



Středoškolská technika 2013

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

ČERPADLO 1600 BQDV

Rostislav Loníček

SPŠ strojnická

Tř. 17. Listopadu, Olomouc

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

Datum: 10. 5. 2013

Podpis

Děkuji vedoucímu práce za odborné vedení a konzultaci k mé odborné činnosti.

Obsah

Obsah	3
1 Úvod.....	5
2 Teoretická část.....	6
2.1 Čerpadla	6
2.1.1 Odstředivá čerpadla.....	8
2.1.2 Ztráty	8
2.1.3 Řazení čerpadel	10
2.1.4 Regulace	11
2.1.5 Hydrodynamická ložiska.....	13
2.2 Jaderná elektrárna	16
3 Praktická část.....	18
3.1 Spojka	18
3.2 Axiální ložisko	20
3.3 Ucpávka	21
3.4 Hřídel	22
3.5 Výtlačné koleno	23
3.6 Mezikus.....	24
3.7 Převaděč.....	25
3.8 Radiální ložisko	26
3.9 Oběžné kolo	26
3.10 Sací kus	28
3.11 Servopohon.....	29
3.12 Výkon elektromotoru	29
3.13 Tlaková analýza.....	30
3.14 Montáž.....	33

3.15	Technologická část.....	33
3.16	Ekonomické zhodnocení	34
4	Závěr.....	36
	Anotace	37
	Resumé	38
	Seznam literatury a dalších zdrojů.....	39
	Seznam obrázků.....	40
	Seznam značek.....	41
	Cizojazyčný slovník.....	42
	Přílohy.....	43

1 Úvod

Jako práci jsem si zvolil hydrodynamické diagonální čerpadlo. S výběrem práce mi pomohl Ing. Vladimír Houšť, který byl i mým konzultantem v průběhu práce, u kterého jsem vždy našel odpověď na nejrůznější otázky.

Čerpadla jsou potřebná už od dávné minulosti, zejména k čerpání vody, chemických látek, maziv či ropy. Postupem času se zdokonalovala na různé druhy čerpadel. Obecně jsou to stroje měnící vstupní mechanickou energii motoru na energii tlakovou a kinetickou, o jejichž hodnotu zvýšíme parametry kapaliny vstupující do čerpadla. Pohony jsou převážně elektromotory, ale k vidění mohou být i spalovací motory, např. u požární techniky.

Významným výrobcem čerpadel je firma Sigma Group, a.s., sídlící v Lutíně, která vyrábí čerpací techniku nejvíce pro energetiku, ale i vodárenství a olejové systémy. Historie podniku sáhá až do roku 1868, kdy řemeslník Ludvík Sigmund založil v Lutíně pumpařskou firmu na dřevěné stojanové pumpy a vodovody. Volbu projektu ovlivnil i fakt, že jsem v Sigmě několikrát pracoval a problematika čerpací techniky mě zaujala, zejména po vlastním zhlédnutí výroby, výzkumu, navrhování a montáži velkých čerpadel.

Jako hlavní zdroj projektu jsem využil katalog produktů zmiňované firmy Sigma Group, a.s., kde jsem si vybral hydrodynamické čerpadlo BQDV. Prototyp tohoto unikátního čerpadla byl vyroben již v roce 1975 a čerpadlo bylo určeno pro chladicí okruhy elektráren, kde je využíváno dodnes. Z konstrukčního hlediska se jedná o vertikální odstředivé čerpadlo, při 290 otáčkách/min činí průtok podle nastavení úhlu lopatek až $10,2 \text{ m}^3/\text{s}$ s výtlačnou výškou 16,5 m. Hmotnost samotného tělesa bez elektromotoru je skoro 30 tun.

Cílem mé práce je tvorba 3D modelu, pevnostní analýza vybraných částí spojená s návrhem materiálu a obrábění v programu SurfCAM.

V první části se budu věnovat teorii a v druhé části se budu věnovat konstrukci a konstrukčním problémům čerpadla.

2 Teoretická část

2.1 Čerpadla

Čerpadla nazýváme hydraulické stroje, které dopravují a vytlačují kapaliny. Z energetického hlediska jsou to pracovní stroje. Jsou popsány různými charakteristikami, kde hlavní je měrná energie, dopravní výška nebo tlak závislý na průtoku za neměnných otáček. Tyto charakteristiky jsou stanoveny zpravidla měřením veličin daného stroje na zkušebnách výrobních závodů.

Základní pojmy:

Dopravované množství – průtok – Q (m^3/s)

Je to objem čerpané kapaliny, který proteče výtlačným hrdlem za jednotku času. Je to tedy okamžité množství tlakové kapaliny na výstupu z čerpadla, které můžeme dále spotřebovávat.

Dopravní výška – H (m)

Je to výška sloupce čerpané kapaliny, kterou vyvodí čerpadlo, neboli měrná energie, kterou odevzdá čerpadlo kapalině o tíze 1 N.

Příkon čerpadla – P (W)

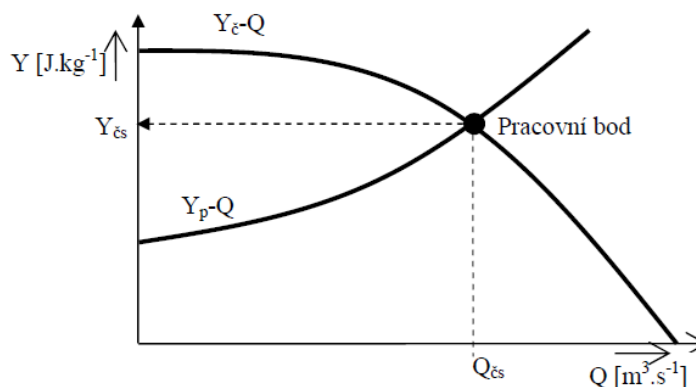
Příkon představuje nevyhnutelný výkon, který musí motor odevzdat na spojce hřídele čerpadla, aby bylo vyvozeno dané množství kapaliny Q do výšky H . Je to tedy výkon přenesený hnacím zařízením na hřídel čerpadla a je vyšší o celkové ztráty než užitečný výkon čerpadla.

Pracovní bod čerpacího systému

Tento bod čerpacího systému je dán průsečíkem dvou charakteristik a to čerpadla ($Y_{\text{č}}-Q$) a potrubí ($Y_{\text{p}}-Q$). Všechna energie, kterou z čerpadla získáme, je v pracovním bodě využita na dopravu kapaliny a pokrytí ztrát potrubí, kterým kapalina protéká. Systém je takto ve stabilním stavu. Měrná energie čerpadla a potrubí je v pracovním bodě identická, takže můžeme obě charakteristiky porovnat a určit tak hodnotu průtoku $Q_{\text{čs}}$.

Grafické řešení spočívá ve vykreslení obou charakteristik v měřítku do jednoho grafu. Vzniklý průsečík je provozní bod a odečtením souřadnic zjistíme hodnotu průtoku.

Snahou je navrhnout čerpací systém tak, aby jeho provozní bod ležel v co nejmenší odchylce od nejvyšší celkové účinnosti .



Obr. 1 - pracovní bod

zdroj : (1)

Čerpadla rozdělujeme podle základního rozdělení na čerpadla:

- objemová (hydrostatická) - s kmitavým pohybem

-pístové, membránové

-rotační

- zubové, lamelové atd.

- odstředivá (hydrodynamická)

- radiální

(Kapalina v kanálech čerpadla mění směr z axiálního na radiální)

- axiální

(vrtulová, směr proudu se nemění)

- diagonální

(Tvoří přechod mezi axiálními a radiálními, kde se směr proudu mění z axiálního na šikmý. Používají se pro velký rozsah dopravního množství a výšek)

- s bočními kanály (hvězdicové, vírové)

- speciální

- elektromagnetické

Dále můžeme rozdělit čerpadla podle polohy hřídele na horizontální a vertikální, nebo podle uložení do mokré či suché jímky. (1)

2.1.1 Odstředivá čerpadla

Oproti objemovým mají řadu výhod : - vysoký počet otáček

Vhodné je přímé spojení hřídele s motorem bez nutnosti použití převodovky, a tím dojde k menším nákladům na výrobu.

- proud vody je na výstupu z čerpadla ustálený, nekolísá průtok

- nemůže nastat porucha motoru vzniklá přetížením z nadměrného zvýšení příkonu nebo poškození čerpadla vlivem zvýšeného tlaku.

U těchto čerpadel rozeznáváme dvě části, hydraulickou a mechanickou. Hydraulickou tvoří průtoková část, kterou kapalina protéká (sací část, oběžné kolo, rozvaděč, výtlačná část). Mechanická spojuje elementy hydraulické části, patří do ní ložiska a přenáší síly vyvozené tahem čerpadla na základnu (podstavec).

Popis práce odstředivých čerpadel

Práce odstředivého čerpadla je založena na nepřímém přenosu mechanické energie vyvolané motorem na kinetickou energii kapaliny, která vzniká působením lopatek oběžného kola na proud kapaliny. Tyto lopatky tvoří rotující kanály což je charakteristický prvek hydrodynamických čerpadel. Částice kapaliny s určitým směrem a rychlostí vstupující na lopatku oběžného kola se vlivem odstředivých sil zrychlí a vystupují z oběžného kola s vyšší rychlostí a jiným směrem. Kinetická energie této částice je převáděna na tlakovou energii kapaliny v převaděči. (2)

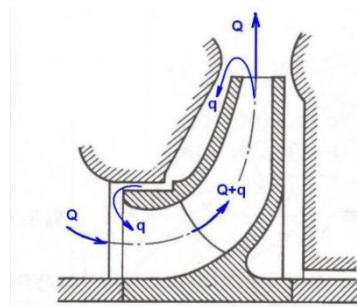
2.1.2 Ztráty

U hydrodynamických čerpadel vznikají při přeměně kinetické energie na tlakovou ztráty objemové, hydraulické a mechanické

Objemové ztráty – vznikají zpětným unikáním kapaliny z výtlačku čerpadla do sání vlivem nedokonalé těsnosti oběžného kola. Oběžným kolem protéká tudíž větší množství kapaliny ($Q+q$), než proudí výtlačným hrdlem z čerpadla. Objemovou účinnost můžeme definovat zlomkem :

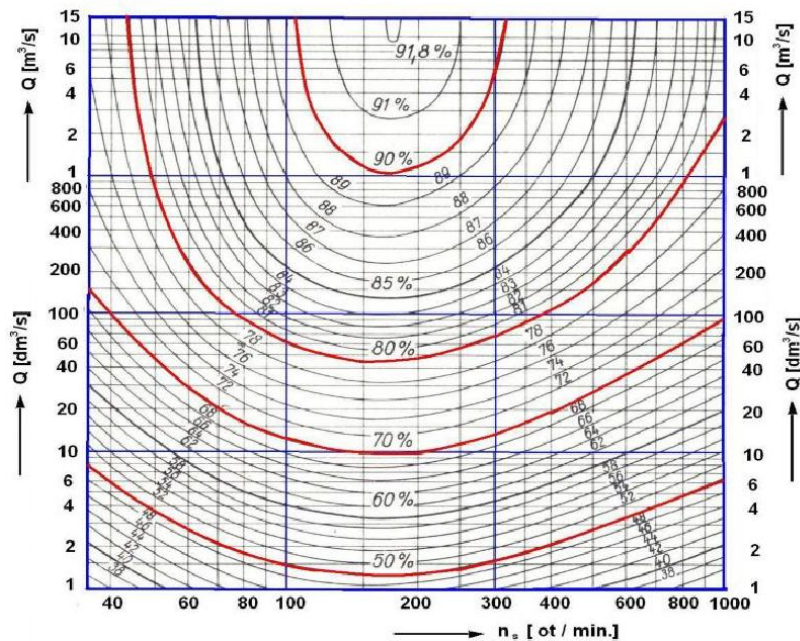
$$\eta_Q = \frac{Q}{Q+q}$$

Q – objemový průtok, q – zpětný průtok (5-10% z Q)



Obr. 2 - objemové ztráty

zdroj: (3)



Obr. 3 - dosažitelná účinnost hydrodynamických čerpadel podle Erharta

zdroj: (3)

Hydraulické ztráty – v kanálech čerpadla od sacího až k výtlačnému hrdlu kapalina v praxi neproudí laminárně, ale dochází ke změnám směru i velikosti rychlostí. Kromě toho v některých úsecích kapalina rotuje, což značně přispívá k velikosti ztrát. Mezi tyto ztráty počítáme tedy především ztráty změnou směru proudu, průřezu, třením, turbulencí a vířením kapaliny v kanálech.

Hydraulickou účinnost můžeme definovat jako $\eta_h = \frac{H}{H_t}$

kde H- dosažená dopravní výška, H_t – teoretická dopravní výška

Mechanické ztráty – vznikají třením hřídelů v ucpávkách, třením ložisek ve spojkách a diskovým třením, tj. třením stěn čerpadla a oběžného kola o kapalinu v tělese čerpadla. Tato účinnost bývá okolo 0,8 až 0,94 podle kvality provedení jednotlivých součástí, jakosti povrchu atd.

