



## **Středoškolská technika 2015**

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

### **LAMELOVÉ ČERPADLO**

**Jan Vašíř**

**Střední průmyslová škola strojnická Olomouc  
17. listopadu 49, Olomouc**

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

Datum: \_\_\_\_\_

## Poděkování

Děkuji Ing. Jiřímu Šimáčkovi a Ing. Vladimíru Houšťovi za cenné rady a připomínky při vytváření práce.

# Obsah

Obsah.....	2
1 Úvod.....	5
2 Čerpadla .....	6
2.1 Rozdělení čerpadel .....	6
3 Lamelová čerpadla .....	10
3.1 Princip funkce lamelového čerpadla a jeho použití.....	10
3.2 Výhody a nevýhody lamelových čerpadel.....	11
3.3 Historie lamelových čerpadel .....	12
3.4 Typy lamelových čerpadel.....	12
4 Konstrukční řešení dílů .....	13
4.1 lamely .....	13
4.2 Ložiska.....	13
4.3 Hřídel .....	14
5 Výpočty.....	16
5.1 Výpočet základních rozměrů čerpadla .....	16
5.2 Volba materiálu lamel a výpočet $\sigma_{do}$ .....	16
5.3 Výpočet rozměrů lopatky .....	18
6 CAM .....	21
6.1 Hřídel.....	21
6.2 víko .....	21
7 Ekonomická část .....	23
8 Závěr .....	24

## Úvod

Pro svou práci jsem si vybral lamelové čerpadlo. Čerpadla se používají pro přečerpávání kapalin. Dnes jsou čerpadla neodmyslitelné u automobilů, kde například čerpají palivo z nádrže do motoru nebo tlakovou kapalinu v brzdových systémech, přes čerpadla, která slouží k čerpání vody ze studny do našich domovů až po čerpadla v lékařství, která například zajišťují mimotělní oběh.

Samozřejmě se nedá jediný typ čerpadla použít pro všechny tyto odlišné činnosti a proto, se v textové části budu zabývat především rozdělením čerpadel a principům na jakých pracují. Nejvíce se zaměřím na lamelové čerpadlo, u kterého rozeberu jeho typy, výhody a nevýhody a i historii.

Lamelové čerpadlo je čerpadlo založeno na rotačním pohybu excentricky uložených lamel v rotoru.

Cílem mé práce je vymodelovat 3D model nevyváženého lamelového čerpadla v programu Autodesk Inventor 2015, vypočítat základní rozměry a vytvořit pevnostní výpočty.



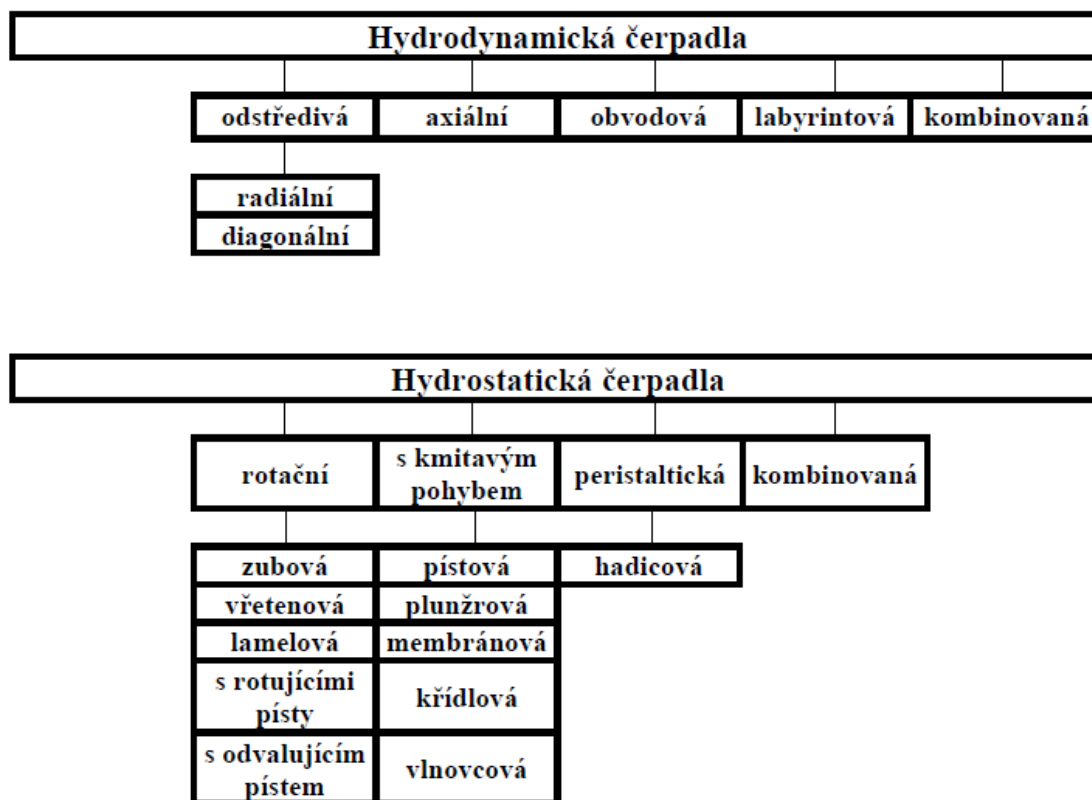
Obrázek 1 Lamelové čerpadlo

# Čerpadla

Čerpadlo nebo pumpa (v olejové [hydraulice](#) nazýváno hydrogenerátor) je mechanický [stroj](#), který dodává [kinetickou](#), [potenciální](#), nebo tlakovou [energii tekutině](#), která skrz něj protéká. Poháněno bývá obvykle jiným [strojem](#) – zpravidla nějakým [motorem](#). (1)

## Rozdělení čerpadel

Základní rozdělení čerpadel je na hydrostatická a hydrodynamická.



Obrázek 2 schéma rozdělení čerpadel (2)

## HYDRODYNAMICKÁ ČERPADLA

Hydrodynamická čerpadla jsou čerpadla s nepřímou přeměnou mechanické energie v kinetickou a potenciální energii kapaliny.

Rozdělují se:

podle proudění kapaliny

- odstředivá (centrifugální), tzn. lopatková čerpadla, dopravující kapalinu točivým pohybem činné části rotoru, kterým je oběžné kolo (dále jen OK)
  - radiální, kdy kapalina vstupuje do OK axiálně (rovnoběžně s osou) a vystupuje

z OK radiálně (kolmo k ose otáčení)

- diagonální (šroubová), kdy kapalina vstupuje do OK axiálně a vystupuje

diagonálně (šikmo k ose otáčení)

- axiální (vrtulová), tzn. lopatková čerpadla, kdy kapalina vstupuje do OK i vystupuje z OK axiálně

podle konstrukce statoru

- se spirální skříní jednoduchou nebo dvojitou (pravou nebo levou)

- s kruhovou skříní jednoduchou nebo dvojitou
  - s rozváděcím kolem a s převaděčem lopatkovým nebo kanálovým
  - s převaděčem lopatkovým nebo kanálovým (bez rozváděcího kola)

#### podle konstrukce činné části rotoru (OK)

- jednonábové nebo vícenábové OK
- jednolopátkové nebo více lopátkové OK
  - zavřené polootevřené (jednostranně otevřené); otevřené
  - s rovnými, s rovinně zakřivenými nebo s prostorově zakřivenými lopatkami
  - s pevnými, s nastavitelnými (za klidu) nebo s natáčivými lopatkami (za chodu)
  - paprskovým, otevřeným OK vírovým; obvodově drážkovaným; labyrintovým
  - s jednostranným nebo s oboustranným vstupem

#### podle počtu tlakových stupňů

- jednostupňová nebo víceštapňová čerpadla

#### podle vstupu kapaliny do OK

- s osovým, s radiálním nebo s bočním vstupem

## HYDROSTATICKÁ ČERPADLA

Hydrostatická čerpadla jsou objemová čerpadla s přímou přeměnou mechanické energie v potenciální hydraulickou energii.

