	Plochy	[mm ² ; m ²]
p_d	Dovolený tlak	[MPa]
b	Šířka pera těsného	[mm]
t_1	Hloubky drážky v náboji	[mm]
i	Počet per těsných	[-]
l	Délka pera těsného	[mm]
G	Šířka oběžného kola	[mm]
Q_{opt}	Průtok čerpadlem v optimu	[m ³ /s; l/s]
H_{opt}	Dopravní výška oběžného kola v optimu	[m]
R_h	Poloměr na těsnící kruhy	[mm]
R_2	Velký průměr oběžného kola	[mm]
R_1	Průměr hřídele	[mm]
k	Koeficient	[-]
H'	Dopravní výška v závěrném bodě	[m]
H_p	Podíl dopravní výšky příslušící oběžnému kolu	[m]
ω	Úhlová rychlost	[s ⁻¹]
F_{axn}	Axiální tah pro neodlehčené čerpadlo	[N]
F_{ax}	Axiální tah pro odlehčené čerpadlo	[N]
F_{RAD}'	Radiální síla pro jednoduchou spirálu	[N]
F_{RAD}	Radiální síla pro dvojitou spirálu	[N]
F_{Ax}	Síla působící v ose ve vazbě A	[N]
F_{By}	Síla působící radiálně ve vazbě B	[N]
F_{Ay}	Síla působící radiálně ve vazbě A	[-]
M_{Omax}	Maximální ohybový moment	[N.mm; N.m]

Mk	Krouticí moment	[N.mm; N.m]
Mredmax	Maximální redukovaný moment	[N.mm; N.m]
σ_o	Napětí v ohybu	[MPa; Pa]
Mo	Ohybový moment	[N.mm; N.m]
Wo	Modul průřezu v ohybu	[m ³ ; mm ³]
σ_{Do}	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]
h	Výška pera těsného	[mm]
L	Délka drážky pro pero ve spojce	[mm]
Lč	Činná délka drážky ve spojce na otláčení	[mm]
t ₁	Strojní čas při soustružení	[min]
t _{p1}	Přípravný čas pro soustružení	[min]
t _{j1}	Jednicová mzda při soustružení za minutu	[Kč]
t ₂	Strojní čas při frézování	[min]
t _{p2}	Přípravný čas pro frézování	[min]
t _{j2}	Jednicová mzda při frézování za minutu	[Kč]
T ₁	Celkový strojní čas při soustružení	[min]
T ₂	Celkový strojní čas při frézování	[min]
C _p	Cena polotovaru	[Kč]
M _s	Mzda při soustružení	[Kč]
M _f	Mzda při frézování	[Kč]
R _s	Režie při soustružení	[Kč]
R _f	Režie při frézování	[Kč]
C	Cena hřídele bez zisku a DPH	[Kč]

Cizojazyčný slovník

Odstředivé čerpadlo	Centrifugal pump
Oběžné kolo	Impeller
Spirální skříň	Spiral cabinet
Mechanická část	Mechanical part
Ucpávková část	Stuffing part
Hydraulická část	Hydraulic part
Kavitace	Cavitation
Vodní ráz	Water hammer
Mechanická ucpávka	Mechanical seal
Kuličkové ložisko	Ball bearing
Válečkové ložisko	Roller bearing
Hřídel	Shaft