Celková účinnost je podílem efektivního výkonu a teoretického výkonu. Z čehož plyne, že celková účinnost je také součinem jednotlivých součástí:

$$\eta_c = \frac{P_t}{P_{ef}} = \eta_o \cdot \eta_h \cdot \eta_m$$

(3)

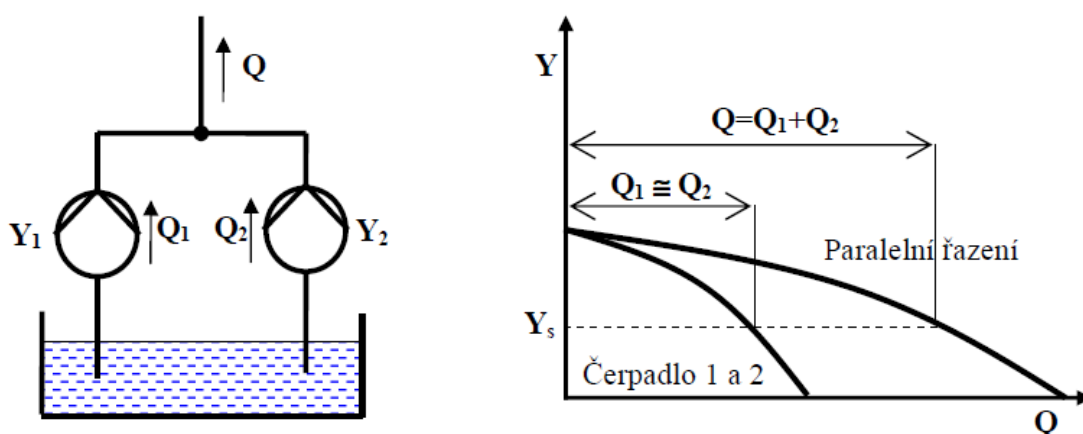
2.1.3 Řazení čerpadel

Častým řešením zvýšení průtoku, nebo výtlčné výšky je paralelní, nebo sériové řazení čerpadel. Při dalším počítání čerpacího systému se používá výsledná charakteristika sériového, či paralelního zapojení.

Paralelní řazení

Při paralelním řazení čerpadel jsou výtlaky všech čerpadel spojeny do jednoho uzlu. Při paralelním řazení je měrná energie všech čerpadel stejná. Čerpadla se ovlivňují navzájem, tudíž i průtoky jsou různé a jejich součet udává celkový průtok.

Tento způsob se uplatňuje zejména tam, kde je potřeba vysokých průtoků, tj. v chladicích věžích elektráren, v havarijních čerpadlech vodáren a čističek.



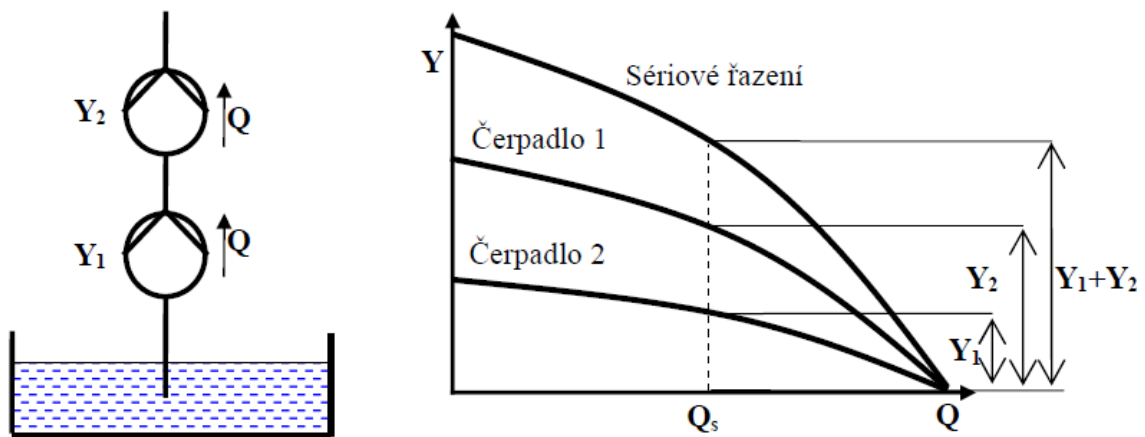
Obr. 4 - paralelní řazení dvou čerpadel se stejnými charakteristikami

zdroj: (1)

Sériové řazení

Při sériovém řazení čerpadel je výtlak prvního čerpadla přímo napojen na sání druhého, takže průtok musí být stejný všemi takto spojenými čerpadly. Měrné energie čerpadel se sčítají. Princip je takový, že první čerpadlo dodá kapalině energii a takto vstupuje do dalšího čerpadla, které jí znovu zvýší energii. Pokud jsou čerpadla zařazena těsně za sebe, můžeme jejich výslednou charakteristiku znázornit jako na obrázku.

Tohoto zapojení se využívá zejména při dopravě kapalin na delší vzdálenosti, protože odpor, který potrubí klade, zmenšuje energii, kterou kapalina získala od prvního čerpadla, tudíž druhé čerpadlo je připojeno k potrubí v určité vzdálenosti a znovu dodá kapalině energii, aby proudila potrubím dále. (1)



Obr. 5 - sériové řazení dvou čerpadel se stejnými charakteristikami

zdroj: (1)

2.1.4 Regulace

Tento problém je v praxi velmi častý a důležitý. Průtokové podmínky dané provozním bodem, který určuje charakteristika potrubí a čerpadla, nejsou většinou takové, jaké právě potřebujeme. Proto se musí zavést do čerpacího systému regulační prvky. Regulaci lze rozdělit podle povahy na :

- *skokovou*
- *spojitou*
- *trvalou (nevratné snížení výkonu čerpadla)*

U skokové regulace vypínáme či zapínáme jednotlivá čerpadla v sériovém nebo paralelním zapojení, nebo rázově měníme počet otáček přepínáním satorového vinutí speciálních asynchronních elektromotorů.

Spojité regulace je taková, která plynule ovlivňuje některý z parametrů čerpacího systému, jehož výkonnost na tomto základě klesá nebo roste. Můžeme ji provést těmito způsoby, které lze mezi sebou kombinovat:

- *změna charakteristiky potrubí*
- *změna otáček čerpadla*
- *připojování paralelního potrubí (obtok zpět do nádrže)*
- *změna charakteristiky čerpadla (natáčení lopatek)*

Škrčení na výtlaku

Je to nejjednodušší způsob regulace, který je zato energeticky náročný. Část příkonu je zmařená a systém takto má menší účinnost, tudíž ztráta energie je velká. Její relativní velikost roste se zvyšujícími se měrnými otáčkami čerpadel. Je proto používán u malých čerpacích systémů (závlahová technika) z důvodu nízkých pořizovacích nákladů a jednoduché instalace na výtlačné potrubí.

Uzavíráním ventilu teoreticky pohybujeme provozním bodem po neměnné charakteristice čerpadla, protože charakteristika potrubí se přímo úměrně mění podle uzavření ventilu. Charakter potrubí je strmější, čím více ventil uzavřeme.

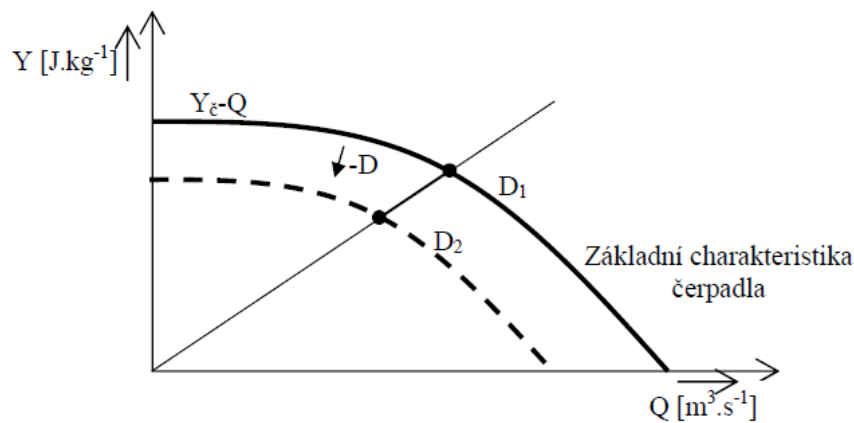
Regulace obtokem

Škrčení obtokem pracuje na principu snižování odporu paralelního potrubí. Množství vody dané otevřením škrťacího ventilu na obtokové větvi se vrací zpět do nádrže, je to tudíž také energeticky náročný proces. Je to používáno v případech regulace množství u vrtulových čerpadel a u jiných spíše jako chlazení ložisek nebo ucpávek. Tato regulace je také využívána při odstraňování nestabilní práce čerpadel, jejichž charakteristiky s potrubím se protínají ve dvou bodech, kde je potřeba se dostat z prvního „labilního“ bodu.

Při otevírání ventilu průtok v obtokovém potrubí vzrůstá a ve výtlačném klesá a pracovní bod se posouvá k vyšším průtokům a nižší výtlačné výšce po neměnné charakteristice čerpadla.

Osoustružení oběžného kola

Jde o trvalé snížení výkonu čerpadla, které dává příliš vysoké parametry. Snížení výkonu dosáhneme tím, že se průměr oběžného kola nechá osoustružit. Změní se tak charakteristika čerpadla. (1)



Obr. 6 – stočení oběžného kola

zdroj: (1)

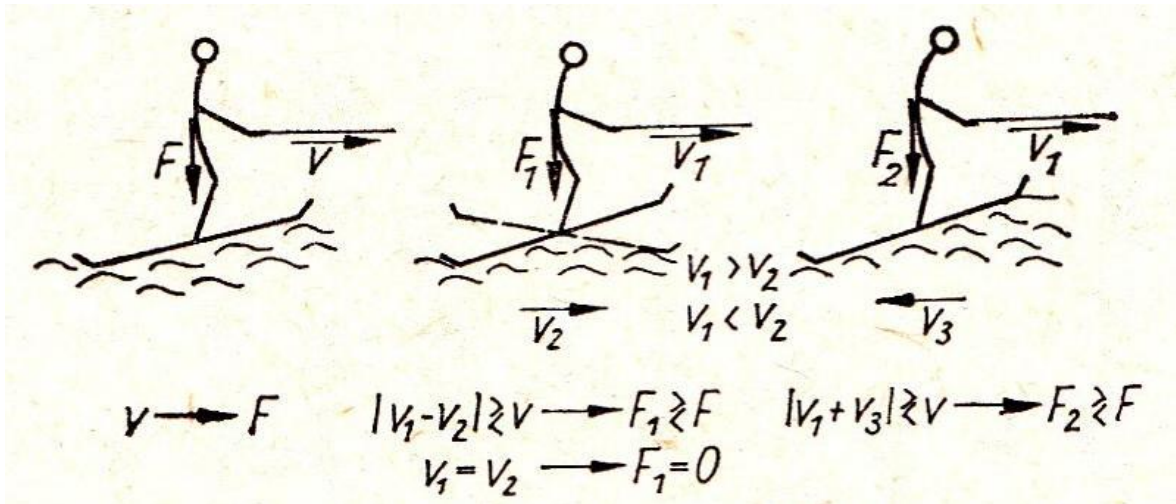
2.1.5 Hydrodynamická ložiska

Hydrostatická ložiska jsou nejpoužívanější u mazání vysoce zatěžovaných kluzných dvojic. Takováto ložiska zajišťují zvyšování efektivity, spolehlivosti a hlavně zlepšování ekonomické stránky. Hlavním úkolem je snížení tření, neboli ztráty mechanické energie v průběhu relativního pohybu hmotných ploch vzájemně se dotýkajících, a tím i snížení opotřebení. Ději a závislostmi vznikajícími v kluzných uloženích se zabývá vědní obor tribologie.

U takových ložisek není využíváno tření valivé, ale kapalinné. Takové tření vzniká, když jsou po sobě se pohybující plochy dokonale odděleny nosným mazacím filmem. Při tomto stavu je ložisko maximálně účinné. Tento stav zajišťuje, že při náběhu a doběhu stroje se zamezuje styku ploch, a tím vznikajícímu opotřebení či zadírání a součinitel tření bude mít hodnotu asi o 0,001 níže. Pro udržení kapalinného tření, musí být přítomno mezi kluznými dvojicemi dostatečné množství viskózního maziva. Nezbytný tlak v mazivu, který svým působením umožňuje odpovídající nosnost mazacího filmu je vytvářen dvěma způsoby. U hydrodynamického mazání je vytvářen samočinně konstrukčními podmínkami, kdežto u hydrostatického mazání je tento tlak vytvářen mimo kluznou dvojici a to vnějším zdrojem (zubové čerpadlo apod.)