Rozdělují se na:

#### Rotační čerpadla

Objemová čerpadla, dopravující kapalinu točivým pohybem činné části rotoru. Kapalina je během části otáčky rotoru v prostoru uzavřené proti vtoku a výtoku (bez uzavíracích prvků). Čerpadla dopravují teoreticky (nehledí-li se ke ztrátám objemovým) za jednu otáčku vždy stejný objem kapaliny nezávisle na počtu otáček a na dopravní výšce.

- Zubová čerpadla

Kapalina je dopravována do výstupu v zubových mezerách točících se ozubených kol, vzájemně zabírajících buď vnitřním, nebo vnějším ozubením.

Zubová čerpadla se rozdělují:

- podle počtu os činných částí
  - dvouosá nebo víceosá
- podle počtu komor
  - jednonábová (jednonásobná) nebo víceštapňová (vícenásobná)
- podle počtu stupňů
  - jednostupňová nebo víceštapňová
- podle uspořádání činných částí
  - s vnitřním nebo s vnějším ozubením kol
- podle vymezení vřetel nebo vyvážení sil
  - s hydrostatickým vymezením axiálních nebo radiálních vřetel
  - s hydrostatickým vyvážením radiálních sil (bez vymezení vřetel)

- Vřetenová (šroubová) čerpadla

U vřetenových čerpadel se buď vřeteno pohybuje jako rotor v nepohyblivém statoru, s nímž plní současně i funkci uzavíracího prvku, nebo se pohybuje stator i rotor. Kapalina přitékající do sacího prostoru zaplňuje závitové mezery, které se po určitém otočení uzavírají vlivem záběru vřeten (u více vřetenových čerpadel). Za jednu otáčku vřeten postoupí kapalina v uzavřených mezerách mezi závity k výtoku přímočaře ve směru osy o délku rovnou stoupání závitu.

Vřetenová čerpadla se rozdělují:

- podle počtu činných částí a jejich uspořádání na

- jedno-vřetenová s pevným nebo s kmitajícím statorem
- dvou-vřetenová nebo tři vřetenová
- více vřetenová se záběrem vřeten nebo s pomocnými ozubenými koly s dělicím kolem
- podle stoupání činné části
  - se stálým stoupáním nebo s proměnlivým stoupáním závitu vřeten
- podle smyslu posunování kapaliny ve vřetenech
  - s jednostranným vstupem (jednočinná), s oboustranným vstupem (dvojčinná) nebo
  - s oboustranným výstupem
- podle profilu činné části (u dvou- a více vřetenových)
  - s jednoduchým, s cykloidním, s evolventním nebo s kombinovaným profilem
- podle vzájemné polohy os
  - s rovnoběžnými, s různoběžnými nebo mimoběžnými osami.

#### • Lamelová čerpadla

Kapalina je dopravována do výstupu v mezerách mezi lamelami pohyblivě uloženými v rotoru, případně ve statoru. Probíhá-li lamela místem, v němž je rotor nejbližší stěně statoru, prostor mezi rotorem a statorem se začne zvětšovat a vyplňovat kapalinou, která je nasávaná ze sacího otvoru. Jakmile lamela mine místo maximální vzdálenosti mezi rotorem a stěnou statoru, prostor mezi lamelami se postupně zmenšuje a kapalina je v místě výtlačného otvoru dopravována do výtlačného hrdla.

Lamelová čerpadla se rozdělují:

- podle počtu činných částí na
  - dvou-lamelová nebo více lamelová
- podle počtu pracovních cyklů každé činné části za jednu otáčku rotoru na
  - jednočinná (tzv. nevyvážené konstrukce)
  - dvojčinná (tzv. vyvážené konstrukce) nebo více činná
- podle regulace
  - se stálou výstředností (excentricitou) nebo s proměnlivou výstředností
- podle počtu stupňů
  - jednostupňová nebo vícestupňová
- podle počtu komor
  - jednokomorová (jednonásobná) nebo dvoukomorová (dvounásobná)
- podle umístění lamel
  - s lamelami v rotoru nebo s lamelami ve statoru

#### • Čerpadla s rotujícími písky

V oválném tělese čerpadla jsou spojitě vytvořeny dva válcové prostory, v nichž se proti sobě otáčejí dva neokrouhlé písky různého tvaru. Písky se po sobě odvalují synchronizovaným spojením pomocí dvou ozubených kol, upevněných na hnacím hřídeli ve skříni, která je vně tělesa čerpadla. Rotující písky utěsňují v každé poloze při svém odvalování výtlak proti sání.

Čerpadla s rotujícími písky se rozdělují:

- podle tvaru činné části
  - jedná se o značný počet různých profilů; jako příklad
- podle počtu os
  - na jednoosá, dvouosá nebo víceosá

#### • Čerpadla s odvalujícím pístem

Po vnitřní stěně kruhovém statoru se odvaluje mimostředný válcový píst, jehož osa obíhá kolem osy statoru

#### Čerpadla s kmitavým pohybem



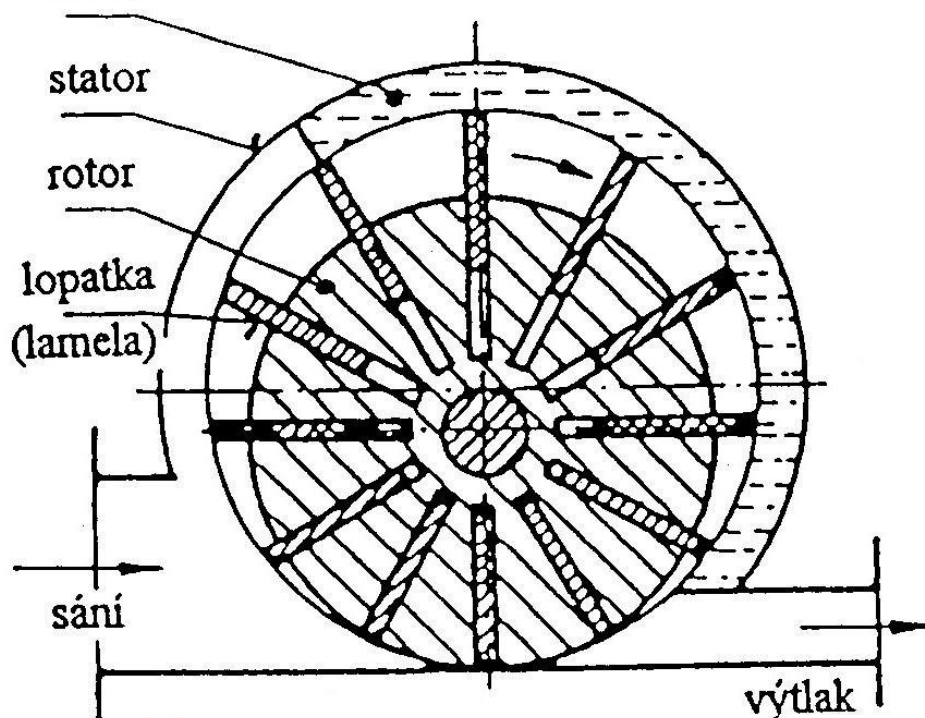
Objemová čerpadla, která dopravují kapalinu kmitavým vratným pohybem činné části v tělese čerpadla.

Rozdělují se:

- podle tvaru činné části na čerpadla
- pístová, u nichž kapalina je dopravována do výtlačného potrubí osovým (přímočarým) pohybem pomocí jednoho nebo několika písty
- plunžrová; kapalina je dopravována osovým pohybem plunžrů
- membránová; kapalina je dopravována kmitavým pohybem membrány
- vlnovcová; kapalina je dopravována osovým pohybem vlnovce
- křídlová; kapalina je dopravována kývavým pohybem křídla (2)

## Lamelová čerpadla

Lamelové hydromotory (nebo i lamelové hydrogenerátory) lze nalézt jako součást různých hydraulických zařízení v řadě odvětví. Jejich jednoduchá konstrukce jim zaručuje použitelnost nejen v průmyslu, ale i v dolech, dopravě, zemědělství atd.



