



Středoškolská technika 2010

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

Hlavní cirkulační čerpadlo BIKS 500

Jméno a příjmení: Marek Zaoral

Střední průmyslova škola strojinická Olomouc, tř. 17. Listopadu 49

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

Datum: 26.4.2010

Děkuji kantorům Ing. Vladimíru Houšťovi, který mě dokázal vždy velmi přesně vysvětlit vše na danou otázku dále patří poděkování Mgr. Renatě Havelkové, která poradila v textové úpravě a vysvětlila veškeré potřebné problémy v oblasti techniky psaní.

Obsah

Obsah	3
1 Úvod	5
2 Hlavní cirkulační čerpadla.....	7
3 Vývojová problematika hlavních cirkulačních čerpadel	9
3.1 Ucpávky	9
3.2 HCC – vývojová problematika.....	10
3.3 Konstrukce segmentových ložisek.....	10
3.4 Čerpadlová část	12
3.5 Mezihřídel	15
3.6 Elektromotor	16
4 Materiálové řešení	18
4.1 Kavitace a materiál oběžného kola	19
4.2 Těsnění spár oběžného kola	20
5 Jaderná technika	21
5.1 Návrh aktivní zóny	21
5.1.1 Sdílení tepla	21
5.2 Vedení tepla	22
5.3 Čerpadla, ventily a výměníky	22
5.3.1 Čerpadla a těsnění	23
5.3.2 Ventily	24
5.3.3 Výměníky tepla	25
6 Závěr.....	26
Anotace	27

Resumé.....	28
Seznam literatura a zdrojů.....	29
Cizojazyčný slovník.....	30
Přílohy.....	31

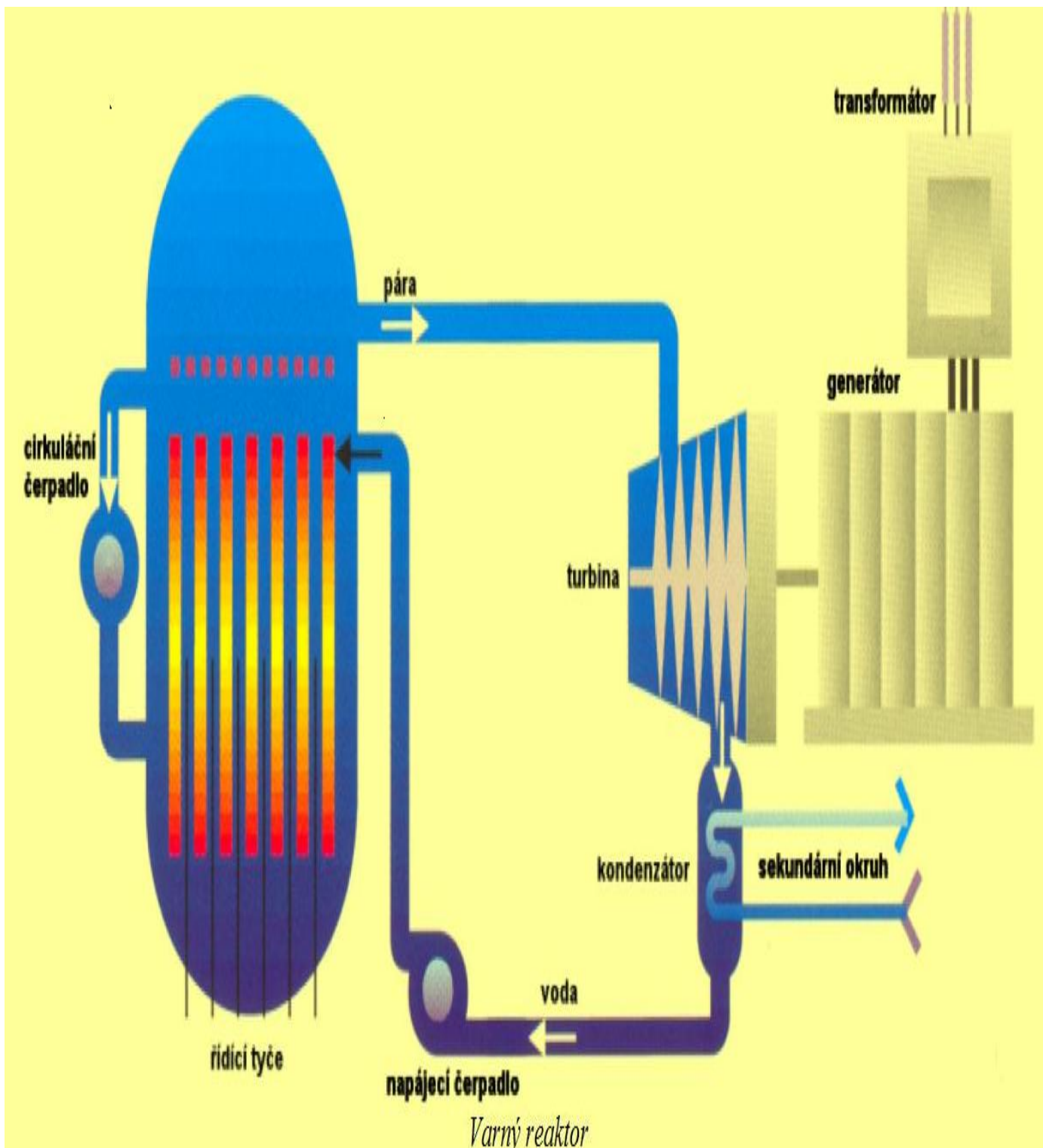
1 Úvod

V mém ročníkovém projektu, který se zabývá Hlavním cirkulačním čerpadlem BIKS 500, bych Vás chtěl seznámit a vysvětlit základní pojmy a problematiku cirkulačních čerpadel jako vůbec.

V úvodu několik málo slov o čerpadlech. Čerpadla ve zjednodušení slouží k dopravě vody a jiných kapalných směsí. Tento princip se začal využívat už ve středověku a byla většinou poháněna zvířecí nebo lidskou silou nyní už nejsme ve středověku a tak s vývojem technologických možností jsou čerpadla poháněna převážně elektrickou,benzinem,naftou aj. Čerpadla se můžou dělit na různé typy podle principu a využití, a to na Objemová čerpadla (pístové, membránové, zubové, lamelové, šnekové) dále Odstředivá čerpadla (axiální, diagonální, radiální) a Proudová čerpadla. Podle použití na oběhová, dávkovací a vstřikovací čerpadla. Další ze způsobů rozdělení je podle místa využití čerpadla a to jsou zahradní, bazénová, jezírková, průmyslová a domácí čerpadla.

Nyní zpět k zadání mé ročníkové práce která se týká jak už jsem podotkl Hlavního cirkulačního čerpadla BIKS 500. Ještě než se ponoříme do detailních problematik a principů tohoto zařízení vypíchl bych malý úvod.