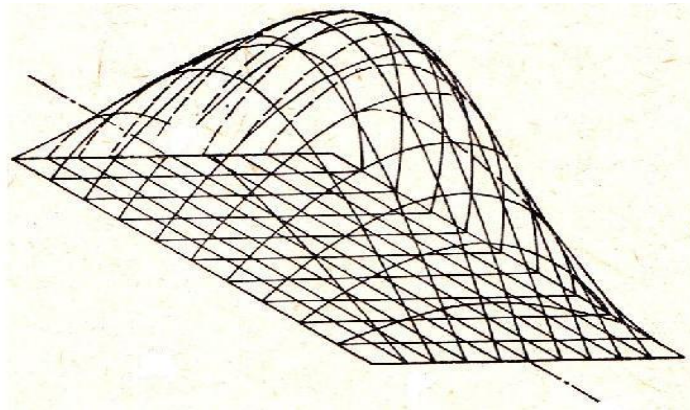
Při hydrodynamickém mazání záleží vytvoření tlaku v mazivu na proudění v klínové mezeře, které nastane za předpokladu, že mazivo přilne k povrchům tvořícím mezeru a zároveň se proud oleje a vnější zatížení vůči sobě pohybuje v zužující se mazací mezeře, která se zužuje proti ve směru zmíněného pohybu.

Pro přiblížení můžeme problematiku znázornit na vodním lyžaři. Mezi oběma kluznými plochami tvořícími kluznou mezeru je vytvářena tlaková vlna. Představíme si ji jako vlnu uprostřed roviny, která se sklání k hranám roviny (hranám lyže).



Obr. 7 – princip vodních lyží

zdroj: (4)



Obr. 8 – tlaková vlna na lyži

zdroj: (4)

První poznání těchto tlaků vychází z Towerových zkoušek v roce 1883, kdy Tower zjistil při hledání lepšího řešení ložisek železničních náprav, že když vyvrtá doprostřed ložiskové pánve díru, olej následně po zatížení a rozběhnutí vytéká. Po připevnění manometru zjistil, že tlak mazacího filmu je větší než měrný tlak. Dále byly měřeny tlaky na různých částech pánve. Výsledky znázornil graficky, avšak matematicky byl tento jev vyjádřen až ve 20. století.

Víceplochá ložiska

Z důvodů odstranění nedostatků válcových hydrodynamických ložisek se používají ložiska víceplochá. Mezi hlavními nedostatky je, že při vysokých obvodových rychlostech musí být ložisková vůle velká z důvodu, aby se nepřehříval olej a tím se nesnižovala jeho viskozita a výsledná únosnost ložiska. S velkou vůlí klesá přesnost vedení.

Víceplochá ložiska jsou taková, která mají dvě a více klínových ploch. Jejich výhodou je lepší chlazení oleje, hřídel je upnut v silovém poli dílčích tlaků, což způsobuje daleko lepší vedení hřídele.

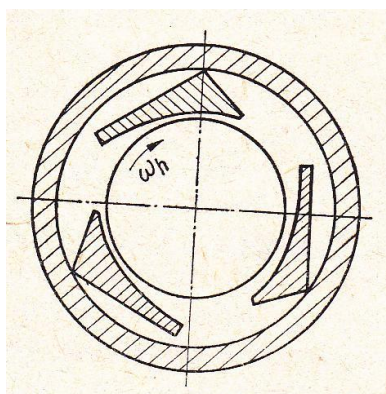
Provedení:

- se zalícovanými tlakovými poli

Jednotlivé segmenty jsou zalícovány do ložiskové pánve nebo hřídele. Dají se tak poměrně lehce uskutečnit konstrukčně ideální poměry pro provozní stav. Z hlediska výroby jsou velice náročná, protože hloubky klínů jsou v řádech setin milimetru.

- s pohyblivými segmenty

Tato ložiska mají stejně jako u axiálních ložisek naklápěcí segmenty, jejichž sklon se nastavuje samostatně podle zatížení a otáček ložiska, až výslednice tlaků prochází osou otáčení segmentů. Segmenty mohou být radiálně nastavitelná pro seřizování vůle. Jsou používána u velkých průměrů hřídelů, protože dokážou vyrovnávat nepřesnosti vzniklé při montáži.



Obr. 9 – naklápěcí segmenty

zdroj: (4)

- s pružnou ložiskovou pánví

Taková pánve se vyrábí zalisováním pružné pánve do díry (vývrty) s průměrem menším než má pánve na můstcích. Deformací vzniknou klínové mezery, na kterých se vytváří hydrodynamický tlak. Pokud provedeme vývrt kuželový, může se seřizovat ložisková vůle posouváním pánve ve vývrty – zvětšováním deformace. U tohoto provedení je nepříznivý nadměrný ohřev tělesa, kvůli čemuž se mění způsob deformace, a tím tvar klínové mezery. (4)

2.2 Jaderná elektrárna

V elektrárnách se vyrábí elektrická energie přeměnou z mechanické energie. Stejně jako u uhelných elektráren. Výrobu umožňuje generátor. K získání mechanické energie je zapotřebí různých systémů, nejsložitější je to však v jaderné elektrárně.

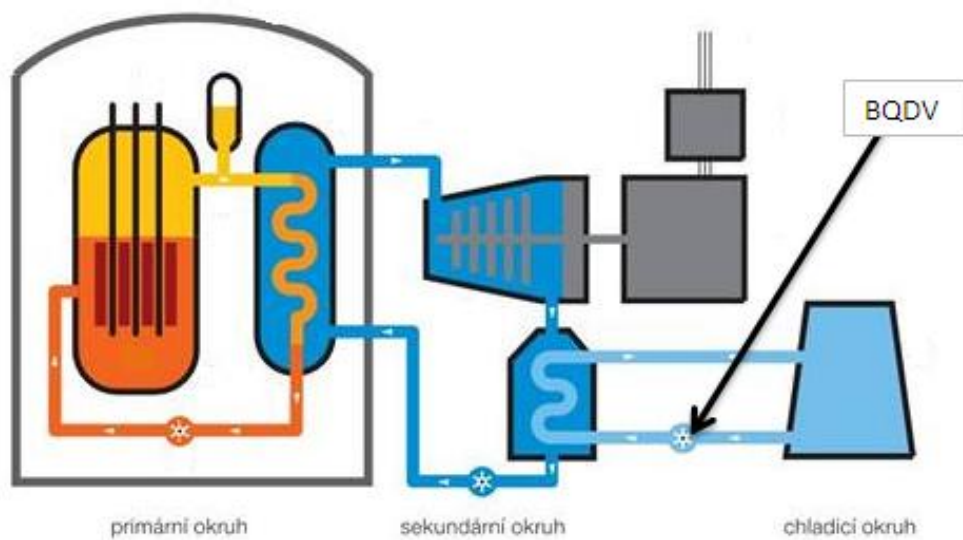
V principu jsou tepelná s jadernou elektrárnou stejné. Popisovat budu schéma jaderné elektrárny.

V primárním okruhu dodává tepelnou energii kapalině reaktor, v němž dochází ke štěpení jader atomů, jejichž vazby při rozdělení uvolní až 10^6 krát více energie než vazby chemické, uvolňované hořením. Proto jaderné elektrárny mají největší podíl na výrobě energie. Kapalina zachycuje kinetickou energii částic atomů, čímž se značně ohřívá a je přiváděna potrubím do parogenerátoru. Tam odvede teplo vodě a dále se nevyužívá, protože je radioaktivní a je vháněna hlavním cirkulačním čerpadlem zpět do reaktoru.

Parogenerátor je součástí sekundárního okruhu. Vodu o vysokém tlaku (nejvyšší 25 MPa) do něj tlačí napájecí čerpadlo. V parogenerátoru odebere voda teplo z primárního okruhu a změní se na přehřátou páru. Ta je dále vháněna na lopatky turbíny. Hřídel turbíny otáčející se 3000 ot/min je spojena s již zmiňovaným generátorem elektrického proudu, který odvádí vytvořenou energii do sítě.

Aby turbosoustrojí pracovalo s co nejvyšší účinností, tak se použitá pára pouští do kondenzátoru, kde je ochlazena. Tím zkondenzuje na vodu, čímž zmenší svůj objem a v uzavřeném systému zde vzniká podtlak. Turbína tedy pracuje s větším tlakovým spádem a její účinnost roste.

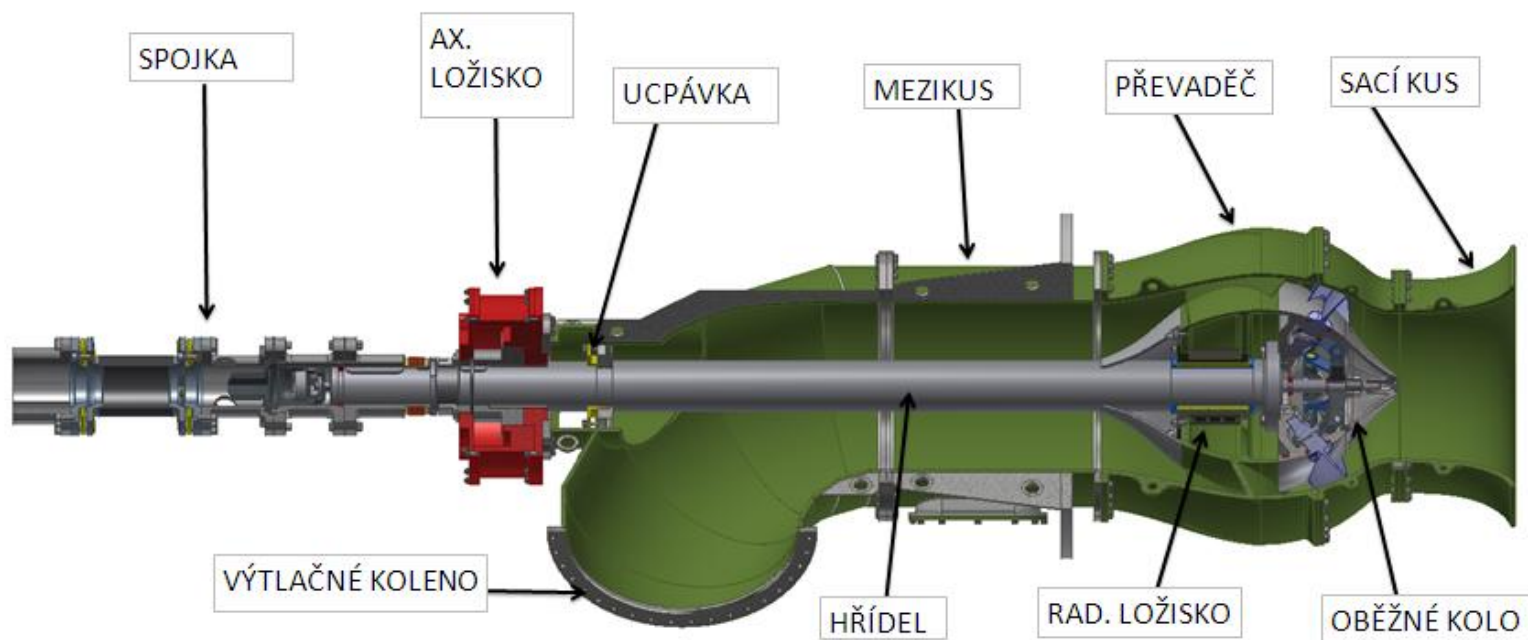
O chlazení ještě horké páry v kondenzátoru se stará chladicí (terciální) okruh. Právě tady má své místo čerpadlo (BQDV) s velkým průtokem a relativně velkou výtlačnou výškou. Vhání vodu do kondenzátoru, kde voda odebere zbytkové teplo páře a putuje do chladicích věží. Tam je vypouštěna do prostoru s atmosférickým tlakem. Padá z výšky do nádrže, kde ji čerpadlo znovu nasává. Při vypuštění do atmosférického tlaku se voda odpařuje a zároveň i proudem vzduchu je ochlazována. (5)



Obr. 10 – schéma jaderné elektrárny

zdroj: (5)

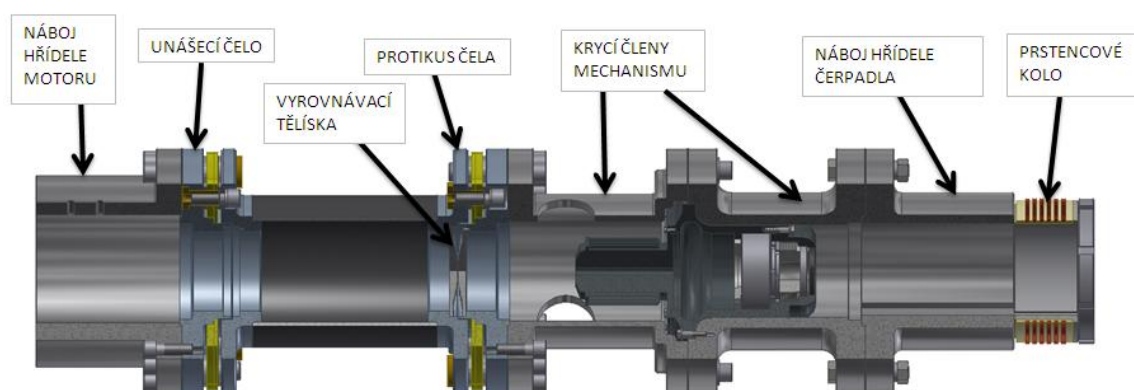
3 Praktická část



Obr. 11 – rozpiska čerpadla

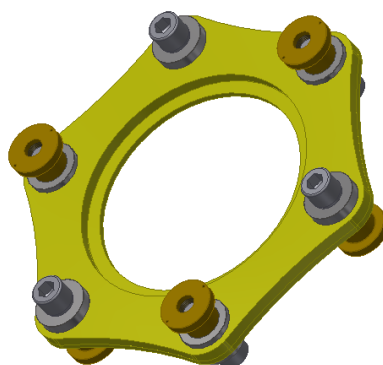
3.1 Spojka

Spojka přenáší krouticí moment elektromotoru na hřídel. Při montáži není nikdy možné dosáhnout dokonalé sousosti hřídele čerpadla a elektromotoru. Navíc při změnách teploty musí spojka pohlcovat i délkové roztažnosti materiálů. Spojka tudíž musí pohlcovat různé výchylky. Proto je nejvhodnější lamelová spojka, která je schopna pohlcovat délkové roztažnosti, nesousosti i úhlová vychýlení. U typu čerpadla s regulací za chodu je spojka upravená. Jsou jí přiděleny další části ukryvající pohybový mechanismus.