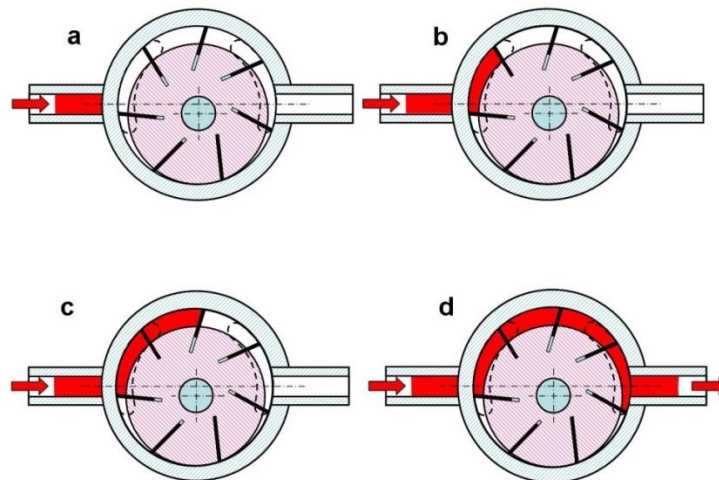
Obrázek 3 schéma lamelového čerpadla (3)

### Princip funkce lamelového čerpadla a jeho použití

Rotační lamelové hydromotory jsou vhodné pro tlaky do 2 MPa, a průtoky do 0,05 m<sup>3</sup>/s. Pro vyšší tlaky je vhodnější použít koncepci tzv. vyváženého lamelového hydromotoru. Potom je možno použít tlaky do 15 MPa. Vzhledem k tomu, že jejich části nekonají vratný pohyb, mohou mít vysoké otáčky a tím i malé rozměry. Nemají sací a většinou ani výtlačné ventily. Chlazení může být buď vodní, nebo vzduchové. Regulace je buď změnou otáček, vypínáním nebo obtokem.

Rotační lamelové hydromotory jsou tvořeny válcovým statorem, ve kterém se otáčí excentricky umístěný rotor. Rotor je opatřen štěrbinami, ve kterých se pohybují zasunovatelné destičky - lamely. Při otáčení rotoru na lamely působí odstředivé síly a vysunutí lamel je omezena jejich vzdáleností od stěny statoru. Tím dochází ke vzniku prostorů, jejichž objem (V<sub>k</sub>) se při otáčení rotoru plynule mění. Nasátá kapalina je plynule nasávána pomocí drážky, která propojuje komůrky se sáním a umožňuje doplňovat kapalinu do jejich prostoru. Vzhledem k tomu, že v druhé polovině statoru je umístěna také drážka, která propojuje vnitřní prostor komůrky s výtlakem, a tím dochází plynule k vytlačení kapaliny do výtlaku. Toto je nutné, aby nedošlo vzhledem k nestlačitelnosti pracovní kapaliny k poruše stroje. Styčné plochy statoru a lamel jsou od sebe odděleny olejovým filmem, který zamezuje tření jednotlivých dílů agregátu o sebe a tím i jejich opotřebení. Po spojení pracovní komůrky se sacím hrdlem dochází k nasávání kapaliny zvětšováním objemu komůrky při otáčení rotoru.

V druhé fázi dochází ke zmenšování objemu komůrky a tím k postupnému vytlačení kapaliny do výtlaku. (4)



Obrázek 4 schéma principu činnosti lamelového čerpadla (5)

- Nasávání kapaliny do vstupního potrubí
- Nasávání kapaliny do pracovního prostoru čerpadla
- Začátek stlačování kapaliny, nasávání pokračuje nepřetržitě
- Již dochází k výtlačku kapaliny do výstupního potrubí



Obrázek 5 fotografie lamelového čerpadla (6)

### Výhody a nevýhody lamelových čerpadel

#### Výhody lamelových čerpadel

Do výhod těchto čerpadel patří například možnost regulace průtoku a menší hlučnost. Také se vyznačují tím, že při poměrně malých rozměrech jsou schopny dodávat velké množství kapaliny. (7)

#### Nevýhody lamelových čerpadel

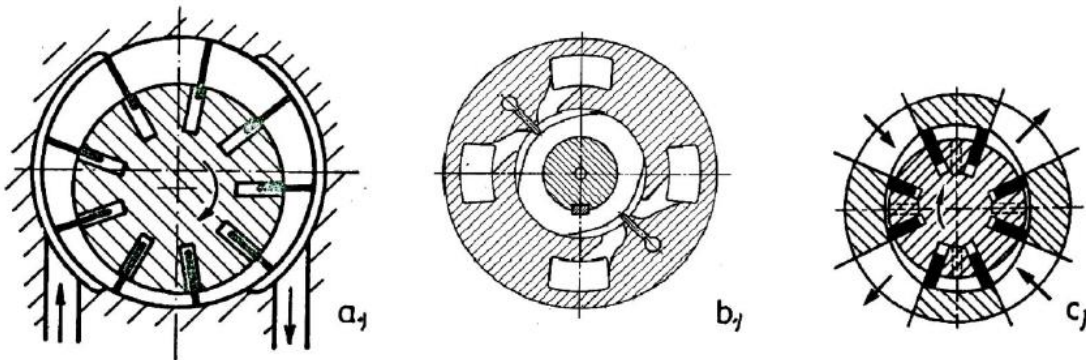
Nevýhodou lamelových hydromotorů je menší objemová a celková účinnost. Tyto hydromotory jsou velmi náročná na přesnost výroby. Velký důraz je při výrobě kladen především na pečlivé zhotovení drážek pro lamely v rotoru a také na přesný geometrický tvar

lamely. Jednou z největších nevýhod je opotřebení statoru a lamel z důvodu vzájemného tření. (7)

### Historie lamelových čerpadel

První lamelový stroj – lamelové čerpadlo vynalezl už počátkem 17. Století Ramelli. Lamelová čerpadla se v hydraulických obvodech používají především kvůli svým dobrým vlastnostem s porovnáním se zubovými čerpadly. (7)

### Typy lamelových čerpadel



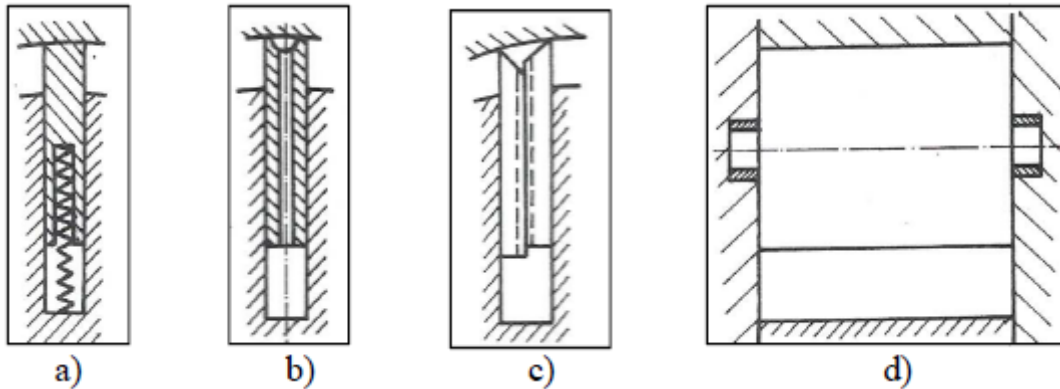
Obrázek 6 typy lamelových čerpadel (8)

Lamelová čerpadla mají různá konstrukční provedení. Rotor může být kruhový (obr. a)) nebo oválný (obr. b)). Stejně tak se je možno setkat se státorem jak kruhovým tak oválným (obr. c)). Lamelová čerpadla lze dělit podle funkce na jednonásobná (otočí-li se rotor o  $2\pi$  rad, dojde jedenkrát k sání a výtlaku), dvojnásobná a více násobná. Dále lze rozdělit čerpadla na čerpadla s vyváženým a nevyváženým rotorem (rotor má vůči statoru určitou excentricitu). Je zřejmé, že čerpadla s nevyváženým rotorem mají ložiska (9)