Hlavní cirkulační čerpadlo (HCČ) je využíváno v průmyslovém odvětví a to v jaderných elektrárnách v primárním okruhu. Úkolem (HCČ) je cirkulace chladiva v primárním okruhu v množství odpovídajícímu tepelnému výkonu reaktoru. Z hlediska konstrukce se jedná o vertikální odstředivé ucpávkové čerpadlo, které je poháněné asynchronním elektromotorem. Na každé smyčce (HCČ), které slouží k zajištění cirkulace vody ve smyčkách a reaktoru. Při 1485 otáček/min má výkon $6500 \text{ m}^3/\text{h}$ a je umístěno na spodní, tzv. studené větvi, tj. zpět do reaktoru. Jeho výška je 12 m a jeho hmotnost je 156 tun. Spotřeba energie tohoto drobečka je až 6,8 MW a patří mezi energeticky nejnáročnější zařízení celé elektrárny. Součástí primárního okruhu je i kompenzátor objemu chladicí vody, jehož úkolem je regulovat tlak v primárním okruhu na 12,5 MPa protože za tohoto tlaku voda při teplotě $261 \text{ }^\circ\text{C}$ nemůže vařit. Dále do primárního okruhu ještě patří hydroakumulátory, které tvoří zálohu, kdyby voda začala unikat z hlavního cirkulačního potrubí.

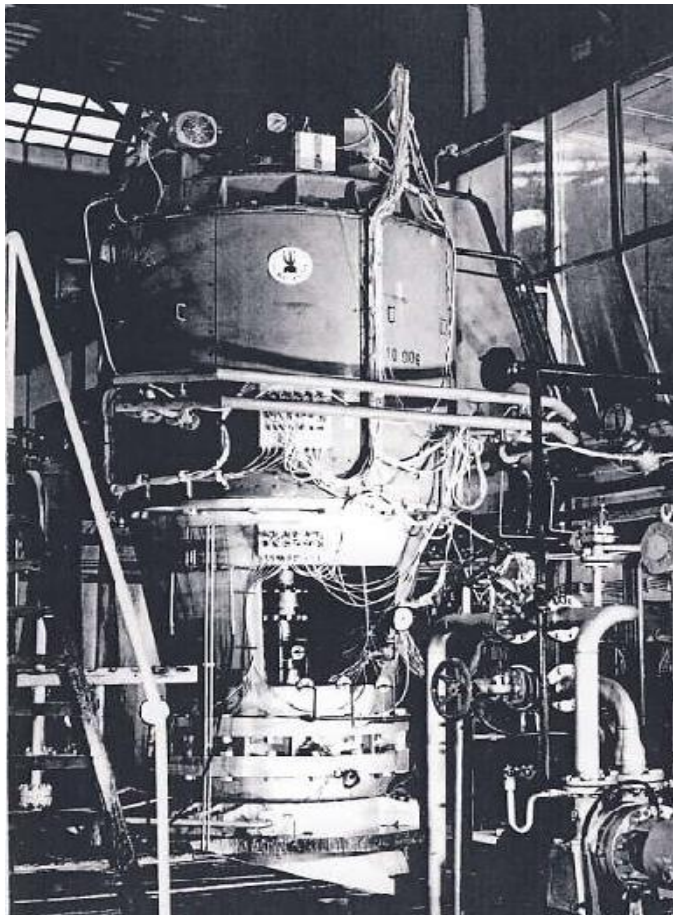


Obrázek 1 – Primární okruh jaderné elektrárny

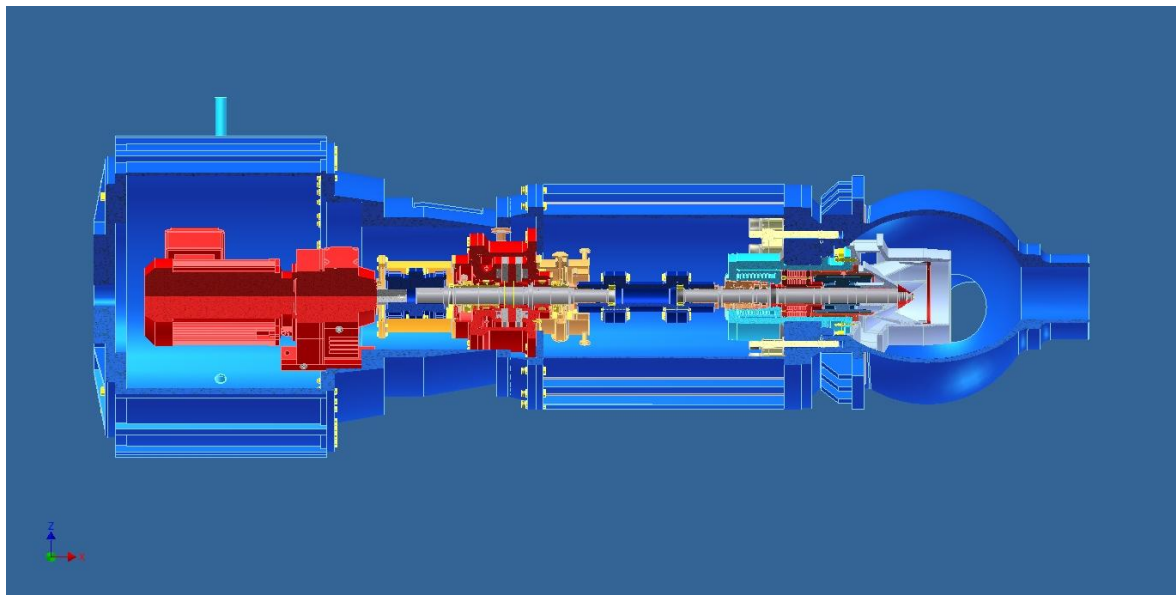
2 Hlavní cirkulační čerpadla

Pro řešení hlavních cirkulačních čerpadel jsou nejdůležitější požadavky bezpečnosti a spolehlivosti a také základní technické parametry hmotného toku, tlakového spádu, teplotní a tlakové hladiny, za nichž čerpadlo pracuje. Za těchto podmínek vznikly ve světě v podstatě dvě koncepce hlavních cirkulačních čerpadel. První zajistila dokonalé utěsnění primárního okruhu tím, že je čerpadlo včetně hnacího motoru uzavřeno ve společném tlakovém obalu. Přitom může být stator použitého asynchronního motoru s kotvou nakrátko proveden mimo vodní prostor, nebo je řešen v zátopném provedení. Řešení v oblasti menších výkoností velmi vhodné jeví se pro rostoucí hmotné toky méně účelným. Uzavřením hnacího motoru do tlakové nádoby roste nejen hmotnost soustrojí a klesá jeho účinnost, ale vznikají i další závažné problémy. Hlavní z nich je nemožnost zvýšit dobu doběhu čerpadla po přerušení přívodu el. Energie tím, že se umístí přímo na hřídel čerpadla vhodný setrvačnick. Zvýšení doběhu je naléhavě potřebné pro zajištění bezpečného provozu a odstavení reaktoru. U zapouzdrěných bezucpávkových čerpadel se dá zjistit zvýšení doby doběhu jen složitým el. řešením, při němž je mezi síť a čerpadlo vložen motor se setrvačnickem a generátorem přímo elektricky spojeným s hnacím motorem čerpadla.