Obr. 12 – spojka

Jednotlivé části jsou pevně spojeny imbusovými šrouby velikosti M36. Největší průměr je pro všechny příruby stejný, a to o průměru 675mm. Celá sestava spojky váží bez mále 2,5 tuny. Přenos krouticího momentu je zajištěn v hřídelovém náboji čerpadla dvěma pery pootočenými vůči sobě o 180°. Hlavními členy spojky jsou lamely, které se pod zatížením deformují, a tím kompenzují zmiňované výchylky. Jsou složeny z mnoha vrstev tenkých plechů, které jsou spojeny k sobě v šesti bodech. Lamela tedy funguje jako listová pružina. Většina součástí je vyrobena z vysokopevnostní nerezové oceli třídy 17 xxx.



Obr. 13 – lamela s čepy

Každý druhý čep lamely je jedním koncem pevně spojen s unášecím čelem a druhý konec je nasunut do protikusu s vůlí, aby se mohl při zatížení pohybovat podle deformací lamely. Sestavy složené z lamely, unášče a protikusu jsou stejné na obou stranách kromě přidáných vyrovnávacích tělísek s proti sobě jdoucími tvary kulových vrchlíků, které jsou přišroubovány do spodního unášče a protikusu. Přidávají se do spojek, které jsou vertikálně uloženy. Tyto podsestavy jsou zrcadlově otočené a nalisované s přesahem na spojovací člen. Tím je jednoduchá trubka s přesně obrobeným vnitřním průměrem pro nalisování.

Na spodní konec jsou přišroubovány krycí členy pohybového mechanismu. Jsou rozděleny na dva z důvodu montáže servomotoru a převodovky. V horním jsou dvě okénka, která slouží pro kontrolu, údržbu nebo seřizování snímače polohy lopatek, nebo pro doplňování olejové náplně převodovky servomotoru.

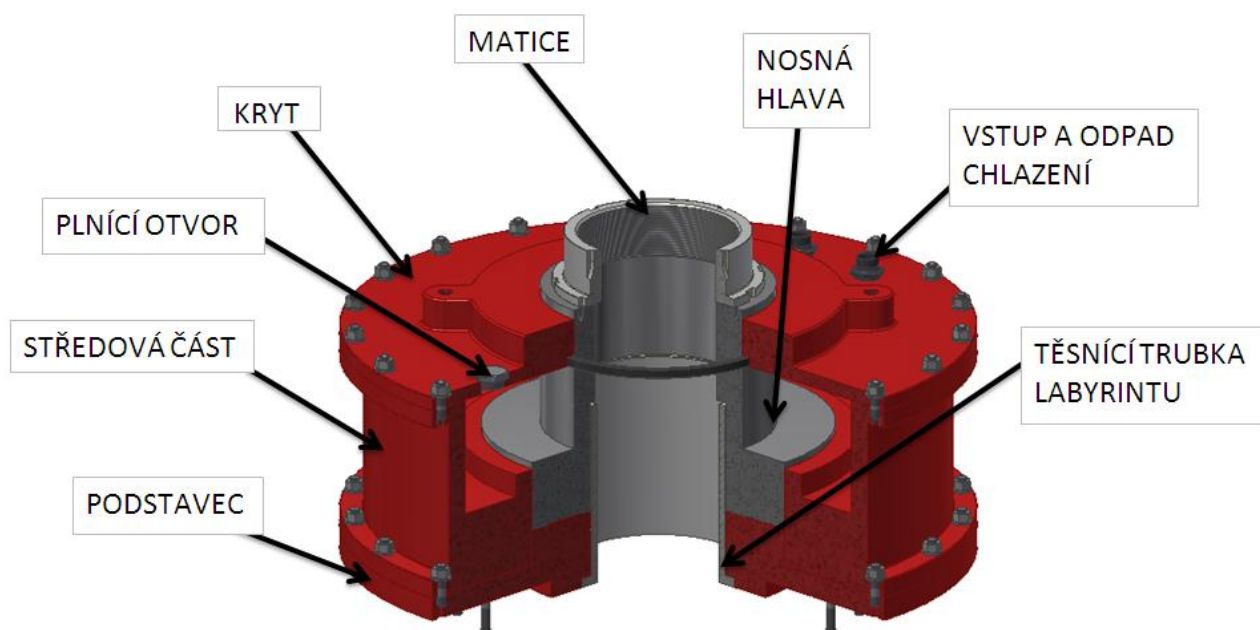
Spodní člen slouží jako nosič, je k němu přimontován pohybový mechanismus. Všechny následující příruby směrem dolů jsou provrtány jedním otvorem o průměru 25 mm, kterým vede elektroinstalace od snímače a motoru k prstencovému kolu.

Posledním členem spojky je náboj hřídele čerpadla, jehož průměr pro hřídel činí 335 mm. Je spojen s ostatními členy osmi lícovanými šrouby M36.

Jako součást spojky je i prstencové kolo, které přenáší elektrický proud z rotoru na stator pomocí uhlíkových elektrod umístěných na statoru. Prstence z měděné slitiny jsou zalité do plastové hmoty, která drží na ocelové základně, zajištění proti protočení je pomocí malého pera. Kolo je dotažené maticí s jemným závitem k čelu náboje. Náboj je zároveň tímto doražen na koncový kroužek, který je sešroubován ze dvou půlkroužků umístěných na konci hřídele, které zapadají do zápichu. Tak je dosaženo zajištění náboje proti axiálnímu pohybu.

3.2 Axiální ložisko

Slouží k zachycení axiální síly celého čerpadla, která vzniká tahem čerpadla, tlakem kapaliny na lopatky, a zároveň tíhou rotoru vážícího přes 10 tun. Je konstruováno jako hydrodynamické axiální i radiální. S pláštěm čerpadla je spojena závrtnými šrouby M22.



Obr. 14 – axiální ložisko

Všechnu tíhu přenáší na nosnou hlavu matice s trapézovým závitem TR 360 x 5 o délce 120 mm. Zajištěná proti pohybu je obdélníkovými podložkami, které jsou šrouby přimontovány k čelu nosné hlavy a zapadají zároveň do drážek v matici.

Hlavní částí je nosná hlava, která musí být dostatečně tuhá, aby se vlivem deformací nezpůsobovaly nerovnosti na kluzné ploše a nevedlo to k přidrání. Kluzná plocha musí být také co nejvíce kolmá na kluzné segmenty. Proti protočení v hřídeli při zvýšeném momentu je zajištěna perem.

Na horním krytu ložiska jsou otvory se závitem pro jeřábová oka, plnicí otvor pro nalévání oleje a vstupní a odpadní otvor pro chladicí vodu, která chladí provozem ohřátou olejovou náplň. Potrubí pro vstup chlazení je připojeno k výtlačnému kolenu čerpadla a odpadní potrubí vede do nádrže čerpané kapaliny, kde je nižší tlak. Tím je zajištěn oběh vody v ložisku.

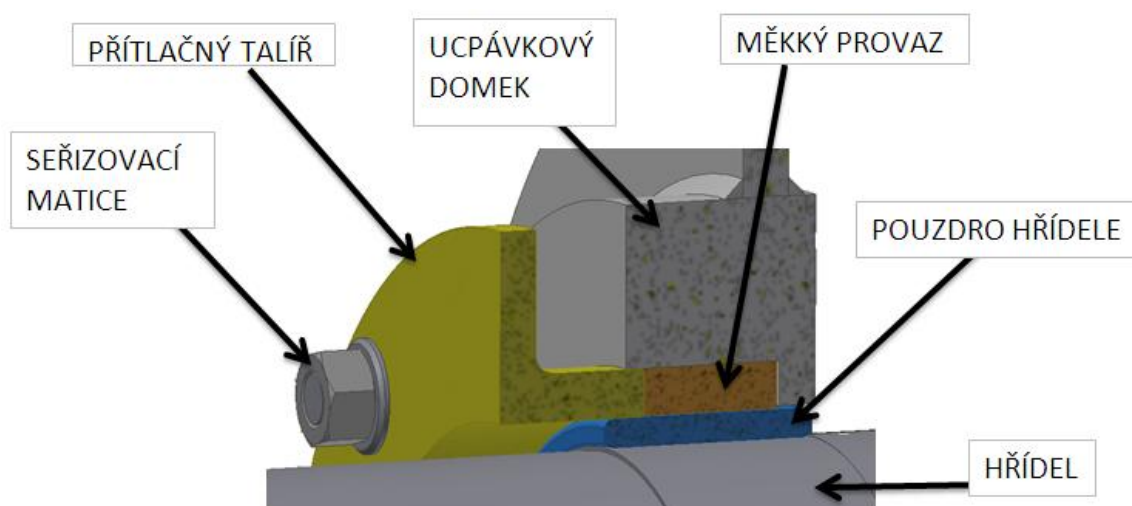
Ve středové části tělesa jsou zabudovány radiální segmenty, které udržují rotor v souososti. S krytem a podstavcem je spojena dvaceti šrouby M22.

K ložisku je přivedeno potrubí s tlakovým olejem, protože při rozběhu a doběhu čerpadla ložisko pracuje jako hydrostatické. Olej do něj musíme přivádět z vnějšího zdroje až do chvíle, kdy se čerpadlo roztočí natolik, že ložisko již pracuje jako hydrodynamické.

Podstavec nese axiální zatížení, jsou na něm přeplněny naklápěcí segmenty. Těsnost tělesa je zajištěna pomocí labyrintu vytvořeného v nosné hlavě a těsnicí trubkou, která je zesponu připevněna k podstavci. Vrchní část je utěsněna pomocí gufera.

3.3 Ucpávka

U tohoto čerpadla je konstruovaná jako měkká. Její konstrukce je tudíž jednoduchá a nenáročná na výrobu.



Obr. 15 – ucpávka

Ucpávkový domek je součástí svařence výtlačného kolena. Jeho nejmenší průměr je o málo větší než průměr pouzdra.

Pouzdro je z chromové oceli s jemně broušeným povrchem pro lepší těsnost. Je nalisováno s přesahem na hřídel, na které je malé osazení.

Grafitový provaz čtvercového průřezu dotlačí přítlačný talíř se čtyřmi otvory pro průchod závrtných šroubů. Seřizovací matice utahujeme stejnoměrně, aby se talíř nekřížil a ucpávka fungovala správně.

3.4 Hřídel

Jádrem čerpadla je 6,5 metru dlouhá hřídel o průměru 348 mm na konci s osazením na průměr 620 mm pro připojení oběžného kola. Z tohoto důvodu je hřídel technologicky vytvořená jako výkovek z ušlechtilé uhlíkové oceli. Skrz celou hřídel je vyvrtán otvor průměru 100 mm sloužící pro průchod táhla regulace lopatek oběžného kola.