## Konstrukční řešení dílů

### lamely

Aby se dosáhlo správné funkce čerpadla, je zapotřebí, aby byly lamely neustále dotlačovány ke stěně statoru. V případech kdy je odstředivá síla nedostačující je nutno lamely dotlačovat ke stěně statoru. Typy tohoto tzv. nuceného vysouvání lamel jsou následující: (4)

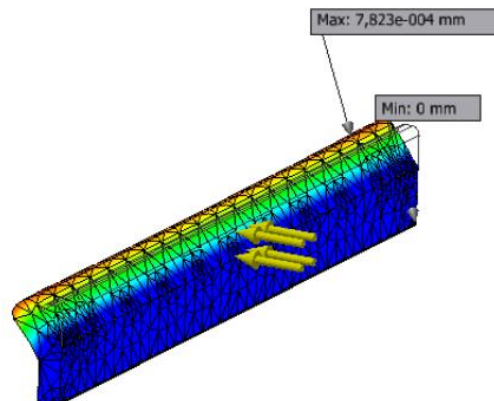


Obrázek 7 konstrukční řešení lamel (10)

Pevnostní analýza lamely z mého čerpadla v Autodesk Inventor 2015

#### Displacement

Nodes:9379  
Elements:5238  
Type: Displacement  
Unit: mm  
25.3.2015, 9:31:44  
7,823e-004 Max  
6,259e-004  
4,694e-004  
3,129e-004  
1,565e-004  
0 Min



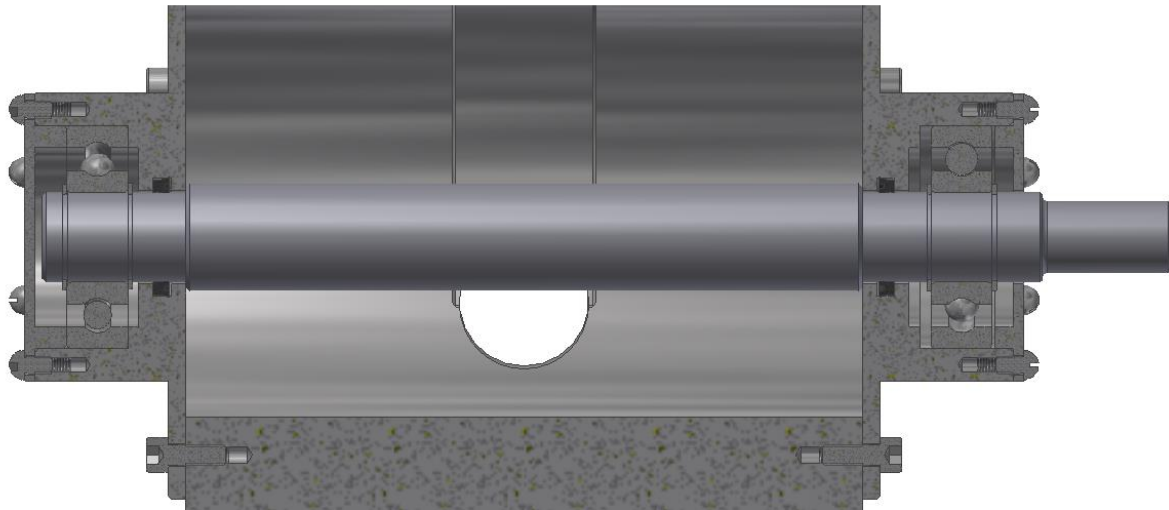
Obrázek 8 pevnostní analýza vychýlení lopatky na ohyb

### Ložiska

Pro uložení hřídele s rotorem volím jednořadá kuličková ložiska. Volím LOŽISKO 6305 ČSN 02 4630. Volím uložení hřídele s jedním pevným a jedním posuvným vnějším kroužkem. Toto uložení umožňuje posuv pravého ložiska v důsledku roztažnosti hřídele teplem. Vnitřní kroužky jsou pojištěny pomocí pojistných kroužků a vnější kroužek levého ložiska je uchycen

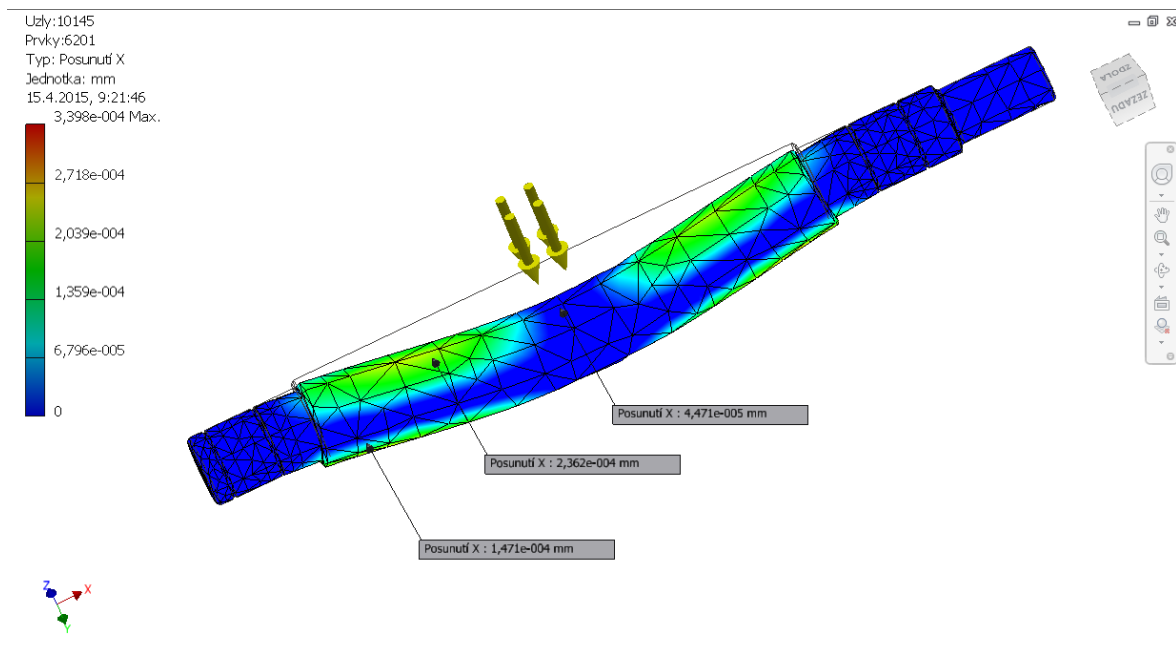
v obou

směrech.



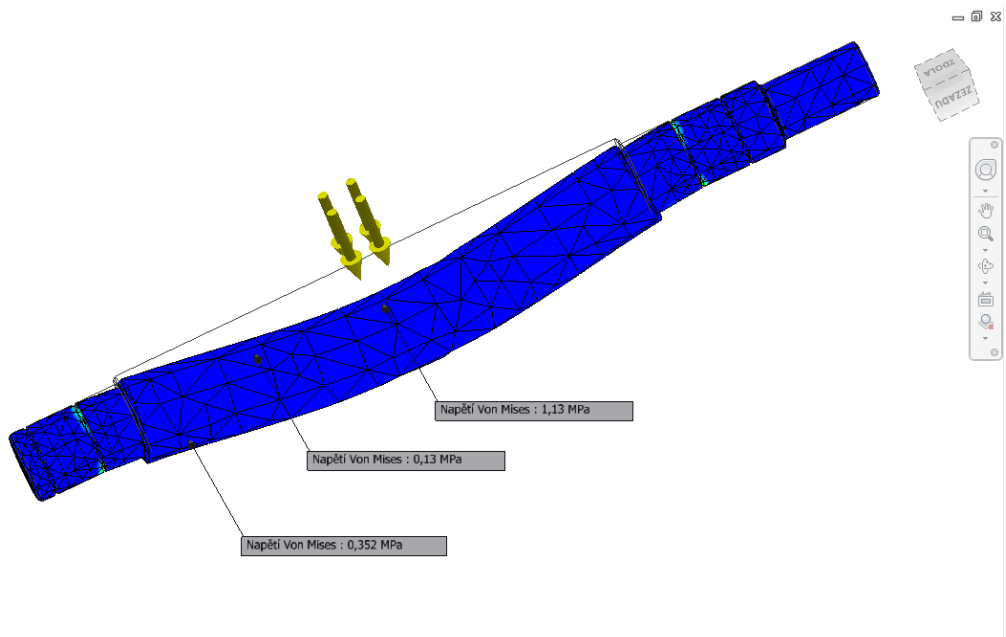
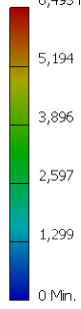
Obrázek 9 uložení hřídele a ložisek

### Hřídel



Obrázek 10 pevnostní analýza hřídele - posunutí

Uzly:10145  
Prvky:6201  
Typ: Napětí Von Mises  
Jednotka: MPa  
15.4.2015, 9:31:31  
6,493 Max.