Tato čerpadla se hodí pro největší výkonnosti prozatím požadované, využívají plně zvládnutou stavbu elektrických hnacích motorů, jsou prostá zbytečných ztrát vznikajících v zatopeném elektromotoru čerpadel bezucpávkových a mají dlouhou dobu doběhu dosahovanou jednoduše setrvačnickem s vhodným momentem setrvačnosti, který je naklínován přímo na hřídeli elektromotoru. Tlaková nádoba je omezena na vlastní čerpadlo, je tedy podstatně menší a lehčí, a spotřeba antikorozivního materiálu je zásadně snížena. Dosažení všech těchto výhod je ovšem podmíněno vyvinutím dokonale pracujících a provozně zcela spolehlivých ucpávek s minimální netěsností.



Obrázek 2 – Hlavní cirkulační čerpadlo BIKS 500 – primární okruh



Obrázek 3 – Hlavní cirkulační čerpadlo BIKS 500 – 3D model

3 Vývojová problematika hlavních cirkulačních čerpadel

Ve stavbě hlavních cirkulačních čerpadel je nová a obtížná problematika teplotních polí a přídavných napětí, která vznikají v různých částech čerpadla vlivem stacionárních i nestacionárních teplotních gradientů. Problematika teplotních polí i polí napětí má ovšem svou zcela zvláštní náplň v souvislosti s řešením ucpávek. Zajištění požadované minimální ztráty průsakem je možno splnit a provozní spolehlivost zajistit jen v tomto případě, podaří-li se vyřešit deformace jednotlivých částí ucpávky od teplotních a napěťových vlivů tak, aby požadované velmi malé vůle zůstaly zachovány za všech provozních podmínek.

Mezi další problematiku patří axiální a radiální ložiska. Zvláštní náplň ji dodává vertikální poloha rotoru hlavních cirkulačních čerpadel, která vylučuje z použití běžná radiální ložiska a nutí k řešení ložisek segmentových nebo víceplochých. Neméně závažná je i ta okolnost, že se v konstrukci nelze vyhnout použití alespoň jednoho ložiska mazaného vodou. Zvláštní požadavky jsou kladeny na ložiska s hlediska funkce ucpávek: je to především požadavek maximální stability celého rotoru.

3.1 Ucpávky

U ucpávky se ukazuje, že musí plnit v hlavním cirkulačním čerpadle různé úkoly, že je třeba ucpávky dělit na několik částí s různou specializací. Rozeznáváme ucpávku provozní, bezpečnostní, klidová. V jiných konstrukčních řešeních ovšem mohou být jednotlivé funkce ucpávky i jinak rozděleny a řešeny.



Obrázek 2 - Ucpávky

3.2 HCČ – vývojová problematika

<u>Koncepce</u>	spolehlivost – antikorosivní - vertikální provedení
<u>Hydrodynamika</u>	diagonální vrtulové – lopatkové buzení – pulsace
<u>Teplotní pole</u>	čerpadlo ~300°C – ložiska, ucpávky < 100°C
<u>Pole napětí</u>	vnitřní přetlak – gradienty teplot –
<u>Ložiska</u>	vertikální rotor – hydrostatická – hydrodynamická – voda
<u>Ucpávky</u>	kontaktní – hydrodynamické – hydrostatické provozní – bezpečnostní – klidové
<u>Dynamika</u>	vertikální rotor – ložiska – spojka – setrvačnick – motor – uložení
<u>Materiál a technologie</u>	Těleso: lité – svařené z odlitků nebo výkovků – návary ložiska mazána vodou – ucpávka: návary – povrchu
<u>Zkoušky</u>	měřicí kontrolní technika - diagnostika

3.3 Konstrukce segmentových ložisek

Nejobvyklejší uspořádání je když segmenty stojí a běhoun rotuje. Opačné uspořádání, kde segmenty rotují a běhoun stojí, se používá, pokud odstředivá síla segmentů nepůsobí rušivě na jejich naklápění, tj. pokud střední obvodová rychlost $U < 10$ m/s. Toto druhé uspořádání má tu výhodu, že mezery mezi segmenty působí jako odstředivé čerpadlo a zaručují spolehlivou vnitřní cirkulaci v ložiskové nádrži. Tloušťka segmentů má být taková, aby mechanická deformace nezvyšovala nerovnost kluzné plochy na přípustnou hodnotu.

Podmínkou správného uložení segmentu jeho schopnost sklápět se kolem vhodné hrany tak, aby se mohla vytvořit klínová mezera. Segmenty mají na vstupní hraně náběh válcovou plochou, u starších konstrukcí se prováděl úkos rovinný.

Uložení segmentů může být velmi různé podle používání v různých závodech.

1. Uložení od firmy Kieswetter, segmenty jsou podříznuty, aby se mohli naklápět pružností materiál. Pro montáž je toto uspořádání velmi výhodné, výroba však není jednoduchá. Hodí se spíše pro horizontální polohu hřídele.
2. Uložení od firmy Ateliers des Charmilles. Naklápění je též umožněno pružností litého materiálu v krčku segmentu, bylo užito pro turbínu v hydrocentrále.
3. Uložení od firmy Voith, segment spočívá na pružné podložce. Materiál podložky musí být olejovzdorný. Maximální přípustný tlak na pružnou podložku (fibr), nesmí být překročen. Proti obvodnému posunutí se segmenty zajišťují jedním nebo dvěma kolíky. Také je možné zachycení radiálně vedeným kolíkem. Výhodou je jednoduchá výroba.
4. Uložení od firmy fy Brown-Boveri, je to uložení na kuličkách, které umožňuje stejné zatížení všech segmentů.
5. Uložení od firmy Hofmann systém, segmenty spočívají na pružných plechových mezikruží, podepřených mezi místem dosednutí dvou sousedních segmentů. Při tomto uložení je zaručeno, že zatížení se rozdělí stejnosměrně na všechny segmenty, neboť výrobní rozdíl segmentů ve výšce se vyrovnají, pružná mezikruží musí však stále k sobě doléhat po celé ploše. Uložení je výrobně jednoduché.

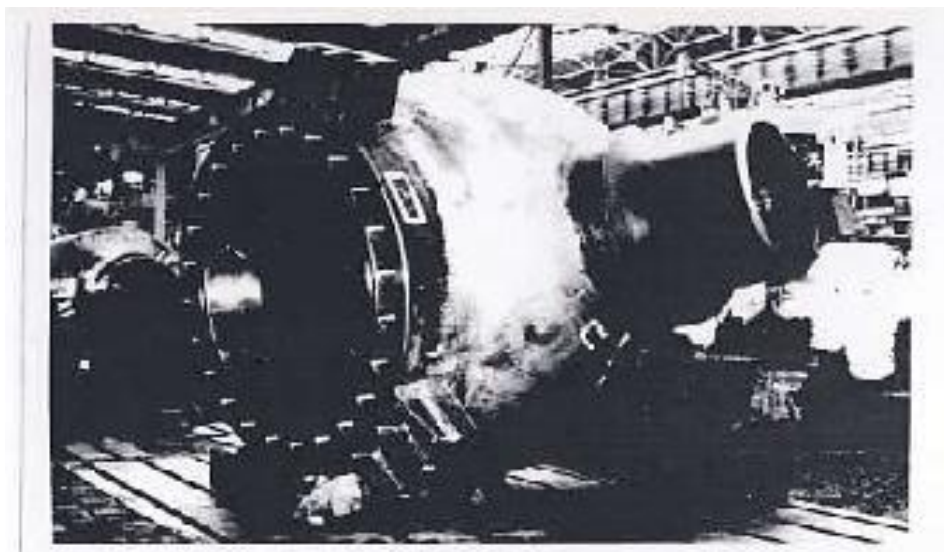
Tvar segmentu je dán rozdělením mezikruží potřebného k přenesení axiálního zatížení radiálními řezy, jejichž plochy se rovnají šířce mezery potřebné pro přívod a odvod oleje. Vnitřní průměr je dán průměrem hřídele a střed podepření segmentů se volí na těžištní kružnici mezikruží.