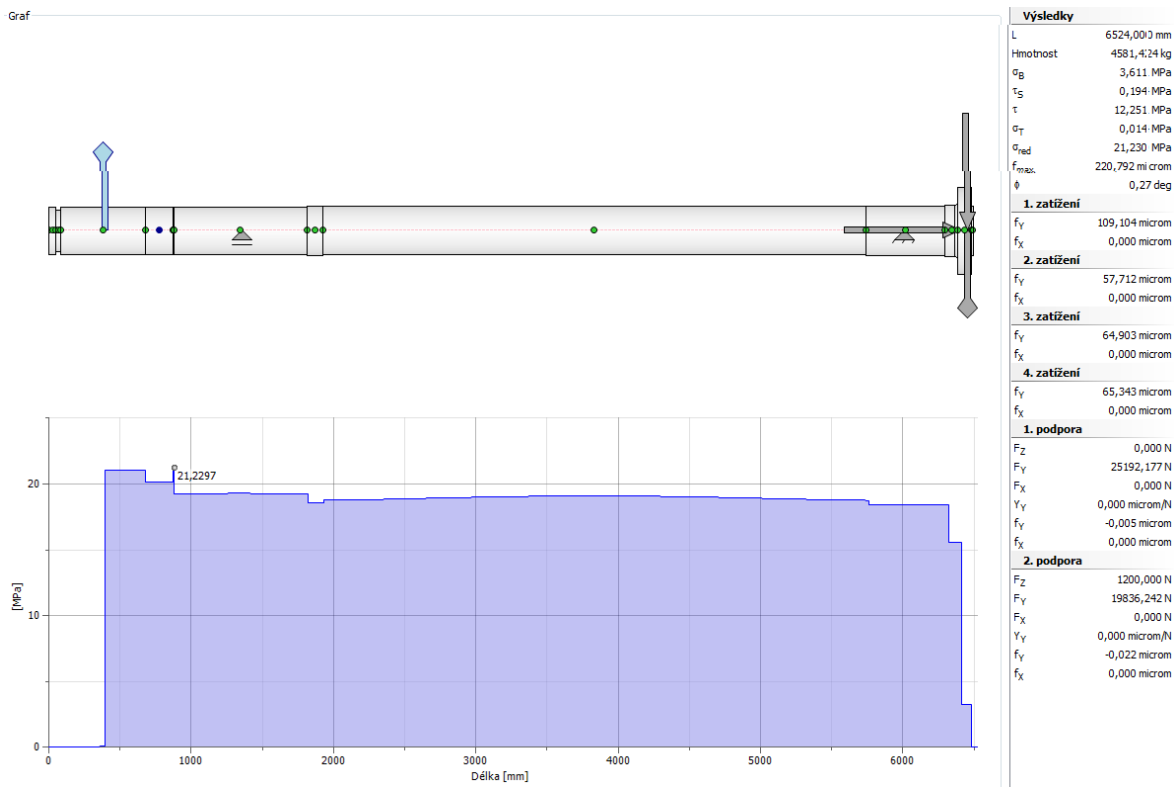


Obr. 16 – hřídel

Hřídel přenáší krouticí moment kolem 54000 Nm, podle nastavení úhlu lopatek. Oběžné kolo je proto uchyceno k hřídeli osmi šrouby M48 a zakolíkáváno čtyřmi speciálními kolíky s těsnicími kroužky pro utěsnění oleje v oběžném kole.

Obrábění takto rozměrné hřídele (soustružení, broušení, vrtání) trvá kolem 250 strojních hodin. Z toho speciální je vrtání díry dlouhé 6,5 metru, které provádí společnost Vítkovice Heavy Machinery. V otvoru hřídele jsou navíc z každé strany ještě po jednom broušeném osazení, která slouží pro uložení kluzáků táhla.

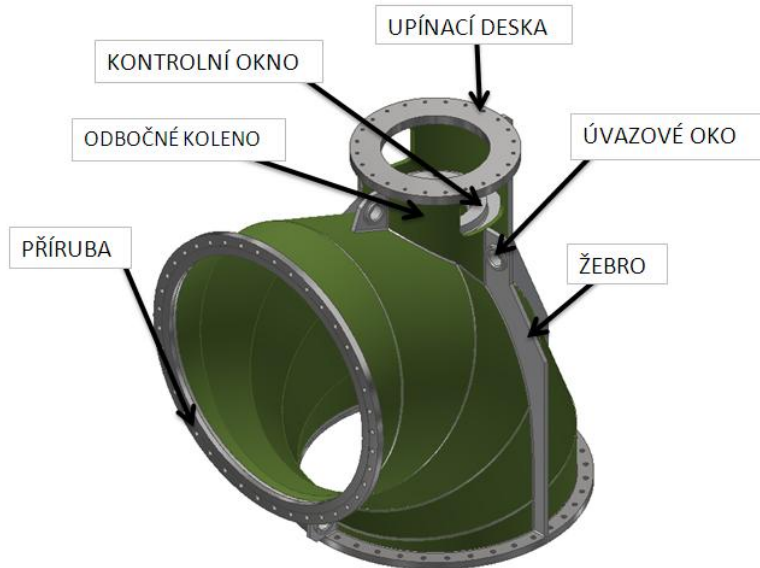
V Inventoru pomocí Design Accelerator jsem zadal hodnoty zatížení a definoval podpory. Výsledek výpočtu je znázorněn redukováným napětím jehož hodnota dosahuje maxima 21 MPa.



Obr. 17 – redukované napětí

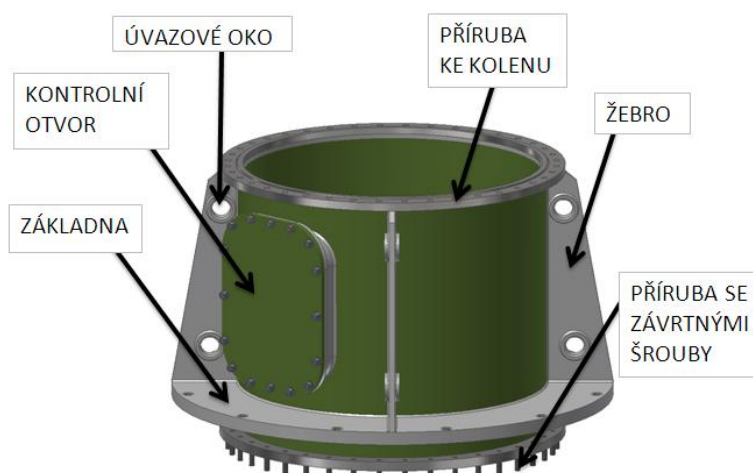
3.5 Výtlačné koleno

Slouží k připojení čerpadla do odváděcího potrubí, tudíž odklání proud čerpané kapaliny od směru souběžného s osou hřídele. Je konstrukčně řešeno jako svařenec z několika dílů z manganové oceli, ale dříve mohlo být řešeno i jako odlitek. Hlavní spodní příruba má 40 děr pro průchozí šrouby se závitem M30, těmito šrouby je pevně smontována s mezikusem, příruba pro připojení potrubí má díry pro šrouby M33 a je utěsněná plochým těsněním, kdežto ostatní příruby jsou utěsněny o-kroužky. Vypálením kruhu v ose hřídele do již svařeného kolena vznikne otvor pro přivaření odbočného kolena s ucpávkou a upínací deskou axiálního ložiska. Do boku odbočného kolena jsou vypálena ještě dvě okna, která slouží k přístupu náradí k seřizování ucpávky a ke kontrole těsnosti, popřípadě výměně ucpávkové šňůry. Celé těleso utužuje pět podpěrných žeber, která přenáší zachycenou axiální sílu z ložiska do podstavce tělesa. Do žeber jsou přivařena oka k provlečení lan jeřábů při montáži čerpadla.



Obr. 18 – výtlačné koleno

3.6 Mezikus



Obr. 19 – mezikus

Je na něj přivařena základová deska, která se dvanácti kotvicími šrouby připevní do podlaží čerpací stanice. K základové desce jsou přivařena rovněž čtyři žebra, která osově navazují na žebra kolena tak, aby zachycení sil bylo rovnoměrné. Žebra mezikusu i kolena jsou výpalky z 30 mm plechu.

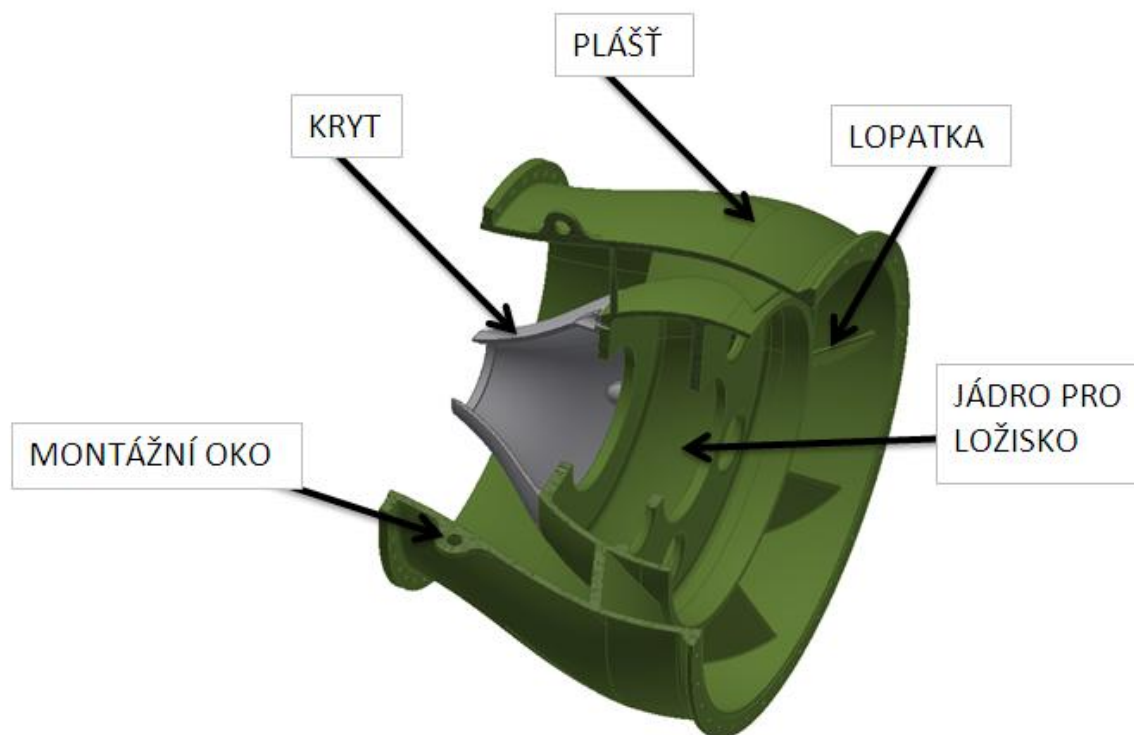
Horní příruba má vysoustružená zápich pro těsnicí kroužek a má 6 mm osazení, které zapadá do příruby výtlačného kolena, což zajišťuje souosost obou dílů.

Do spodní příruby je zamontováno 40 závrtných šroubů. Je to z toho důvodu, jelikož při usazení do podlaží mezi stěnou podlaží a přírubou vznikne příliš malý prostor pro manipulaci s obyčejnými šrouby a montáž by byla časově náročná.

Do tělesa je vsazeno ještě kontrolní víko o rozměrech 800 x 600mm pro průchod člověka. Utěsněn je na přírubách plochým gumovým těsněním.

3.7 Převaděč

Je řešen jako odlitek ze šedé litiny, která dobře pohlcuje vibrace a zároveň je dostatečně pevná a tvrdá. Převaděč má devět lopatek opačně směřovaných než oběžné kolo. Tím převádí část kinetické energie kapaliny na tlakovou a zároveň usměrňuje proud kapaliny do axiálního směru.

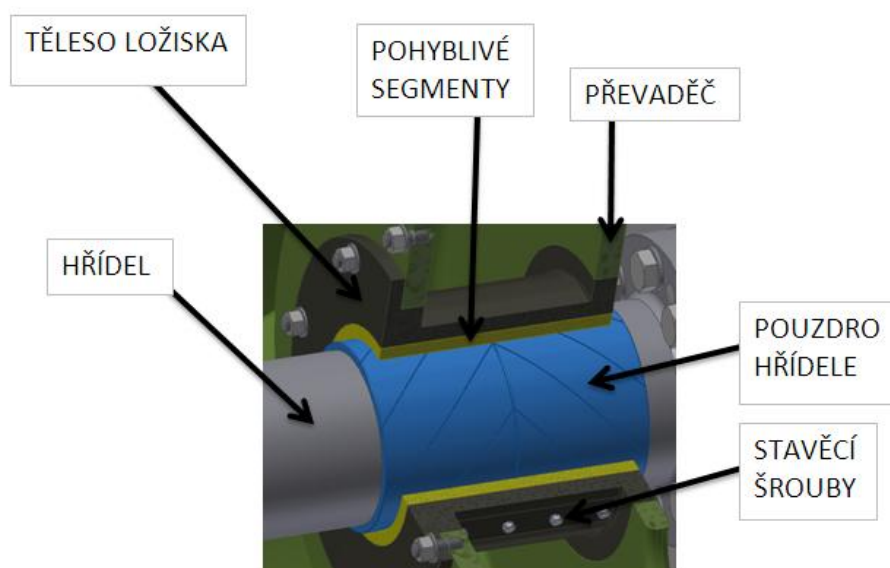


Obr. 20 – převaděč

Uvnitř převaděče doplňuje aerodynamický tvar kapky kryt, který je spojen závrtnými šrouby s tělesem. Tento tvar jádra spolu s vnějším pláštěm tvoří tvar kanálu, kterým proudí kapalina. Má však ještě funkci nosné konstrukce hydrodynamického ložiska. Toto ložisko musí být chlazeno a mazáno, to zajišťuje tlakový rozdíl mezi spárami, kterými k ložisku proudí kapalina. V místě, kde je spára mezi krytem a hřídelí, je vyšší tlak, než ve spáře mezi oběžným kolem a jádrem převaděče. Je to i v důsledku rozdílné rychlosti dané menším průřezem kanálu.