Obrázek 11 pevnostní analýza hřídele - napětí

## Výpočty

### Výpočet základních rozměrů čerpadla

Výpočet základních rozměrů mého čerpadla vycházel z parametrů, které mi zadal vedoucí práce ing. Jiří Šimáček. Dostal jsem zadaný průtok 8 l/s a výtlačnou výšku 80 m.

Pro výpočet jsem použil vztah:

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot L \cdot f \cdot \eta_v$$

Kde Q – průtok

D – vnitřní průměr statoru

d – průměr rotoru

L – hloubka rotoru

f – frekvence

$\eta_v$  – účinnost

Rozměry čerpadla, které má průtok 8 l/s jsou následující:

D=	115	mm
d=	100	mm
L=	188	mm
f=	24,16666667	1/s
$\eta_v$ =	0,7	%

Frekvence f vychází ze vztahu  $f = \frac{n}{60}$  kde n jsou otáčky. Lamelové čerpadlo je schopno pracovat ve vysokých otáčkách a proto jsem zvolil 1450 ot/min. Díky tomu je jednodušší výběr elektromotoru pro pohon čerpadla. Při tomto řešení může být elektromotor napojen přes hřídel přímo na čerpadlo a není nutná převodovka pro změnu otáček.

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot L \cdot f \cdot \eta_v$$
$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (115^2 - 100^2) \cdot 188 \cdot 24,17 \cdot 0,7$$

Q=	8055495,168	mm <sup>3</sup> /s
----	-------------	--------------------

Po převedení na l/s

Q=	8	l/s
----	---	-----

Výpočet ukazuje, že při mnou zvolených rozměrech je průtok čerpadla 8 l/s.

### Volba materiálu lamel a výpočet $\sigma_{do}$

Nyní zvolím materiál lamel, který je nezbytně nutný pro výpočet dovoleného napětí  $\sigma_{do}$  potřebného pro výpočet rozměrů lamely (výpočet níže). Já pro lamely použiji, v dnešní době čím dál oblíbenější, kompozitní materiály.

Co je to kompozit: Kompozitní materiály (kompozity) jsou složené materiály, skládající se ze dvou či více složek, z nichž každá plní jinou specifickou funkci a má jiné materiálové



vlastnosti, většinou značně odlišné. Kompozitní materiály se skládají z nosné části (výztuže) a z matrice, která má spojovací funkci a která vytváří vnější tvar tělesa. Vhodnou kombinací složek s využitím příslušných výrobních technologií je možné vytvořit materiálovou strukturu, která odpovídá deformačním a pevnostním požadavkům na příslušné těleso. Ve srovnání s klasickými kovovými materiály je možné zvýšit pevnost (zejména měrnou pevnost), tuhost, lomovou houževnatost, odolnost proti korozi, upravit tepelnou a elektrickou vodivost, redukovat hmotnost. Nevýhodou je na druhé straně většinou komplikovanější výrobní technologie, vyšší cena, menší odolnost vůči vysokým teplotám, přítomnost zbytkových napětí z titulu výrobní technologie atd. (11)

Mechanické vlastnosti kompozit:

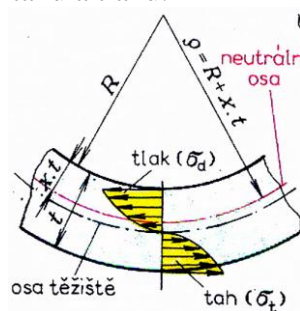
	$E_t$	$\sigma_{Pt}$	$\rho$	$\sigma_{Pt} / \rho$	$\varepsilon_{f,krit}$
	GPa	MPa	$10^3 \text{ kgm}^{-3}$	MPa / $\text{kgm}^{-3}$	%
Sklo - E	72,4	3500	2,54	1,38	2,5
Sklo - S	85,5	4600	2,48	1,85	2,5
Grafit - E	390	2100	1,9	1,1	0,7
Grafit - S	240	2500	1,9	1,3	0,7
Bor	385	2800	2,63	1,1	0,8
W	414	4200	19,3	0,22	
Aramid Kevlar 49	130	2800	1,5	1,87	2,5
Azbest	160	3100	2,56	1,21	1,9
SiC	250	2200	2,6	0,85	0,9
Polyethylen PE Spektra	172	3000	0,97	3,09	1,7
Ocel	210	340-2500	7,8	0,0440-0,321	

Kde  $E_t$  je modul pružnosti v tahu,  $\sigma_{Pt}$  je pevnost v tahu,  $\rho$  je hustota,  $\sigma_{Pt} / \rho$  je měrná pevnost a  $\varepsilon_{f,krit}$  je tažnost.

Obrázek 12 tabulka mechanických vlastností kompozit (11)

Jelikož z dostupných zdrojů znám pouze pevnost v tahu, budu z ní vycházet a určím si z ní pevnost v ohybu. Na lamely použiji materiál Sklo – E, které má pevnost v tahu  $\sigma_{Pt}=3500$  MPa. (11)

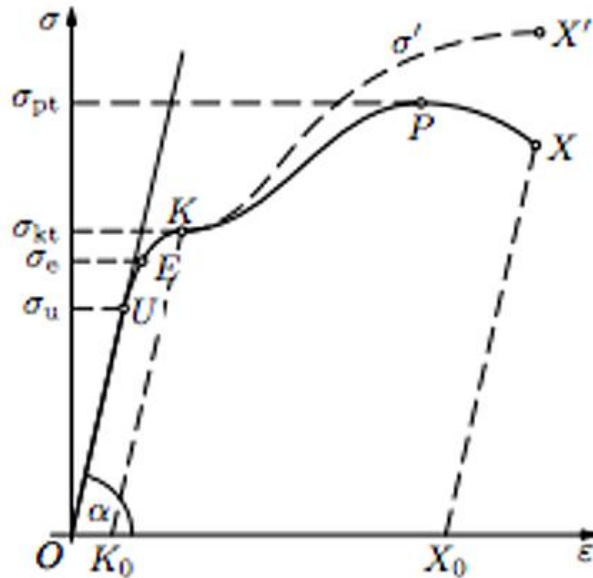
Ohyb je v podstatě namáhání složené z tahu a tlaku.



Obrázek 13 schéma rozložení sil při ohybu (12)

Pro přepočítání z napětí v tahu na napětí v ohybu jsem použil následující úvahu:

$\sigma_{Pt}$  je hodnota zatížení při které dojde k „rozlomení“ materiálu. Pro správnou funkčnost čerpadla ovšem nesmí dojít ani k trvalým deformacím materiálu lamel. Proto si vypočítám  $\sigma_{kt}$ , což je pevnost materiálu v mezi kluzu, kde nedocházím k trvalým deformacím materiálu, ze  $\sigma_{Pt}$ .