Axiální zatížení přenáší z hřídele na kluzné plochy nosná nebo unášecí hlava. Musí být dostatečně tuhá, aby její deformace nezpůsobovaly nerovnosti kluzných ploch a plocha pro uložení běhounu nebo segmentů musí být kolmá k ose otáčení. Musí snést průběžné otáčky soustrojí a být schopná přenést zvýšený moment při zadření ložiska.

3.4 Čerpadlová část

Čerpadlovou část tvoří tyto dílčí celky: hydraulický díl, vodící ložisko, víko s hlavním přírubovým spojem, tepelná bariéra, hřídel, ucpávkový soubor.

K hydraulickému dílu náleží těleso čerpadla, oběžné kolo a rozvaděč. Těleso čerpadla je cílem, který podstatně ovlivňuje řešení celé čerpadlové části, a proto byla jeho tvaru věnována značná pozornost. Po komplexním rozboru celé problematiky bylo navrženo řešení s rotačně symetrickým tělesem s řídicím tvarem koule.



Obrázek 3 - Rozvaděč kapaliny

Sací hrdlo je axiální ve spodní části tělesa, výtlačné hrdlo je radiální s 15° odklon osy od horizontální roviny. Obě hrdla jsou upravena pro zavaření tělesa do potrubí primárního systému. Mezi sacím hrdlem a sáním oběžného kola je situován vtokový kus, oddělující prostor vyššího tlaku od prostoru se sacím tlakem. Na tělese čerpadla jsou též provedeny patky pro uchycení celého soustrojí. Při veškerých revizích či opravách jednotlivých dílců čerpadla zůstává těleso trvale nevařeno do potrubního systému.

Použité oběžné kolo je diagonálního typu, jednovtokové, jednostupňové. Je uzavřené, opatřené na sací i výtlačné straně jednostupňovou hladkou těsnicí spárkou. Prostor za oběžným kolem na výtlačné straně je propojen otvory v náboji s prostorem sání, aby byl vytvořen tlakový spád na vodící hydrostatické ložisko. Oběžné kolo jen a hřídeli čerpadla uloženo letmo. Přenos krouticího momentu z hřídele na kolo je proveden perem

Rozvaděč, ve kterém se přeměňuje část kinetické energie na tlakovou výšku, je radiální, devítilopatkový.

Těleso čerpadla má v přírubě montážní otvor, který je ozářen víkem, připojeným k tělesu hlavními svorníky. Víko je řešeno jednak z hlediska pevnosti a jednak tuhosti neboť slouží pro uchycení mnoha vnitřních dílců.

Hlavní přírubový spoj mezi tělesem a víkem je utěsněn speciálním kovovým kroužkem. Použitý způsob potřebuje malou přepínací sílu na rozdíl od běžného těsnění kov na kov. Pevnostní problémy svorníků jsou zde tedy snáze řešitelné. Přepínání svorníků se provádí speciálním hydraulickým zařízením, které zajišťuje docílení minimálních rozdílů předpětí u jednotlivých svorníků, což ve svých důsledcích spolu se zmenšením přepínací síly zvyšuje spolehlivost celého uzlu.

Tepelná bariéra je situována mezi hydrostatickým ložiskem a těsnícím systémem čerpadla. Má velmi důležitou funkci a to bezpečně zajištění tepelného odstínění nejexponovanější části čerpadla, ucpávkového systému, od prostoru horkého čerpaného média.

Jde o zdvojený systém tepelné ochrany a to soustavu tenkých plechů uspořádaných v rovnoměrných vzdálenostech od sebe, jejichž funkce je podporována nízkotlakým chladicím systémem. V první fázi se přestup tepla zmenšuje několikanásobným přestupem na rozhraní plech – voda a voda – plech a dále se teplo odvádí prouděním chladné vody v dutých prostorách v samostatné chladicí vložce.

První část tepelné bariéry je provedena na hydrostatickým ložiskem. Plechy jsou přišroubovány k tělesu tepelné bariéry, přičemž rovnoměrné rozložení plechů je docíleno distančními podložkami. Těleso bariéry je zajištěno axiálně ve víku; je rovněž zajištěno proti případnému pootočení. Slouží zároveň jako statorový díl kuželového montážního těsnění. Pod teplou bariérou je situováno škrťací pouzdro, kterým protéká část zahlcovací kapaliny ucpávek směrem do čerpadlového prostoru. Tato kapalina zabraňuje postupu horkého doprovodného média směrem k ucpávkovému prostoru a omezuje přestup tepla hřídělí.

Druhá část tepelné bariéry tj. nízkotlaký chladicí systém je umístěn ve zvláštní chladicí vložce, dále nad soustavou plechů. Vložka je připevněná samostatně k víku

čerpadla a jsou v ní provedeny otvory pro přívod a odvod chladicí vody. Vnitřní prostory chladicí vložky slouží zároveň k umístění částí ucpávkového souboru.

Hřídel v čerpadlové části slouží k přenosu krouticího momentu od elektromotoru na rotující pracovní části; tj. oběžné kolo, rotor ložiska, rotor ucpávkového systému a škrťací pouzdra. S hřídelem v ložiskové části je spojen pevnými spojkami a mezikusem.

Pevné spojky jsou upevněny na válcových koncích obou hřídelí pomoci kuželového pouzdra. Montáž a demontáž spojek se děje speciálním hydraulickým zařízením. Krouticí moment se přenáší třením ve stykových plochách hřídele, pouzdra a spojky.

Použití mezikusu je dáno montážními důvody. Jelikož se předpokládá s nejčastějšími revizemi nebo opravy v oblasti ucpávkového souboru, bylo by nutno (bez mezikusu) demontovat veškeré zařízení, umístěné nad čerpadlovou částí. Toto by značně prodlužovalo a komplikovalo potřebné práce, a proto je použito řešení s mezikusem, který nutnost demontáže uvedeného prostoru zařízení odstraňuje.

Posledním uzlem v čerpadlové části a současně uzlem nejdůležitějším je ucpávková část. Soubor se stává z montážního, hlavního a koncového těsnění a patří k němu i škrťací elementy pro omezení průtoku zahlcovací kapaliny do prostoru hydraulické části.

Montážní těsnění je umístěno nad tepelnou bariérou. Je řešeno jako kuželové ventilové těsnění, který utěsní malý přetlak v primárním okruhu bez nebezpečí průsaku do prostoru ucpávky. Uvádí se do činnosti po demontáži pevné spojky, kdy rotor čerpadla dosedne na kuželové sedlo vlanní vahou. Umožňuje výměnu těsnícího systému čerpadla, aniž je nutno vypouštět kapalinu ze smyčky.