Plášť má na sobě čtyři nálitky s oky pro montáž.

3.8 Radiální ložisko



Obr. 21 – radiální ložisko

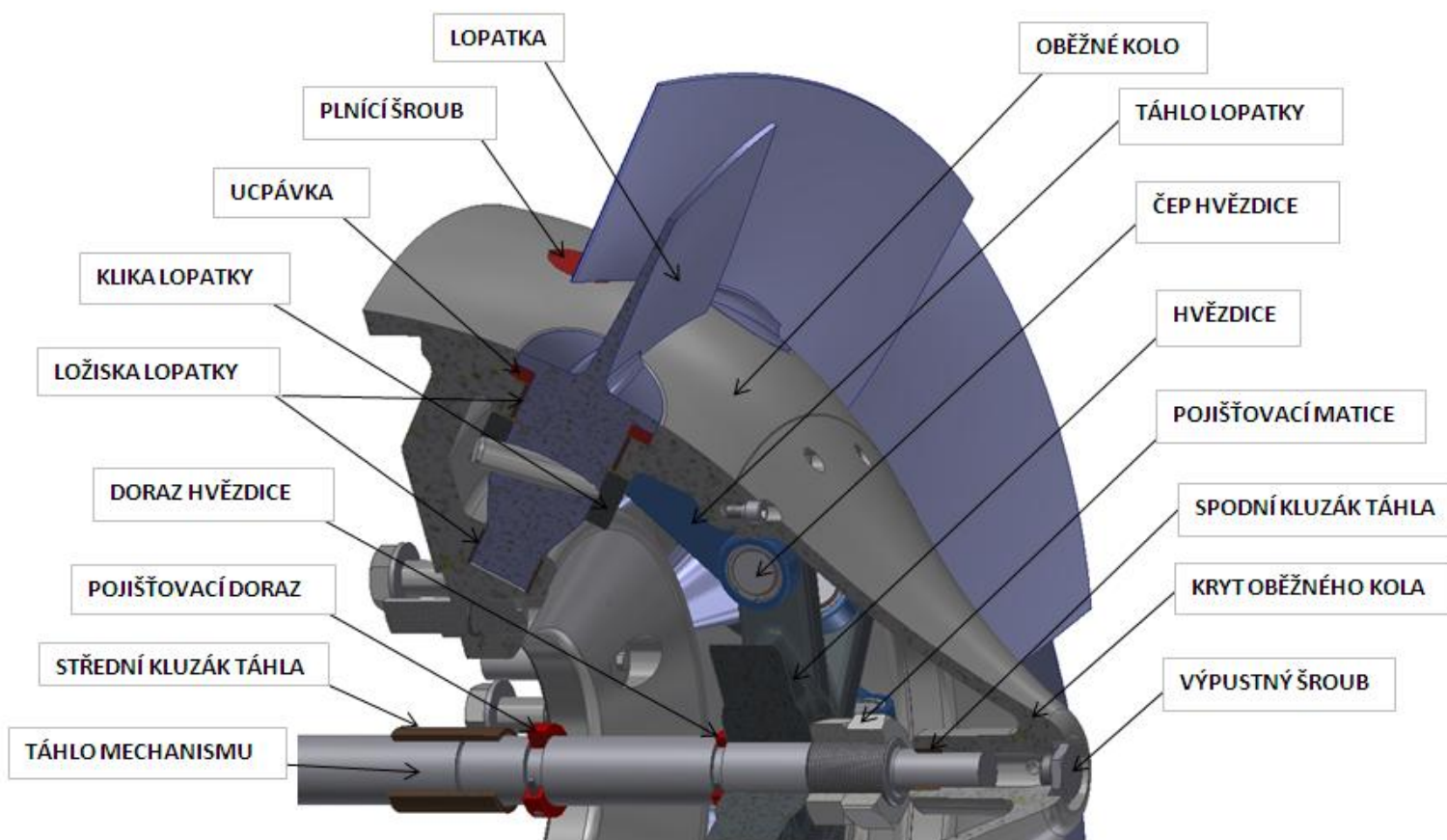
Těleso ložiska je odlitek z šedé litiny a je do převaděče vložen s malou vůlí. Je to hydrodynamické ložisko mazáno vodou, segmenty jsou pohyblivé a pogumované speciální gumou. Jsou uloženy bodově, každý segment je na čtyřech šroubech zakončených kuličkou z tvrdokovu, kolem nichž se naklápí. Segmenty se tudíž seřizují při montáži, tím se vyrovnají nepřesnosti uložení velkých dílů. Seřízení se provádí jednoduše podkládáním přesných plechových plíšků pod hlavy šroubů.

Pouzdra hřídele mají na sobě šroubovitě drážky, které při provozu čerpadla prohánějí kapalinu v kluzném prostoru. Jsou v polovině rozdělená, rozlišují se na pravý a levý kus.

3.9 Oběžné kolo

Je to hlavní a nejsložitější součást na montáž v čerpadle. Oběžné kolo je odlitek z nerezové oceli, je v něm vyvrtáno osm otvorů odkloněných od osy o 56° pro natáčivé lopatky. Čerpadlo je tedy spíše teoreticky charakterizováno pro větší průtoky. Vnější tvar oběžného kola je kulový, stejně jako část vnitřního pláště v převaděči a kulové vložky, aby se mohly lopatky neomezeně natáčet. Uvnitř kola je dutina, do které je vložen pohybový mechanismus skládající se z táhel, čepů a kloubů. Na čele oběžného kola je vysoustružena rybinová drážka pro přestavování vyvažovacích tělísek. Ta jsou zde proto, aby bylo vyvažování takto rozměrné součásti s vkládanými prvky snazší. Tělíska se vkládají do drážky dvěma proti sobě vyfrézovanými otvory. Utáhnutím šroubku se tělísko rozepře od stěny a pevně se ustaví v drážce. Oběžné kolo je k hřídeli vystředěno čtyřmi speciálními

kolíky, které jsou přimontované zevnitř pomocí závitu, aby nevypadly. Každá má navíc drážku s těsnicím kroužkem.



Obr. 22 – oběžné kolo s mechanismem

Celá dutina musí být zalita olejem, protože při provozu by se poloviční náplň oleje odstředila ke stěnám a klouby by nebyly mazány. Náplň se vyměňuje pomocí plnicího šroubu, který je uschován pod krytkou a výpustným šroubem na dně krytu oběžného kola.

V krytu oběžného kola je taky kluzák táhla, které zde končí. Střední kluzák je nalisován do hlavního hřídele. Kryt je s oběžným kolem utěsněn těsnicím kroužkem a je připevněn pomocí šestnácti šroubů.

Táhlo je 7304 mm dlouhé. První zápich odspodu slouží pro doraz hvězdice, který je sešroubovaný ze dvou půlkruhů stejně jako pojišťovací doraz. Ten je zde pro případ, když by se servopohon včas nezastavil, aby se lopatky nesrazily svými náběžnými hranami. Doraz se zastaví o konec hlavního hřídele. Ve třetím zápichu je těsnicí kroužek, který se pohybuje v kluzáku.

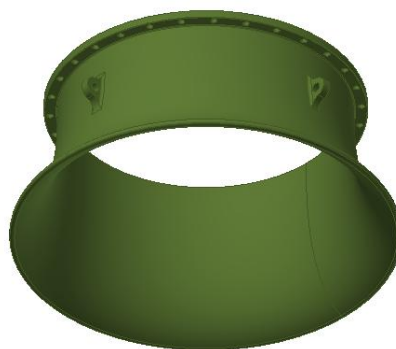
Hvězdice je dotažená ke svému dorazu maticí a ta je pojištěna kontramaticí. Od pohybového šroubu na druhém konci táhla vzniká krouticí moment, který je perem

přenášen do hvězdice. Nárůst momentu také vyvolávají táhla, která tlačí pod úhlem na kliky lopatek. Tyto momenty zachycují čtyři aretace, ve kterých se hvězda posouvá. Na každém z osmi paprsků je čep, na kterém drží táhla. Kvůli pohybu, který neprobíhá jen kolem jedné osy, nelze použít válcová ložiska, ale musí se použít soudečkové klouby. Tyto klouby umožňují otáčení kolem své osy i naklánění od osy.

Stejným způsobem je tomu tak i na klice lopatky. Do kliky je zasunut čep s táhlem a zajištěn kolíkem, stejně jako celá klika je zajištěna na lopatce. Samotný čep s táhlem je od osy lopatky odkloněn tak, aby se vlezl do dutiny oběžného kola.

Lopatka je uložena ve dvou kluzných ložiscích z bronzové slitiny a proti vypadnutí ji drží klika, která se opírá čelem o náliček v oběžném kole. Spára mezi lopatkou a vnějším pláštěm oběžného kola je korigována podkládáním přesných podložek pod čelo kliky. Každá lopatka má svoji mechanickou ucpávku, která brání proti vytékání oleje z prostoru. Lopatka je nerezový odlitek, který se následně obrábí. Pro obrobení musíme nejprve nalézt osu lopatky. To se provádí na přípravku mezi hroty, kdy upneme lopatku za dva body a následně měříme podle výkresu vzdálenosti určitých bodů na lopatce. Pokud není tvar podle výkresu v rozmezí, posouvá se lopatka mezi hroty do té doby, než je tvar co nejpřesnější. Dále se obrábí mezi hroty válcová část. Tvar lopatky u tohoto čerpadla je vrtulový.

3.10 Sací kus



Obr. 23 – sací kus

Může mít dvoje provedení. U varianty do suché jímky je vyroben z plechu a má navíc speciální přírubu, kterou vystředí polohu čerpadla vůči otvoru zabudovanému v podlaží. Zároveň těsní. U provedení do mokré jímky má za úkol usměrňovat proud tak, aby se tvořily turbulence a víry v kapalině co nejméně a proud vody tak vstupoval na lopatky oběžného kola hladce.

3.11 Servopohon

Slouží k posuvu táhla, a tím vyvolaného naklápění lopatek. Pohání ho elektromotor o výkonu 2,2 Kw. Hřídel je spojena s planetovou převodovkou a ta je připojena na pohybovou matici s trapézovým závitem TR 70x4. Vše je smontováno jako jedno těleso a vloženo do upravené spojky.



Obr. 24 - servopohon

3.12 Výkon elektromotoru

K napájení tohoto čerpadla už z parametrů průtoku a výtlačné výšky je jasné, že bude zapotřebí velkého výkonu.

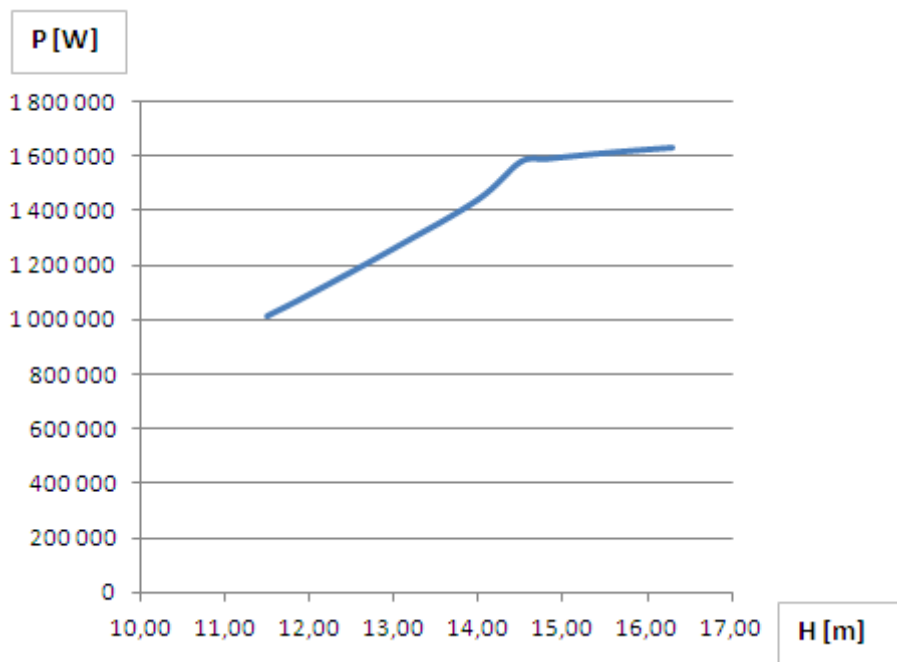
Při výpočtu jsem vycházel ze vzorce

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H = \overset{[V]}{[W]}$$

Kde ρ je hustota kapaliny 1000 kg/m³

g je gravitační zrychlení 9,81 m/s²

V excelu jsem vytvořil graf průběhu výkonu při různém natočení lopatek.