Obrázek 14 Diagram pevnosti v tahu (13)

Vzorec pro výpočet  $\sigma_k$  ze  $\sigma_{pt}$ :

$$\sigma_k = 0,7 \cdot \sigma_{pt}$$

$$\sigma_k = 0,7 \cdot 3500$$

$$\sigma_k = 2450 \text{ MPa}$$

Ze  $\sigma_{kt}$  vypočítám  $\sigma_{do}$  do teoretickým výpočtem:

$$\sigma_{DO} = \frac{\sigma_k}{2}$$

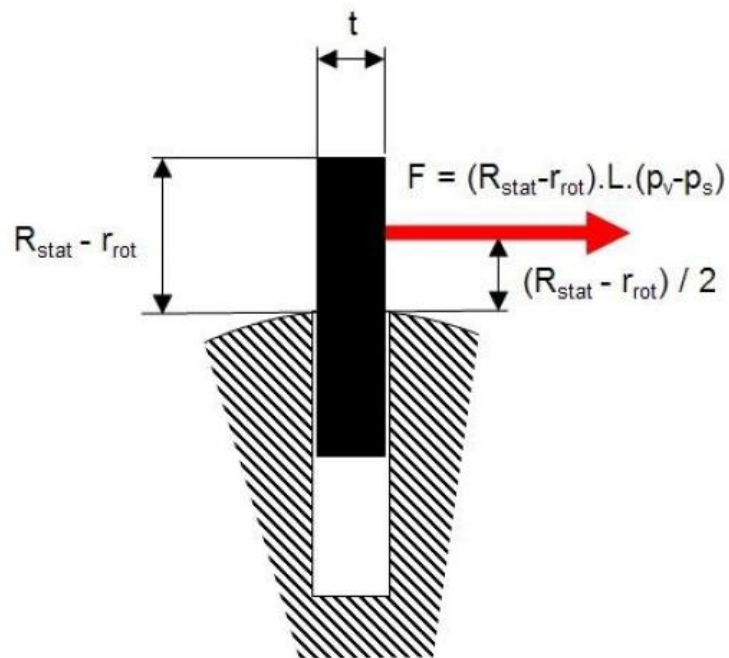
$$\sigma_{DO} = \frac{2450}{2}$$

$$\sigma_{DO} = 1225 \text{ MPa}$$

Hodnota  $\sigma_{do}$  je důležitá pro výpočet tloušťky lamely.

### Výpočet rozměrů lopatky

Lopatky lamelového čerpadla jsou namáhány na ohyb tlakovou energií vody. Nejpřesnějšího výpočtu se dosáhne výpočtem spojitého namáhání, ale já pro zjednodušení použiji výpočet namáhání přes osamělou sílu.



Obrázek 15 schéma namáhání lopatky osamělou silou (4)

- t – tloušťka lopatky (mm)
- R<sub>stat</sub> – poloměr statoru (mm)
- r<sub>rot</sub> – poloměr rotoru (mm)
- F – síla působící kolmo na střed lamely (N)
- L – délka lamely (mm)
- p<sub>v</sub> – vstupní tlak (MPa)
- p<sub>s</sub> – výstupní tlak (MPa)

Pro výpočet tloušťky lamely vycházím ze vzorce pro pevnostní výpočet tělesa v ohybu:

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

- Kde:  $\sigma_o$  – napětí v ohybu (MPa)
- M<sub>o</sub> – ohybový moment (Nmm)
- W<sub>o</sub> – modul průřezu v ohybu (mm<sup>3</sup>)
- $\sigma_{do}$  – dovolené napětí v ohybu

Výpočet ohybového momentu Mo:

$$M_o = \frac{F \cdot (R_{statoru} - r_{rotoru})}{2}$$

- Kde: F – zatěžující síla (N)
- R<sub>statoru</sub> – vnitřní poloměr statoru (mm)
- r<sub>rotoru</sub> – vnitřní poloměr rotoru (mm)

Výpočet modulu průřezu v ohybu Wo:

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot t^2 \cdot L$$

Kde: t – tloušťka lamely (mm)

L – délka lamely (mm)

Vzorec pro výpočet zatěžující síly F:

$$F = (p_2 - p_1) \cdot (R_{statoru} - r_{rotoru}) \cdot L$$

Kde: p1 – tlak na vstupu čerpadla (MPa)

p2 – tlak na výstupu čerpadla (MPa)

Vzorec pro Mo a Wo dosadím do ohybové podmínky:

$$\frac{(p_2 - p_1) \cdot (R_{sta} - r_{rot}) \cdot L \cdot (R_{sta} - r_{rot}) / 2}{\frac{1}{6} \cdot t^2 \cdot L} \leq \sigma_{DO}$$

Vyjádřím t:

$$\Rightarrow t = \sqrt{\frac{(p_2 - p_1) \cdot (R_{sta} - r_{rot}) \cdot L \cdot (R_{sta} - r_{rot}) / 2}{\frac{1}{6} \cdot \sigma_{DO} \cdot L}}$$

Hodnoty mého čerpadla, které dosazují do výpočtu jsou:

Rstatoru=	57,5	mm
r rotoru=	50	mm
L=	188	mm
p2=	0,8	Mpa
p1=	0,1	Mpa

Tlak p1 uvažuji 0,1 MPa protože mnou navrhované čerpadlo je určeno k čerpání vody za normálního atmosférického tlaku 1 bar = 0,1 MPa. Tlak p2 uvažuji 0,8 MPa protože mám zadáno, aby čerpadlo zvládlo 80 metrovou výtláčnou výšku. 10 metrů vodního sloupce se rovná tlaku 0,1 MPa a proto 80m=0,8MPa.

$$t = \sqrt{\frac{(p_2 - p_1) \cdot (R_{sta} - r_{rot}) \cdot L \cdot (R_{sta} - r_{rot}) / 2}{\frac{1}{6} \cdot \sigma_{DO} \cdot L}}$$
$$t = \sqrt{\frac{(0,8 - 0,1) \cdot (57,5 - 50) \cdot 188 \cdot (57,5 - 50) / 2}{\frac{1}{6} \cdot 1225 \cdot 188}}$$

t=	6	mm
----	---	----

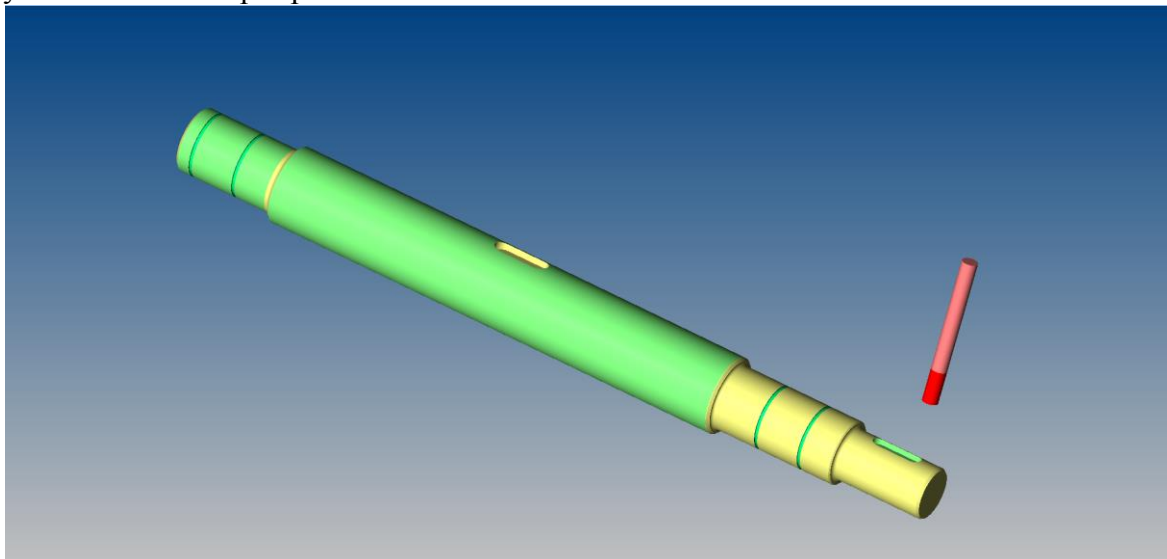
## CAM

V technologické části práce jsem tvořil NC kód pro soustružení hřídele a víka.