Průtok zahlcovací kapaliny do prostoru oběžného kola je nutno omezit na stanovenou mez. Použití škrťacích elementů je řešeno alternativně a to buď jako plovoucí těsnící kroužky nebo jako závitová ucpávka.

Systém hlavního a koncového těsnění je pro HCČ zajištěn několika způsoby. Základním provedením ucpávkového systému je vlastní vývojová ucpávka řešená jako hydrostatická s odděleným přívodem kapaliny do těsnící spáry. Pro prototypové zkoušky obou velikostí čerpadel jsou zajištěny ucpávkové soubory z dovozu a to od firmy CHAMPLAIN a BURGMANN.

3.5 Mezihřídel

Mezihřídel je řešen jako samostatný konstrukční celek vložený mezi elektromotor a čerpadlovou část. Je uložen na horní přírubě lucerny čerpadla a přenáší krouticí moment z elektromotoru na hřídel čerpadla.

Axiální ložisko je řešeno jako oboustranné, hydrodynamické, segmentové s naklápěcími segmenty. Ložisko je dimenzováno na zatížení vznikající v čerpadle; tj. vzájemné působení síly z tlaku v systému, hydraulického tahu oběžného kola a vlastních hmot rotoru čerpadla. Výsledné zatížení může působit při různých provozních stavech nahoru i dolů, proto je použito oboustranného ložiska.

Běhoun ložiska je nastředěn na hřídeli axiálně je fixován stahovací maticí a pouzdrem. Krouticí moment se na běhoun přenáší perem. Segmenty jsou uloženy na pružné mezidruhové desce, která umožňuje naklápění v obvodovém i radiálním směru. Tím se vyrovnávají případné výrobní nepřesnosti tak, aby všechny segmenty byly zatíženy stejně.

Po obou stranách běhounu axiálního ložiska jsou umístěna radiální hydrodynamická segmentová ložiska. U ložisek je možno nastavovat radiální vůli pomocí stavěcích šroubů.

Mazání ložisek je řešeno na principu nuceného oběhu oleje. Přívod mazacího oleje do prostoru mezihřídelem je řešen tak, že z centrálního přívodu je přiváděn olej přes kanálky v tělese mezihřídelem na jednotlivá mazaná místa. Regulaci průtoku množství oleje v jednotlivých ložiscích je možno seřídít škrtícím orgánem na straně odvodů oleje z prostorů mazaných míst. Aby se zabránilo při rozběhu a doběhu čerpadla meznímu či suchému tření v axiálním ložisku, je pro daný případ před spuštěním soustrojí přiváděn do segmentů axiálního ložiska olej. Tímto tlakovým olejem se docílí oddálení běhounu od segmentů hlavního ložiska a vytvoření kluzné vrstvy oleje.

Ve spodní části mezihřídele je situována vana, jejímž úkolem je zachytit olej prosakující ložisky a odvést jej zpět do sběrné nádrže olejového hospodářství. Podobné řešení je realizováno v horní části mezihřídele, kde je provedena sběrná skříň, která zachytí olej, jenž může uniknout ze zubové spojky. Bezpečnostní odpadní potrubí je zavedeno samospádem do olejové nádrže.

Dodávku oleje pro mazání ložisek mezihřídele zajišťuje olejové hospodářství. Odtlačení běhounu axiálního ložiska před najetím, případně doběhu soustrojí zajišťuje vysokotlaký okruh oleje napojený na tutéž olejovou vanu.

Spojení mezihřídele s hřídelí elektromotoru je provedeno poddajnou zubovou spojkou mazanou olejem. Spojka dovolí axiální i radiální posuv a malou nesouosost mezi motorem a čerpadlem.



Obrázek 4 - Mezihřídel

3.6 Elektromotor

K pohonu čerpacích agregátů slouží vertikální třífázový asynchronní elektromotor s vírovou kotvou nakrátko. Elektromotor je čtyřpólový, na vysoké napětí, konstruován je pro trvalý chod. Je umístěn na horní kuželové lucerně, která stejně jako lucerna čerpadla má 2 montážní otvory. Elektromotor sestává v podstatě ze statoru a rotoru včetně setrvačníku, systém ložisek, chladičů a pláště.

Kostra statoru je svařována s kruhovými přírubami, přičemž horní příruha je upravena pro přichycení nosné hvězdy horního závěsného ložiska. Kostra je upravena pro

zabudování chladičů a vývodů chladicí vody. Chladiče jsou výklopné, umístěné otočně na rámech uvnitř stroje.

Jádro statoru je složeno ze segmentů dynamových plechů a rozděleno radiálními ventilačními kanály na dílčí pakety. Vinutí statoru je dvouvrstvé, cívkové. Čela jsou vyztužena bandžovými kruhy.

Izolace vinutí je třídy F se zaručenou zvýšenou životností při tepelném namáhání odpovídající izolaci třídy B. Vývody jsou v jedné kabelové hlavě.

Horní závěs je tvořen nosnou hvězdou s kombinovaným ložiskem – axiálním segmentovým jednostranným a radiálním segmentovým. Axiální ložisko je dimenzováno na váhu rotoru a setrvačnicku. Dolní traverza je svařovaná a je na ní umístěno radiální segmentové ložisko.

Mazání ložisek je zajištěno olejem, chlazení ložisek se děje vodním chladičem uvnitř ložiskových skříní.

Podstavec je připojen ke kostře a je zakončen kruhovou přírubou pro připojení k horní lucerně.

Základem rotoru je hřídel vykováný s jedním válcovým volným koncem pro nasazení zubové spojky, horní konec je upraven pro nasazení běhounu závěsného ložiska. Rotorová hvězdice je vytvořena navařením žeber přímo na hřídel. Jádro rotoru je složeno z mezikruží dynamových plechů a je rozděleno radiálními ventilačními kanály na dílčí pakety.

V motoru je umístěn setrvačnick sloužící k zajištění potřebné doby doběhu HČČ při případné poruše přívody proudu do motoru

Motor má dvoustrannou vlastní ventilaci v uzavřeném okruhu přes vodní chladič vzduchu. Jednotlivé díly chladiče jsou umístěny rovnoměrně na plášti kostry, společný přívod a odvod vody jsou na opačné straně, než je kabelová hlava.

4 Materiálové řešení

Nejdůležitější a nejkomplicovanější částí je vlastní čerpadlová část. V primárním systému jaderné elektrárny, který přichází do styku s dopravovanou kapalinou, se kladou přísné požadavky z hlediska vzniku korozních zplodin. Tyto zplodiny jsou nositelem radioaktivity v systému, a je proto nutno omezit a minimalizovat jejich vznik. Tato skutečnost je nejpodstatnější při volbě materiálu a nutí k volbě nejodolnější korozivzdorné oceli. Požadavek minimálního množství nečistot v primárním okruhu ovlivňuje též zvýšené požadavky na čistotu a kvalitu povrchu. Dílce musí být bez jakýchkoliv povrchových trhlin a výskyt vnitřních vad musí být minimální.