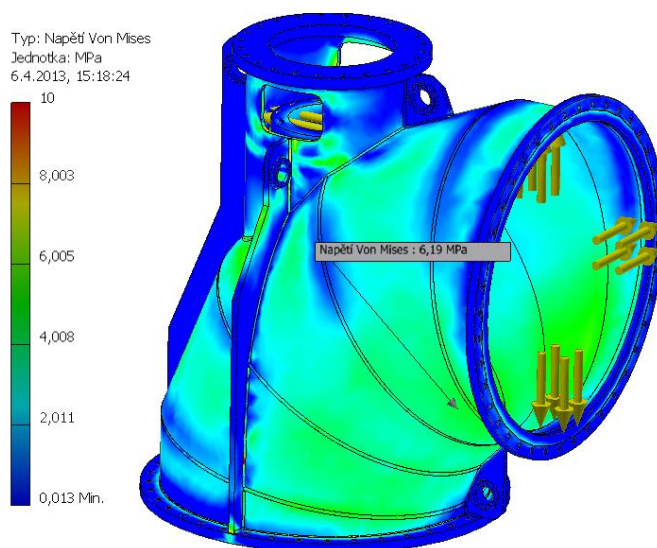
Obr. 25 – výkon

Zjištěný nejvyšší příkon čerpadla je 1,63 MW při výtlačné výšce 16,3 m a průtoku $10,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Z toho výkon motoru musí být větší o celkové ztráty.

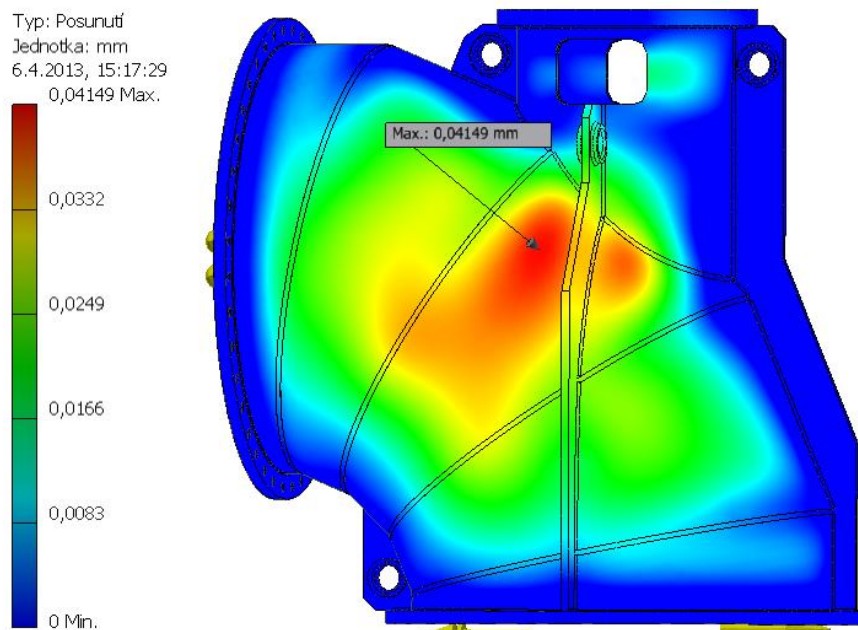
3.13 Tlaková analýza

V programu Inventor jsem analyzoval vybrané části pláště při přetlaku 0,15 MPa. Výsledky jsou znázorněny posunutím v μm a vnitřním napětím v MPa

Výtlačné koleno



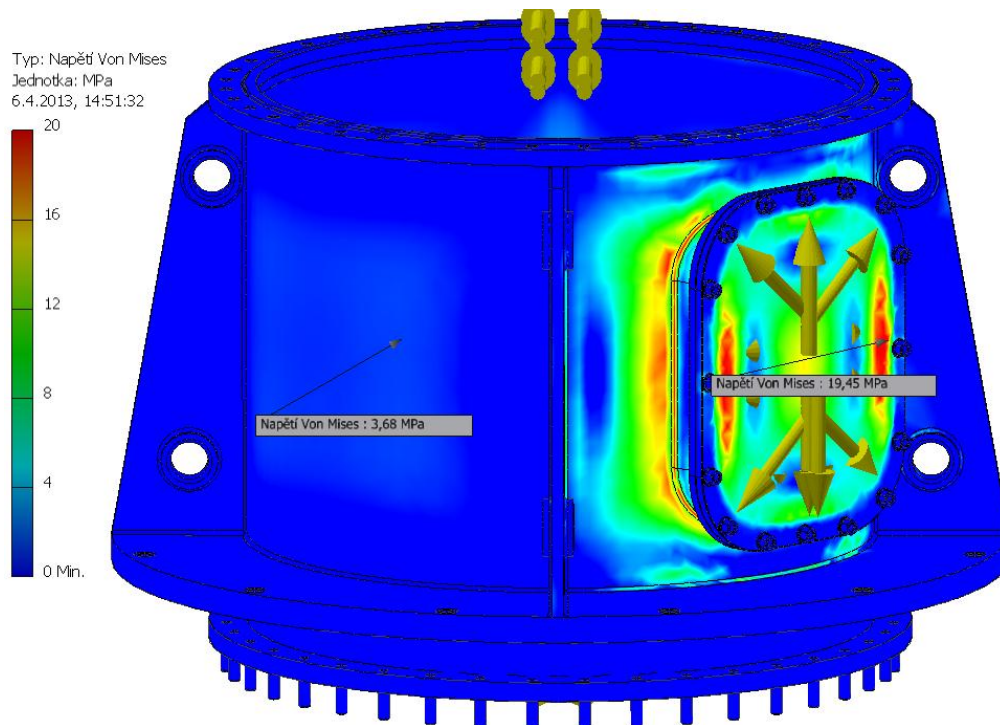
Obr. 26 – napětí u výtlačného kolena



Obr. 27 – posunutí plochy u výtlačného kolena

Bylo zjištěno maximální napětí 6,2 MPa, což je vyhovující a posunutí 0,041 mm v znázorněné oblasti.

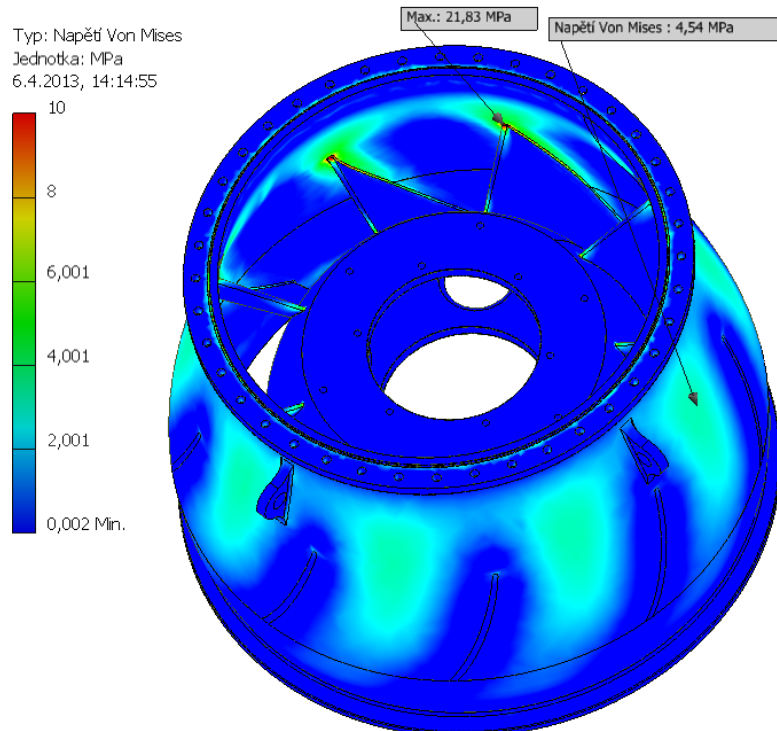
Mezikus



Obr. 28 – napětí v mezikusu

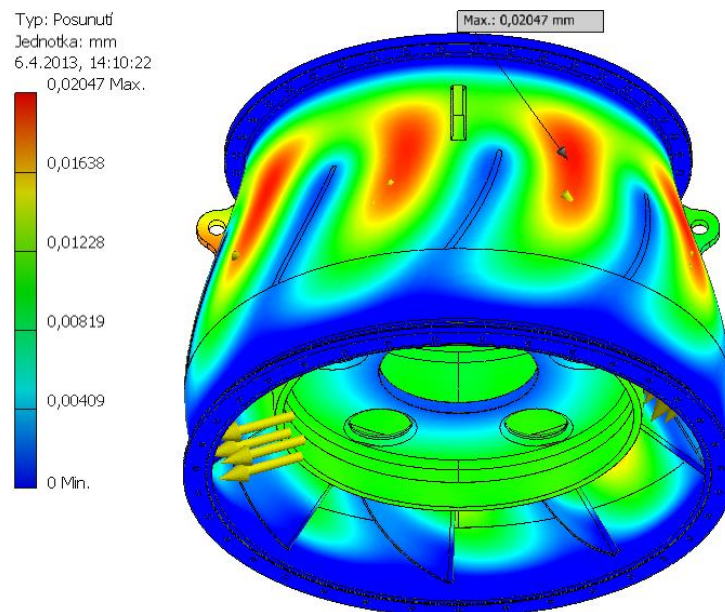
V oblasti víka se projevilo větší napětí vznikající z deformace rovinné části poklopu v únosné výši 19,45 MPa.

Převaděč



Obr. 29 – napětí v převaděči

Vzniká zde větší napětí na konci lopatky směrem z převaděče, to je dáno vlivem tlaku na lopatku, která klade odpor proudu kapaliny, a také protože směrem výš má kapalina vyšší tlak, tím více tlačí na plášť převaděče a ten se prohýbá. Tyto deformace a tlaky nejvíce zachycuje rádius v rohu lopatky, kde vzniká napětí 21,8 MPa.



Obr. 30 – znázornění deformace převaděče

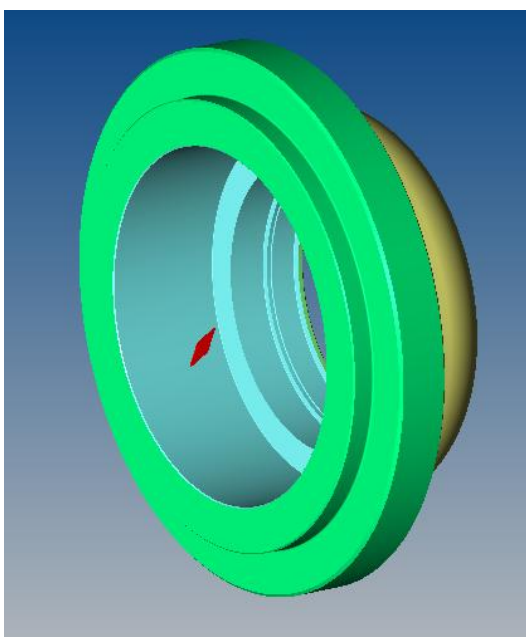
Maximum deformace je 0,02 mm.

3.14 Montáž

Protože je čerpadlo velice rozměrné, nepřipadá v úvahu jakákoliv porucha zjištěná až při finální montáži na místě. Proto se čerpadlo nejprve smontuje ve firmě a odzkouší na zkušebně. Následně se zase rozmontuje, jednotlivé díly se očíslovají tak jak mají jít po sobě při montáži, a odvezou se na konečnou externí montáž. Montáž se pak provádí na podlaze čerpací stanice a čerpadlo se pak spustí do nádrže. Začíná se od spodu, takže se nejprve smontuje oběžné kolo a hřídel, pak se postupně nasouvají další díly. Všechny těsnicí plochy se musí řádně očistit od nečistot. Příruby se spojí postupným utahováním matic tak, že každá další matice se utahuje naproti té předchozí, aby nedošlo ke kroucení příruby a následným netěsnostem. Po převaděči se nasune radiální ložisko. Po smontování pláště s ucpávkou se čerpadlo zavěsí vertikálně do nádrže a následně se k němu přimontuje axiální ložisko. Otáčením hřídele se kontroluje obvodové házení hřídele. Dotažením matice axiálního ložiska se vymezí spára mezi oběžným kolem a převaděčem na 0,5 mm. Nasadí se náboj hřídele s prstencovým kolem a dotáhne menší maticí. Předposlední je smontování spojky a nasazení motoru na spojku. Motor je usazen ve svém vlastním patře.