### Hřídel

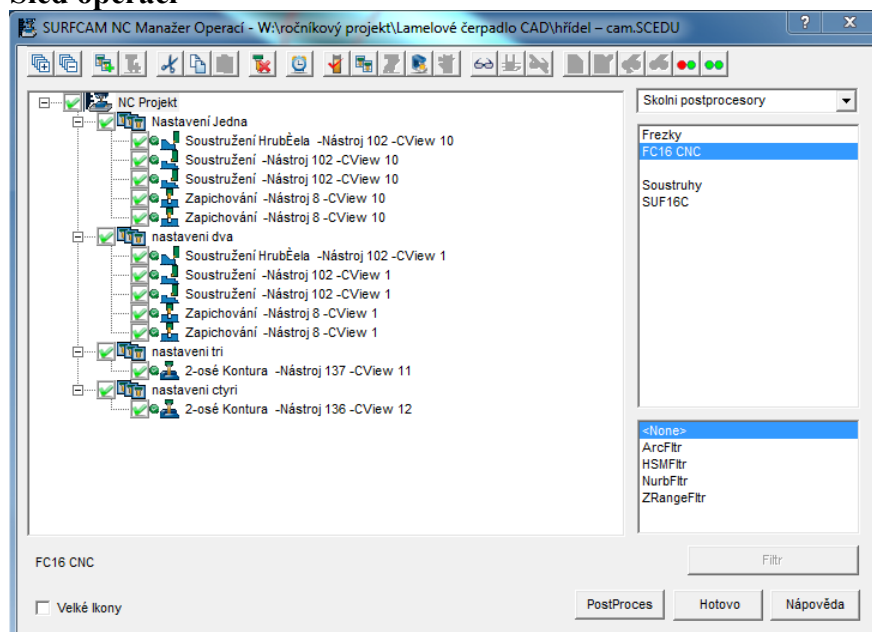
Polotovarem pro soustružení hřídele je  $\varnothing 20$  ČSN 42 5510 – 12 060

Výsledný vzhled hřídele po soustružení válcových částí, drážek pro pojistné kroužky a vyfrézování drážek pro pera.



Obrázek 16 CAM hotová hřídel

### Sled operací

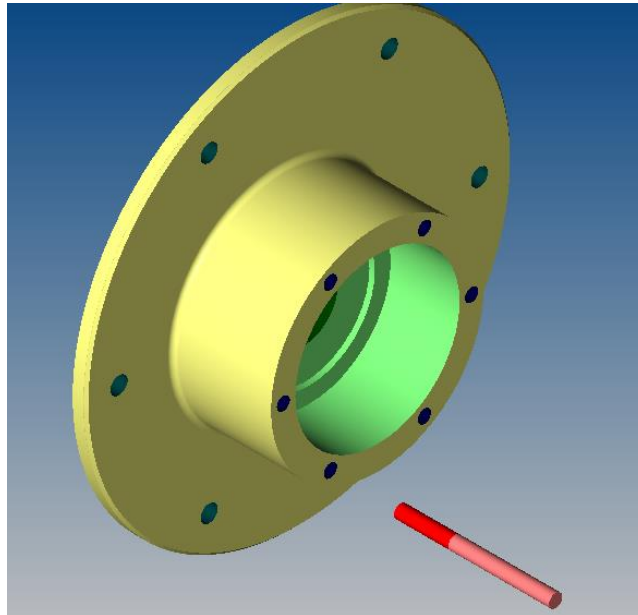


Obrázek 17 CAM sled operací pro soustružení hřídele

### víko

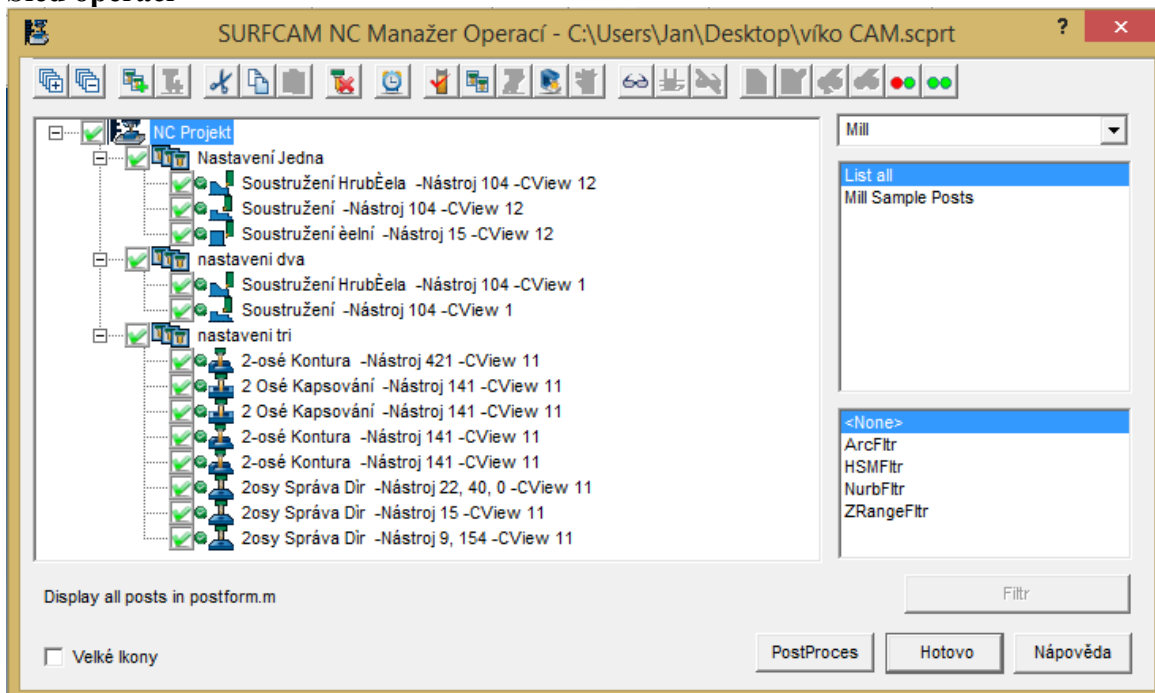
Polotovarem pr víko je  $\varnothing 165$  ČSN 42 5510 – 17 042

Výsledný vzhled víka. Průměr 161 je soustružený. Z důvod excentricity díry a náboje víka jsem pro obrobení těchto částí použil frézování.



Obrázek 18 hotové víko

### Sled operací



Obrázek 19 CAM sled operací pro opracování váka

## Ekonomická část

NÁKUP NORMALIZOVANÝCH SOUČÁSTÍ			
SOUČÁST	CENA ZA KS	POČET KS	CENA POŽADOVANÝ POČET
ŠROUB ČSN 02 2930 M6	8,00 Kč	12	96,00 Kč
ŠROUB ČSN 02 1146 M5	6,00 Kč	12	72,00 Kč
POJISTNÝ KROUŽEK ČSN 02 2930	50,15 Kč	4	200,60 Kč
LOŽISKO ČSN 02 4630 6305	169,00 Kč	2	338,00 Kč
TĚSNÍCÍ MANŽETA ČSN 02 9261 U	99,41 Kč	2	198,82 Kč
<b>CENA ZA NORMALIZOVANÉ SOUČÁSTI</b>			<b>905,42 Kč</b>

NÁKLADY NA VÝROBU JEDNOHO KUSU NENORMALIZOVANÉ SOUČÁSTI		
SOUČÁST	HŘÍDEL	VÍKO
HODINOVÁ MZDA ZAMĚSTNANCE	85,00 Kč	85,00 Kč
DÉLKA PRÁCE	0,42 hod.	1,05 hod.
NÁKLADY NA MZDY	35,70 Kč	89,25 Kč
CENA ZA 1m MATERIALU	375,47 Kč	3 556,56 Kč
DÉLKA POLOTOVARU	0,316 m	0,044 m
CENA ZA POLOTOVAR	118,65 Kč	156,49 Kč
PŘÍMÝ MATERIÁL	118,65 Kč	156,49 Kč
PŘÍMÉ MZDY	35,70 Kč	89,25 Kč
<b>ÚPLNÉ VLASTNÍ NÁKLADY VÝKONU</b>	<b>154,35 Kč</b>	<b>245,74 Kč</b>
<b>CELKOVÁ CENA ZA JEDEN KS HŘÍDELE A VÍKA</b>		<b>400,09 Kč</b>

## Závěr

Cílem mé práce bylo vytvoření 3D modelu lamelového čerpadla v programu Autodesk Inventor a zpracování textové části.