Při výběru materiálu pro čerpadlovou část, speciálně pro dílce přicházející do styku s kapalinou, se musíme soustředit hlavně na tyto hlediska:

1. korozivzdornost při čerpání chladiva
2. korozivzdornost při čerpání dezaktivacních médií
3. mechanické hodnoty
4. fyzikální hodnoty
5. svařitelnost
6. odolnost vůči ozáření neutronovým tokem
7. chování při rychlých teplotních změnách

Na základě těchto kritérií bylo provedeno materiálové osazení jednotlivých dílců.

Byly vybrány dva typy ocelí a to speciální uhlíkatá nízkolegovaná ocel pro tlakové dílce (těleso, víko, čerpadla) a vysoce kvalitní austenitické chromniklové korozivzdorné oceli. Vnitřní plochy tělesa a víka, které jsou omývány dopravovanou kapalinou, jsou opatřeny austenitickým návarem.

Použili se zejména oceli tvářené, které mají lepší mechanické vlastnosti a vyšší korozní odolnost nežli oceli lité.

Při zohlednění odolnosti vůči mezikrystalické korozi a na lepší podmínky při svařování byly zvýhodňovány oceli s nízkým obsahem uhlíku a stabilizované titanem nebo niobem.

Při volbě materiálu u dílů mimo oblast přímého styku s kapalinou např.: pevné spojky, mezikus, lucerny, mezhřídel je podstatně jednodušší a běžnější pro strojírenskou praxi. Pro tvářené díly se používá převážně konstrukční ocel uhlíková a to i pro svařované části se zaručenou svařitelností. Lité součásti jsou provedeny z uhlíkové oceli na odlitky a pouze některé speciální díly, jako např.: hřídel, běhoun axiálního ložiska apod., jsou z ušlechtilých konstrukčních ocelí uhlíkových či slitinových. Při ohledu na okolní prostředí budou mít součásti povrchovou ochranu.

4.1 Kavítace a materiál oběžného kola

Na sací straně lopatky se odpařuje voda ve tvaru bublinek v místech, kde tlak klesl na hodnotu napětí vodních par. Bublínky implodují v místech, kde je tlak opět vyšší, a v těchto místech velmi poškozují lopatku.

Zda taková kavítace nastane či nikoli, záleží na hodnotě Thomova kavitačního součinitele $\sigma = \frac{H_b - H_s}{H}$. Jeho hodnota se mění například se sací výškou, takže postupným zvětšováním sací výšky můžeme vyvolat kavítaci. Přejít z provozu bez kavítace do provozu s kavitačním je pozvolný, neboť jakmile se začnou tvořit bublinky páry, odnímá se vodě výparné teplo, voda se ochlazuje, a tím se kavitační jev stabilizuje.

Můžeme tak sledovat přechod do kavítace v kavitační zkušební stanici, která je zařízena tak, že můžeme sací výšku příslušné modelové turbíny postupně zvyšovat. Přitom zjišťujeme účinnost i průtok a zároveň můžeme skleněným nástavcem sací trouby pozorovat, co se děje na oběžné lopatce, kterou stroboskopickým osvětlením zdánlivě zastavíme.

Při začátku kavítace oddělí slabá vrstva par vodu od lopatky, čímž se zmenší tření vody o lopatku, zmenší se tím tření a zvětší účinnost někdy i průtok. Jakmile však je později tvoření par tak intenzivní, že ruší průtok lopatkovými kanálky a že pára stržena do sací trubky ruší její účinnost, klesá účinnost i průtok. Tento stav nazýváme *kritickou kavitační hranicí*. Počátek kavítace (počátek tvoření bublin) nazýváme *dolní kavitační mez*.

Je samozřejmé, že při projektování a instalaci turbíny nesmíme nikdy překročit kritickou mez, neboť turbína by neměla žádaný výkon, nehledíc k ořesu celého stroje, jež jsou průvodním jevem silně vyvinuté kavitace. S výhodou však volíme poměry tak aby turbína pracovala sice pod kritickou mezí, ale v kavitační oblasti, neboť tím využijeme zvýšení účinnosti a zmenšíme výkop pro sací troubu.

Známe-li místo, kde kavitace napadá lopatku, vyrobí se kolo z normální lité oceli, ohrožené místo se vybrousí do větší hloubky (cca 2mm) a elektrickým navařením se nanese vrstva nerezavějící oceli. Navařená plocha se opět hladce vybrousí. Kavitační napadení lopatek také lze zabránit nebo je alespoň snížit katodickou ochranou. Je známo, že katodickou ochranu se dobře uplatňuje, dokud je povrch materiálu ještě hladký.

4.2 Těsnění spár oběžného kola

Spáry musí být mezi oběžným kolem a víky co nejmenší, neboť mají vliv na objemovou účinnost. Při malých spádech a u menších strojů je spára přímo mezi opracovanými plochami oběžného kola a vík. V tomto případě musí být vůle větší 1 – 2mm. Při větších spádech a u důležitějších strojů se vkládají do vík a na oběžné kolo se natahují kruhy z bronzu nebo z nerezavějící oceli, v tomto případě může být vůle menší, 0,5 – 1 mm. Průtokový odpor se dále zvětšuje volbou lomené mezery.

Pro spády větší přes 100 m, se používá kruhů hřebenovitě do sebe zapadajících, jimiž se zmenší spád připadající na jednu spáru. Takto vyrobené těsnící kruhy, u nichž se střídají širší mezery s užšími, takže průtoková rychlost vznikající v průtokové mezeře zaniká v další široké mezeře, nazývají se labyrinty. Vyrábějí se jako výměnné kruhy z bronzu nebo nerezavějící oceli. Kruhy se přitahují ke kolu a víku šrouby se zapuštěnými válcovými hlavami, které je třeba dobře zajistit, aby nepovolily, nejlépe bodovými svary. Labyrintové kruhy se středí na kole a víkách středícími nákrůžky. Kruhy velkých průměrů jsou vícedílné; středící nákrůžek kola musí tu být vně labyrintu, aby zachytil odstředivé síly jednotlivých dílů labyrintového kruhu.

Zpravidla se velké a úzké mezery uspořádají tak, aby oběžné kolo se mohlo posouvat v axiálním směru. Posuv je vyvolán tepelnými deformacemi hřídele a průhybem nosné konstrukce axiálního ložiska při změnách axiálního tahu.

5 Jaderná technika

5.1 Návrh aktivní zóny

Při návrhu aktivní zóny se setkáváme s obvyklými problémy ze strany strojírenského inženýrství a to při volbě nekorodujícího materiálu, stanovení čerpací práce, stanovení velikosti teplostěnných ploch pro dostatečné chlazení a návrh konstrukce vzhledem dovozeným namáháním nebo také volba rychlosti chladiva. Mezi tyto známé problémy se přidávají i další problémy které jsou vyvolané neobvyklým chováním následkem přítomného záření a problémy vyplývající ze speciálních jaderných požadavků každého reaktoru.