3.15 Technologická část

V programu SurfCAM jsem soustružil víko servopohonu z polotovaru o rozměrech Ø360 – 130 mm. Materiál C45 (1.0503). Po nastavení konstrukční roviny jsem ohruboval čelo. Následovalo vrtání otvoru o průměru 40 mm vrtací tyčí. Tento průměr slouží ke vstupu vnitřního soustružnického nože. Další operací je podélné soustružení první kontury s rámcem R40. Poté se čelně soustruží nejmenší průměr víka. Po otočení obrobku jsem ohruboval čelo a soustružil podélně plochy, které dosedají k převodovce. Po této operaci jsem ohruboval vnitřní konturu a následně soustružil na čisto funkční plochy pro ložisko a gufero.



Obr. 31 – soustružení SurfCAM

3.16 Ekonomické zhodnocení

Nyní budu hodnotit cenu výroby víka servopohonu, když použiju jako polotovary k soustružení odlitek nebo normalizovaný polotovar.

Polotovar : $\text{Ø}360 - 130 \text{ mm}$ C45 (1.0503.0) DIN 7527-6

cena za 1 m = 35 164,- Kč

cena za 1 kus = 4 571,- Kč

cena 1 hodiny soustružení na CNC stroji = 1700,- Kč

strojní čas = 9,5 h

čas na přípravu = 1,5 h

celkový čas = 11 h

cena za soustružení = $11 \times 1700 = 18\,700,-$ Kč

celková cena = 23 271,- Kč

Polotovar : odlitek – 44 Kg

Cena za 1Kg odlitku = 130,-Kč

Cena odlitku = $130 \times 44 = 5\,720,-$ Kč

Strojní čas = 2,5 h

Čas na přípravu = 1,5 h

Celkový čas = 4 h

Cena za soustružení = $4 \times 1700 = 6\,800,-$ Kč

Celková cena = 12 520 ,- Kč

Výroba vika z odlitku je o 10 751,- Kč levnější.

SURFCAM		OPERATIONS LIST									
Date:		Wed Apr 24 2013									
Time:		12:29:57									
Output Filename:		soustružení vika.INC									
Tool Number	Turret	Spindle	Operation	Plunge Rate	Feed Rate	Spindle Speed	Min Z	Min X	Max Z	Max X	Cycle Time
84	-	-	Vrtání při soustružení	-	175.07 mm/min	175 ot/min	-24.0000	-0.0000	140.0000	-0.0000	0:1:41
97	Přední	Hlavní	Soustružení HrubČela	1313.025	2626.05 mm/min	17507 ot/min	127.0000	0.0000	139.0000	360.0000	0:0:6
97	Přední	Hlavní	Soustružení	6.350	12.70 mm/min	48 ot/min	50.0000	177.6000	134.0000	370.4000	3:45:7
93	Přední	Hlavní	Soustružení čelní	6.350	12.70 mm/min	48 ot/min	121.0000	2.4000	144.0000	360.0000	0:37:6
84	Přední	Hlavní	Soustružení HrubČela	6.350	12.70 mm/min	48 ot/min	-5.0000	0.0000	2.0000	370.0000	0:14:59
84	Přední	Hlavní	Soustružení	6.350	12.70 mm/min	48 ot/min	-5.0000	287.2971	52.2455	370.0000	0:41:12
1	Přední	Hlavní	Soustružení	6.350	12.70 mm/min	89 ot/min	-1.5169	-10.0000	123.0000	231.6000	3:51:9
1	Přední	Hlavní	Soustružení	6.350	12.70 mm/min	89 ot/min	-1.5169	-10.0000	123.0000	232.0000	0:12:44
Overall							-24.0000	-10.0000	144.0000	370.4000	9:24:8
Operation Number	Tool Number	Comments									
1	84	Operation Comments:		-							
		Tool Comments:		40mm Boring Head							
2	97	Operation Comments:		-							
		Tool Comments:		CNMG643B 1.2mm OD Face/Turn							
2	97	Operation Comments:		-							
		Tool Comments:		CNMG643B 1.2mm OD Face/Turn							
3	97	Operation Comments:		-							
		Tool Comments:		CNMG643B 1.2mm OD Face/Turn							
4	93	Operation Comments:		-							
		Tool Comments:		CNMG433B 1.2mm ID Face/Turn							
5	84	Operation Comments:		-							
		Tool Comments:		CNMG433B 1.2mm OD BackFace/Turn							
6	84	Operation Comments:		-							
		Tool Comments:		CNMG433B 1.2mm OD BackFace/Turn							
7	1	Operation Comments:		-							
		Tool Comments:		VNMG432B 0.4mm ID BackFace/Turn							
8	1	Operation Comments:		-							
		Tool Comments:		VNMG432B 0.4mm ID BackFace/Turn							

Obr. 32 – list operací

4 Závěr

Cílem mojí práce bylo vytvořit 3D model čerpadla a zpracovat textovou část problematiky čerpadla. Vytváření modelu bylo velice náročné a zdlouhavé. Největší problém bylo pochopit, jak pracuje mechanismus natáčení lopatek, se kterým jsem se nikdy nesetkal, a určit jeho rozměry tak, aby se vše spasovalo do oběžného kola.

V teoretické části jsem se věnoval problematice čerpadel, jejich členění a dále jsem se zabýval jen odstředivými čerpadly, jejich ztrátám, sériovému a paralelnímu zapojení do systému a regulaci čerpacího systému. Pátá kapitola pojednává o hydrodynamických ložiscích, jejichž princip jsem pochopil díky psaní této práce.

V druhé části jsem na začátku popsal jednotlivé díly čerpadla. Dále jsem se věnoval každé dílčí součásti, kterou jsem podrobně popsal. Čerpadlo BQDV je zajímavé nejen svou konstrukcí, ale i parametry, kterých dosahuje. Slouží v terciálním okruhu jaderných elektráren, kde vhání chladicí vodu do kondenzátorů páry a následně do chladicích věží.

V projektu jsem se seznámil s problematikou čerpadel i jejich úskalím. Informace jsem získal především od pana Ing. Houště, z knih a technické dokumentace. Tato problematika mě zajímá a chtěl bych se jí věnovat i nadále.

Celkově pro mě tato práce byla obrovským přínosem v oblasti ovládnutí programu Inventor a psaní odborných prací. Zlepšil jsem se ve schopnosti vyhledávat informace, analyzovat je a využívat při psaní odborné práce.

U obrázků, u nichž není uveden zdroj, jsou mé vlastní.

Anotace

Příjmení a jméno	Rostislav Loníček
Škola	SPŠ strojnická, Olomouc, tř. 17. Listopadu 49
Název práce	Čerpadlo
Vedoucí práce	Ing. Vladimír Houšť
Počet stran	42
Počet příloh	4
Počet titulů použité literatury a zdrojů	9
Klíčová slova	čerpadlo, lopatka, kavitace, ložisko, spojka, převaděč, oběžné kolo, ucpávka, regulace, konstrukce čerpadla, zapojení čerpadel, servomotor

Cílem práce bylo vytvoření 3D modelu čerpadla. Ten jsem vytvořil v programu Inventor a provedl jsem tlakovou analýzu pláště čerpadla. Další cílem bylo zpracovat zprávu. Ta se dělí na dvě části. V praktické části jsem pojmenoval a popsal většinu dílů čerpadla. V teoretické části jsem se zaměřil na problematiku čerpání vody zejména v chladicím okruhu elektráren, pomocí čerpadla BQDV sloužícího nejvíce právě v jaderné energetice, kde vhání ohlazenou vodu z chladících věží do kondenzátoru páry. Dalším cílem bylo naprogramování obrábění v programu SurfCAM, v němž jsem soustružil víko servopohonu.

Resumé

Objectiv of this work was the creation of 3D model. The model i made in Inventor. I made a pressure analysis of pipeline and i wrote this report. The report is divide to the two parts. In the second part i named and describe some part of the pump. In the project i learned about problems with water pumping in cooling circuit of power plants. BQDV is using in nuclear power plants where it is pumping cool water to a capacitors of vapor.

Seznam literatury a dalších zdrojů

1. **Blejchař, Tomáš.** *Čerpací technika a potrubí, návody do cvičení.* Ostrava : VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2010. ISBN 978-80-248-2205-1.
2. **Janalík, Jaroslav.** Studium:Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení. *Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení.* [Online] 2008. [Citace: 5. leden 2013.] www.338.vsb.cz/PDF/Janalik-HYDRODYNAMIKA-A-HYDRODYNAMICKÉ-STROJE.pdf. ISBN neudáno.
3. **Brendel, Hors.** *Tribotechnika.* Leipzig : Fachbuchverlag, 1978. ISBN neudáno.
4. věda a vesmír: technet.cz. *tecnet.cz.* [Online] 1. říjen 2007. [Citace: 8. leden 2013.] www.technet.idnes.cz/exkluzivni-fotoreportaz-z-modernizace-jaderne-elektrarny-temelin-1fb-/tec_reportaze.aspx?c=A070827_101055_tec_reportaze_rja. ISBN neudáno.
5. **Leinveber, Jan a Vávra, Pavel.** *Strojnické tabulky.* Úvaly : Albra - pedagogické nakladatelství, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
6. **Paciga, Alexander.** *Projektovanie zariadení čerpacej techniky.* Bratislava : Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1967. ISBN neudáno.
7. **Melichar, Jan a Bláha, Jaroslav.** *Problémy soudobé čerpací techniky.* Praha : ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03917-5.
8. **Krouza, Vojtěch.** *Čerpadla odstředivá a jim příbuzná.* Praha : nakladatelství ČSAV, 1956. ISBN neudáno.
9. **Vojtek, Jaroslav.** *Čerpací technika.* Praha : ČVUT, 1988. str. 110. ISBN neudáno.

Seznam obrázků

Obr. 1 - pracovní bod.....	7
Obr. 2 - objemové ztráty.....	9
Obr. 3 - dosažitelná účinnost hydrodynamických čerpadel podle Erharta	9
Obr. 4 - paralelní řazení dvou čerpadel se stejnými charakteristikami.....	10
Obr. 5 - sériové řazení dvou čerpadel se stejnými charakteristikami	11
Obr. 6 – stočení oběžného kola.....	13
Obr. 7 – princip vodních lyží.....	14
Obr. 8 – tlaková vlna na lyži.....	14
Obr. 9 – naklápěcí segmenty	15
Obr. 10 – schéma jaderné elektrárny	17
Obr. 11 – rozpiska čerpadla	18
Obr. 12 – spojka.....	18
Obr. 13 – lamela s čepy	19
Obr. 14 – axiální ložisko.....	20
Obr. 15 – ucpávka.....	21
Obr. 16 – hřídel.....	22
Obr. 17 – redukované napětí.....	23
Obr. 18 – výtlačné koleno.....	24
Obr. 19 – mezikus.....	24
Obr. 20 – převaděč.....	25
Obr. 21 – radiální ložisko	26
Obr. 22 – oběžné kolo s mechanismem	27
Obr. 23 – sací kus	28
Obr. 24 - servopohon	29
Obr. 25 – výkon	30
Obr. 26 – napětí u výtlačného kolena	30
Obr. 27 – posunutí plochy u výtlačného kolena	31
Obr. 28 – napětí v mezikusu	31
Obr. 29 – napětí v převaděči.....	32
Obr. 30 – znázornění deformace převaděče	32
Obr. 31 – soustružení SurfCAM.....	34
Obr. 32 – list operací	35

Seznam značek

Q	objemový prútok	[m ³ /s]
H	dopravní výška	[m]
H_t	teoretická dopravní výška	[m]
P	výkon	[W]
ρ	hustota kapaliny	[kg/m ³]
$Y_{\check{c}}$	měrná energie čerpadla	[JK ⁻¹]
Y_p	měrná energie potrubí	[JK ⁻¹]
g	gravitační zrychlení	[m/s ²]
$Q_{\check{c}s}$	prútok čerpacího systému	[m ³ /s]
η_Q	objemová účinnost	[%]
η_h	hydraulická účinnost	[%]
η_c	celková účinnost	[%]

Cizojazyčný slovník

čerpadlo	pump
ucpávka	padding
ložisko	bearing
kavitace	cavitation
spojka	conjuncton
převaděč	converter
lopatka	shovel
motor	engine
stroj	maschine
materiál	material
tlak	pressure
průtok	flow
oběžné kolo	impeller
hřídel	shaft
rotor	rotary
regulace	regulation

Přílohy

Příloha č. 1: Výkres víka

Příloha č. 2: Výkres hřídele

Příloha č. 3: Výkres čepu hvězdice

Příloha č. 4: Výkres čepu kliky