Při práci na modelu jsem se u statorové části naučil pracovat s rovinami a to při tvorbě sacího a výtlačného kanálku ve stěně statoru. Dále jsem se naučil pracovat s vazbami při simulaci pohybu excentricky uloženého rotoru s vysouváním a zasouváním lamel.

V textové části jsem v druhé kapitole rozebral rozdělení čerpadel. Ve třetí kapitole jsem se zaměřil na lamelová čerpadla, u kterých jsem se zaměřil na princip, jakým pracují, na výhody a nevýhody a na jejich rozdělení. Ve čtvrté kapitole jsem popsal, jak konstrukčně řeším některé díly čerpadla jako lamely, ložiska a hřídel. V páté kapitole jsem rozepsal výpočty základních rozměrů čerpadla, výpočet tloušťky lamel a s tím spojenou volbu materiálu lamel. Dále jsem v této kapitole nastínil materiál, který jsem pro své lamely zvolil a to kompozity.

Tato práce byla pro mě velikým přínosem, protože jsem si při ní vypiloval 3D modelování a osvojil jsem si práci s informacemi a jejich využití.



## Anotace

Příjmení a jméno:	Vašíř Jan
Škola:	Střední průmyslová škola strojnická Olomouc
Název práce:	Lamelové čerpadlo
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Šimáček
Počet stran:	29
Počet použité literatury:	17
Klíčová slova:	Čerpadlo Lamelové čerpadlo Lamely Kompozity Pevnost Ložisko Hřídel výtlačná výška

V mé práci jsem se zabýval lamelovým čerpadlem a vytvořením jeho 3D modelu v programu Autodesk Inventor 2015. V textové části práce jsem se zabýval rozdělením čerpadel a jejich použitím, více jsem se zaměřil na lamelová, u kterých jsem se zabýval jejich výhodami, nevýhodami a použitím. Dále jsem řešil výpočty základních rozměrů čerpadla jako průměr statoru a rotoru, délka lamel. Zabýval jsem se také z jakých materiálů lamely vyrobít a následně jejich pevnostní analýzou.

## **Resumé**

In my thesis I dealt with rotary vane pump and creation 26 fit's 3D model in Autodesk Inventor 2015 software. In text part of my thesis I dealt with dividing of pumps and their way of use, I closely delt with rotary vane pump. I wrote their advantages and disadvantages and their way of use. I also dealt with calculation of main measures of my pump like diameter of stator and rotor, length of vanes. I also dealt what materiál use for fabrication of vanes and their stress analysis.

## Seznam použitých zdrojů

1. Čerpadlo. In: <i>Wikipedia: the free encyclopedia</i> [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2015, 27.8.2014 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <a href="http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cerpadlo">http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cerpadlo</a>.
2. VUT rozdělení čerpadel. [Online] [Citace: 21.. únor 2015.] [http://xyz12345.wz.cz/saz/cerpadla\\_rozdeleni\\_CSN.pdf](http://xyz12345.wz.cz/saz/cerpadla_rozdeleni_CSN.pdf).
3. eAMOS. *eAMOS*. [Online] [Citace: 21.. únor 2015.] [http://www.eamos.cz/amos/kat\\_fyz/externi/kat\\_fyz\\_7356/41.jpg](http://www.eamos.cz/amos/kat_fyz/externi/kat_fyz_7356/41.jpg).
4. **Houšť, Ing. Vladimír.** SPŠS Olomouc. *www.spssol.cz*. [Online] 26.. leden 2011. [Citace: 2.. listopad 2014.] <http://www.spssol.cz/~vyuka/TRIDY/3.C/CAD/HYDROMOTORY%20A%20HYDROGENERTORY.pdf>.
5. Mendelova univerzita v Brně. *www.mendelu.cz*. [Online] [Citace: 3.. březen 2015.] <https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/download.pl?objekt=47884>.
6. Pedkov. *www.pedkov.cz*. [Online] Pedkov. [Citace: 3.. březen 2015.] <http://www.pedkov.cz/oprava-lamelovych-cepade.htm>.
7. **Čejka, Pavel.** VUT Brno. *www.vutbr.cz*. [Online] 2009. [Citace: 20.. říjen 2014.] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=17002](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17002).
8. **M., Varchola.** *Hydrostatická čerpadla*. Bratislava : Edičné stredisko STU v Bratislavě, 1992. str. 220. ISBN 80-227-0490-3.
9. **Klapka, Petr.** VUT Brno. *www.vutbr.cz*. [Online] 2011. [Citace: 14.. říjen 2014.] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=37947](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37947).
10. **Vostrovský Jiří, Josef Prokeš.** *Hydraulické a pneumatické mechanismy*. Praha : SNTL, 1988. str. 275.
11. **Prof. RNDr. Ing. Jan Vrbka, DrSc.** VUT Brno. *www.vutbr.cz*. [Online] 2008. [Citace: 12.. leden 2015.] [http://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=83340](http://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=83340).
12. Katedra strojírenské technologie. *Katedra strojírenské technologie*. [Online] Technická univerzita v Liberci. [Citace: 21.. únor 2015.] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07-ohybani/01.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07-ohybani/01.jpg).
13. WikiSkripta. *WikiSkripta*. [Online] MEFANET. [Citace: 14.. říjen 2014.] [http://www.wikiskripta.eu/images/7/79/Prac\\_diagram.png](http://www.wikiskripta.eu/images/7/79/Prac_diagram.png).
14. **LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel.** *Strojnické tabulky*. Úvaly : Albra - pedagogické nakladatelství, 2008. str. 914. ISBN 978-80-7361-051-7.
15. **Hrazdíra, Matěj.** VUT Brno. *www.vutbr.cz*. [Online] 2010. [Citace: 11.. leden 2015.] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29700](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29700).
16. **Mikula, Martin.** VUT Brno. *www.vutbr.cz*. [Online] 2012. [Citace: 11.. leden 2015.] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=54627](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54627).
17. **Zelený, Jiří.** *Stavba strojů - strojní součásti*. Brno : Computer press, 2003. 80-7226-311-0.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Lamelové čerpadlo .....	5
Obrázek 2 schéma rozdělení čerpadel (2).....	6
Obrázek 3 schéma lamelového čerpadla (3).....	10
Obrázek 4 schéma principu činnosti lamelového čerpadla (5).....	11
Obrázek 5 fotografie lamelového čerpadla (6) .....	11
Obrázek 6 typy lamelových čerpadel (8).....	12
Obrázek 7 konstrukční řešení lamel (10).....	13
Obrázek 8 pevnostní analýza vychýlení lopatky na ohyb .....	13
Obrázek 9 uložení hřídele a ložisek.....	14
Obrázek 10 pevnostní analýza hřídele - posunutí.....	14
Obrázek 11 pevnostní analýza hřídele - napětí.....	15
Obrázek 12 tabulka mechanických vlastností kompozit (11).....	17
Obrázek 13 schéma rozložení sil při ohybu (12).....	17
Obrázek 14 Diagram pevnosti v tahu (13) .....	18
Obrázek 15 schéma namáhání lopatky osamělou silou (4) .....	19
Obrázek 17 CAM hotová hřídel .....	21
Obrázek 18 CAM sled operací pro soustružení hřídele.....	21
Obrázek 19 hotové víko.....	22
Obrázek 20 CAM sled operací pro opracování váka.....	22

## Cizojazyčný slovník

### Česko – Německý

lamelové čerpadlo	die Flügelzellenpumpe
stator	der Hohlzylinder
rotor	der Zylinder
lamela	die Lamelle
tlak	der Druck
síla	die Leistung
víko	der Deckel
hřídel	der Haspel
ložisko	der Lager
těsnící manžety	die Dichtmanschette
díra	die Loch
sání	der Sog
výtlač	der Ausdruck
dopravní výška	die Förderhöhe
šroub	der Schraube

### Česko - Anglický

Lamelové čerpadlo	Pump
Stator	Stator
Rotor	Rotor
Lamela	Vane
Tlak	Pressure
Síla	Force
výko	Cover
Hřídel	Schaft
ložisko	Bearing
Těsnící manžety	Gasket
díra	Hole
sání	Intake