Další z nejdůležitějších speciálních problémů:

1. Teplotní rozbory jsou komplikované tím, že tepelné zdroje jsou rozloženy v celém materiálu reaktoru
2. Nerovnoměrné rozložení teploty v kovu vyvolává tepelná napětí, která se přičítají k napětím vyvolaným tlakem.
3. Reaktory mají obvykle velký počet rovnoběžných chladících kanálů, čímž jsou teplotní a hydraulické rozbory komplikovány.
4. Přejímové podmínky mohou způsobit velmi rychlé změny výkonu a s tím související velká přejímová tepelná napětí. Během odstavení je nutno reaktor chladit, poněvadž v něm vzniká teplo rozpadem štěpených produktů.
5. Pro poměrně malý objem a vysoké náklady na jaderné palivo musí být specifický výkon reaktoru velmi velký. Poněvadž teoreticky neexistuje žádná horní hranice specifického výkonu, závisí tepelná účinnost jaderné elektrárny jen na konstrukčním materiálu a na účinném odvodu tepla.

5.1.1 Sdílení tepla

Vzhledem k různému neutronovému toku a rozdělení materiálu v aktivní zóně není vývin tepla v reaktoru rovnoměrný. U reaktorů na tepelných neutronech lze zpravidla

předpokládat, že se tento výraz redukuje na součin toku tepelných neutronů a makroskopického účinného průřezu pro štěpení tepelných neutronů. Jelikož se celá kinetická energie štěpných trosek zmaří v místě vzniku, znamená to, že se v těchto místech odevzdá přes 80% z celkového vyvinutého tepla v reaktoru.

Zbývající vývin tepla je rozložen jak v čase, tak i v místě uvnitř reaktoru. Uvažujme nejprve časové rozložení. Je-li reaktor spuštěn poprvé, není v něm žádné energie vzniklé rozpadem štěpných produktů, ale při dalším provozu nastane konečný ustálený rovnovážný stav mezi rychlostí tvoření rozpadu každého jednotlivého štěpného produktu. Čas nutný k dosažení ustáleného stavu závisí na poločasu každého štěpného produktu. Poněvadž většina štěpných produktů má dosti krátké poločasy, vzroste vývin tepla velmi rychle na mezní hodnotu, závisící na neutronovém toku reaktoru.

Teplo vzniká též v reflektoru, tepelném stínění, tlakové nádobě a v kterémkoli jiném materiálu, který je v blízkosti aktivní zóny. Pro reaktory s vysokým neutronovým tokem je nutno opatřit reflektor a tepelné stínění zvláštním chlazením. Velikost tepelných zdrojů je určena pohlcenými paprsky (gama) v materiálu a energií odevzdanou částicím při pružném rozptylu rychlých neutronů. Výpočty jsou zcela úplné, poněvadž zahrnují rozbor úniku neutronů z reaktoru, aktivitu zavedenou do chladiv.

5.2 Vedení tepla

V heterogenních reaktorech musí teplo přejít z vnitřku palivového článku na vnější povrch vedením a potom z povrchu palivového článku do chladiva přestupem. Je-li tloušťka štěpného materiálu menší než střední volná dráha tepelného neutronu, může se účinek samostínění zanedbat a vývin tepla lze považovat za rovnoměrný. Pro tlustší palivové články nebo tam, kde se koncentrace paliva uvnitř článku mění, bude tepelný zdroj závislý na hodnotě neutronového toku v tom místě a na koncentraci paliva.

5.3 Čerpadla, ventily a výměníky

Kvůli radioaktivním látkám, se kterými se setkáváme, musí se v zařízení používat speciální materiály se speciálními požadavky. Mezi důležité požadavky patří například aby všechna zařízení musí být úplně těsná, aby se zabránilo unikání radioaktivních plynů a

roztoků do okolí. Toho lze dosáhnout použitím dokonale utěsněných zařízení, nebo lze celé zařízení uzavřít do tlakové nádoby s interním plynem. Tím se dosáhne jistoty, že všechna aktivní látka zůstane uvnitř. U zařízení jako je například u čerpadla, výměníků tepla atd. není třeba mít speciální požadavky, ale tato musí velmi dobře vzdorovat korozi, jelikož opravy a údržba radioaktivních zařízení není jednoduchá.

Proto se u konstrukčního materiálu pro vodu a vodní roztoky používá zejména nerezavějících ocelí. Ocelový potrubí vyložených niklem se většinou používá jen výjimečně pro plynný hexafluorid uranu. Pro speciální účely se používá rovněž jiných antikorozivních slitin a to: incolenu, Monelova kovu.

5.3.1 Čerpadla a těsnění

Aby se zabránilo tomuto unikání během provozu, bylo uděláno mnoho různých konstrukcí čerpadel, těsnění a ložisek. Široce se používá bezucpávkové čerpadlo a to u reaktorů s tlakovou vodou. Motor se skládá z utěsněného statoru a rotoru, který se otáčí v kapalině a je přímo spojen s odstředivým čerpadlem. Čerpací jednotka je úplně uzavřena, takže unikání je téměř zcela vyloučeno.

Pro odměřování radioaktivních roztoků se obvykle používá čerpadel **fy Milton-Roy**. Pro jednoduché přečerpávání z jedné nádrže do druhé a pro pulsační kolony se používá membránových čerpadel. Pro dopravu roztoků s větším korosivním účinkem se používá ponorných čerpadel, jež se dají lépe utěsnit. Není-li intenzita záření příliš vysoká, používá se k utěsnění čerpadel a ventilů teflonu. Grafite má dobré mazací vlastnosti.

Vzhledem k velkému významu tekutých kovů pro chlazení reaktorů bylo věnováno mnoho práce vývoji čerpadel pro tekuté kovy. Velké potíže činí utěsnění hřídele u rotačních čerpadel zvláště při zvýšených teplotách a tlacích. Kromě toho se ukázalo, že je velmi těžký problém konstrukce ložisek, takže ve snaze vyhnout se těmto překážkám byla experimentálně vyzkoušena možnost použití elektromagnetických čerpadel. Všechna elektromagnetická čerpadla využívají stejného principu jako elektromotor, totiž že na vodič v magnetickém poli, kterým elektrický proud kolmo ke směru tohoto pole, působí síla kolmá ke směru pole i proudu. Vodičem je u elektromagnetických čerpadel kapalina. Vznikající síla uvede kapalinu do pohybu a vyvolá určitý tlak. Pole i proud mohou být

vytvořeny různými způsoby, takže na tomto jediném principu bylo zkonstruováno několik typů elektromagnetických čerpadel.

Poněvadž velké proudy potřebné pro elektromagnetická čerpadla se velmi snadno získávají z transformátoru, je možno Faradayova čerpadlo snadno přizpůsobit střídavému proudu, bude-li magnetické pole buzeno střídavým proudem vhodné zřazovaným s napětím přiváděným na trubku. Byla vyzkoušena řada čerpadel tohoto typu a dokázalo se, že mají předpokládané vlastnosti a to, že nepotřebují mohutné zařízení pro napájení proudem. Avšak shledalo se, že čerpadla tohoto typu mají doplňkové ztráty větší, než má Faradayovo čerpadlo. Jedna z větších doplňkových ztrát vzniká tím, že kapalina působí jako závit na krátko v transformátoru. Střídavé pole indukuje v kapalině vířivé proudy, které způsobují wattové ztráty a zvětšují rozptyl magnetického pole. Další nevýhodou je komplikovanější magnetický obvod potřebný k tomu, aby se dostalo vhodné magnetické pole.

Ve snaze zvýšit účinnost a výkon byly vyvinuty jiné typy elektromagnetických čerpadel. Avšak proti standardním odstředivým čerpadlům mají menší účinnost a větší rozměry. Nejčastěji se setkáváme se slitinami lehkých kovů. Se slitinou Na-K můžeme pracovat úspěšně až do teploty 800 °C. stěna čerpadla musí být tenká, aby se zabránilo ztrátám vířivými proudy. Z tohoto důvodu se čerpadla nehodí tam, kde je třeba počítat s přídatkem na korozi nebo vysokými tlaky.

5.3.2 Ventily

Hlavní hlediska při volbě ventilů jsou snadné odmoření a těsnost. Při práci s radioaktivními roztoky se používá téměř výhradně ventilů vyrobených celých z nerezavějící oceli. Bylo použito snad všech druhů běžně vyráběných ventilů s ručním ovládním. Jejich nevýhodou je, že ruční kolečko a matka nejsou vyrobeny z nerezavějící oceli a při odmořování korodují. Úplně nepropustné jsou ventily s vlnovci, jež se dají ovládat buď ručně, nebo dálkově. Jsou však drahé a odmoření se u nich nedá dosti dobře provést, poněvadž se radioaktivní látka shromažďuje ve vlnovcích. Pro speciální účely byly též vyvinuty dosti složité ventily. V některých případech se látka unikající ucpávkou odvádí trubkou z nerezavějící oceli do vhodné nádoby.

5.3.3 Výměníky tepla

Hlavním problémem bylo zkonstruovat výměník pro odvádění tepla z tekutých kovů. Aby se zamezilo unikání, bylo použito dvou hlavních způsobů. První způsob záleží v naválcování dvou koncentrických trubek, aby se vytvořil nepropustný celek. v reaktoru EBR-1 je tento celek vytvořen ze dvou niklových trubek s měděnou trubkou uprostřed. U druhého způsobu je použito dvou soustředných trubek, v jejichž mezikruží je kapalina. Je-li kapalina v mezikruží pod tlakem, je únik mezi kapalinou a tekutým kovem úplně zamezen. U makety reaktoru SIR je v mezikruží rtuť. Mohlo by se také použít helia, ale snížil by se tím podstatně součinitel průchodu tepla. Rtuť je nevýhodou, jelikož má velký účinný průřez a unikáním do primárního chladicího okruhu by otravovala reaktor.

6 Závěr

V závěru bych chtěl shrnout, čím mě obohatil, tento projekt, co se týče informací o čerpadlářské technice a různých jevech v této problematice.

Jak jsme zjistili, tak navrhnout a zkonstruovat čerpadlo typu BIKS 500, které se používá ve velmi důležitém odvětví strojírenství a to v primárním okruhu jaderné elektrárny, kde je důležitá přesnost a kvalita výroby celého zařízení. Abychom dosáhli té nejlepší kvality a účinnosti zařízení je zapotřebí dlouhého přemýšlení a badání ve vývojovém centru. K tomu je zapotřebí spousta zkoušek materiálu a různé pevnostní a jiné výpočty.

Díky tomuto projektu jsem byl seznámen s touto problematikou a dozvěděl jsem se velice zajímavé informace, které lze uplatnit v praxi u čerpadlářské techniky. Poněvadž hlavní cirkulační čerpadlo BIKS 500 se začalo navrhovat a konstruovat kolem 70 let 20.stol, tak nastal problém v hledání informací, kterých už není moc k dostání a tak jsem tyto informace získal především od Ing. Vladimíra Houšťa, který v této problematice a odvětví strojírenství získával praxi několik let a tak ví velmi přesně o co se jedná dále jsem získával informace z vědecké knihovny v Olomouci kde se mě podařilo si vypůjčit originální knihu k tomuto čerpadlu a také na různých internetových serverech.

Tento projekt zlepšil mé dovednosti v oblasti Autodesk Inventor a také obohatil mé znalosti s Microsoft Office 2007. Jsem rád že jsem mohl pracovat na tomto projektu a že bude kladným přínosem pro moji budoucnost např. při nástupu do zaměstnání.

Anotace

Příjmení a jméno:	Zaoral Marek
Škola:	Střední průmyslová škola strojnická, Olomouc, tř. 17 listopadu 49
Název práce:	Hlavní cirkulační čerpadlo BIKS 500
Vedoucí práce:	Ing. Vladimír Houšť
Počet stran:	31
Počet příloh:	2
Počet titulů použité literatury:	3
Počet pramenů:	5
Klíčová slova:	Jaderná elektrárna Primární okruh Cirkulační čerpadlo Oběžné kolo

Přínos této práce byl v seznámení se s problematikou Hlavního cirkulačního čerpadla BIKS 500. Toto zařízení slouží v primárním okruhu v Jaderné elektrárně Dukovany, a to k chlazení reaktoru, aby nedošlo k jeho přehřátí. Dále jsem byl seznámen s ucpávkovou technikou, která slouží na principu těsnění. V této problematice je velmi důležitá debata o zvolení vyhovujícího materiálu, který vydrží odolávat i radioaktivní kapalině. Tato problematika mě velice zajímala a doufám že budu moci s ní pracovat i v praxi.

Resumé

Přínos této práce byl v seznámení se s problematikou Hlavního cirkulačního čerpadla BIKS 500. Toto zařízení slouží v primárním okruhu v Jaderné elektrárně Dukovany, a to k chlazení reaktoru, aby nedošlo k jeho přehřátí. Dále jsem byl seznámen s ucpávkovou technikou, která slouží na principu těsnění. V této problematice je velmi důležitá debata o zvolení vyhovujícího materiálu, který vydrží odolávat i radioaktivní kapalině. Tato problematika mě velice zajímala a doufám, že budu moci s ní pracovat i v praxi.

Benefits of this work was to the acquaintance with the problems of the Main circulation pump BIKS 500th. This device is used in the primary circuit in Nuclear Power Dukovany, and for cooling system the reactor to prevent overheating. Furthermore, I was the acquaintance with the sealing technique that is used to seal principle. In this problem is very important debate on the election of compliant material that can withstand and resist the radioactive liquid. This problem is very interested me and I hope that I can work with it in practice.

Seznam literatura a zdrojů

1. **Stephenson, Richard.** *Úvod do jaderné techniky.* New York , 1958.
2. **Ing. dr. Miroslav Nechleba.** *Vodní turbíny, jejich konstrukce a příslušenství.* Brno , 1962.
3. **Československá komise pro atomovou energii.** *Hlavní cirkulační čerpadlo pro primární okruhy tlakovodních reaktorů.* Brno , 1972.

<http://www.quido.cz>

<http://www.sujb.cz>

<http://cs.wikipedia.org>

<http://www.ses.sk>

<http://www.javys.sk>

Cizojazyčný slovník

čerpadlo	pump
cirkulační	circulatory
hřídel	shaft
oběžné kolo	impeller
ložisko	bearing
elektromotor	electromotor
ucpávka	padding
rotor	rotary
těsnění	seal
jaderná energie	nuclear energy
kavitace	cavitation
spojka	conjunction
difuzor	diffusor
reaktro	nuclear
primární okruh	primary circle
materiál	material
tlak	pressure
rozvaděč	distributor

Přílohy

Příloha č. 1: Technologický postup

Příloha č. 2: Výkres součásti