

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vodní hospodářství v klasických tepelných elektrárnách**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Stanislav NEČESAL**  
Osobní číslo: **E11B0304P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Vodní hospodářství v klasických tepelných elektrárnách**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

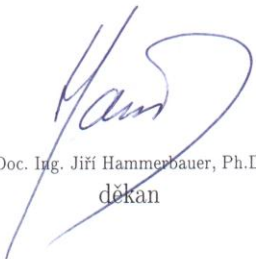
1. Popište obecné schéma vodního hospodářství v klasických tepelných elektrárnách.
2. Charakterizujte hlavní technologie úpravy vod.
3. Posuďte možná rizika nedodržením kvality vody z hlediska technologie provozu a životního prostředí.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lenka Raková  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013  
Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

Tato práce je zaměřena na popis funkce vody v tepelných elektrárnách. Popisuje základní využití vody v klasické tepelné elektrárně, její úpravu a dopady na technologii při nedodržení kvality vody. V závěru práce je hodnocen vliv tepelných elektráren na životní prostředí, z hlediska využívání vody.

## **Klíčová slova**

Tepelná elektrárna, sedimentace, filtrace, , demineralizace, odplynění, koroze.

## **Abstract**

This thesis is focused on the description of the water function in thermal power plants. It describes the basic use of water in the classic thermal power plant, treatment and impacts of technology during failure to comply with water quality. In conclusion it is evaluated the effect of thermal power plants on the environment, in terms of water use.

## **Key words**

Thermal power plant, sedimentation, filtration, demineralization, degassing, corrosion.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2014

Stanislav Nečas

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval své vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Rakové za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1 OBECNÉ SCHEMA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ V KLASICKÝCH TEPELNÝCH ELEKTRÁRNÁCH .....</b>	<b>11</b>
1.1 OBECNÝ POPIS KLASICKÉ TEPELNÉ ELEKTRÁRNY .....	11
1.2 PAROVODNÍ OKRUH .....	11
1.2.1 Zvyšování účinnosti.....	13
1.2.2 Rozdělení parních kotlů .....	14
1.2.3 Bilance vody v parním okruhu tepláren .....	15
1.3 CHLADÍCÍ OKRUH.....	17
1.4 ZDROJE A ZÁSOBOVÁNÍ VODOU .....	19
<b>2 ÚPRAVA VODY .....</b>	<b>21</b>
2.1 ÚPRAVA NAPÁJECÍ VODY PRO KOTLE.....	21
2.1.1 Přeúprava vody.....	21
2.1.2 Demineralizace .....	26
2.1.3 Odplynění vody .....	29
2.2 ÚPRAVA CHLADÍCÍ VODY.....	31
2.2.1 Úprava přídavné vody.....	31
2.2.2 Úprava cirkulační vody.....	32
<b>3 MOŽNÁ RIZIKA NEDODRŽENÍ KVALITY VODY Z HLEDISKA TECHNOLOGIE PROVOZU A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>34</b>
3.1 KVALITA NAPÁJECÍ VODY .....	34
3.2 KOROZE.....	35
3.2.1 Koroze v parovodním okruhu.....	35
3.2.2 Koroze v chladícím okruhu .....	36
3.3 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....	37
3.4 VLV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	37
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>38</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>39</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>41</b>



## Seznam symbolů a zkratk

c	-	koncentrace částic v plynu [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]
f	-	účinnost filtračního členu [%]
G	-	generátor
K	-	kotel
Ko	-	kondenzátor
m	-	hmotnost páry [ $\text{g.m}^{-3}$ ]
NČ	-	napájecí čerpadlo
p	-	tlak [MPa]
Q	-	průtok [ $\text{l.s}^{-1}$ ]
T	-	turbína
TE	-	tepelná elektrárna
w	-	hmotnostní koncentrace plynu ve vodě [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]
$\alpha$	-	poměr složek alkalického čiření [%]
$\rho$	-	hustota [kPa]

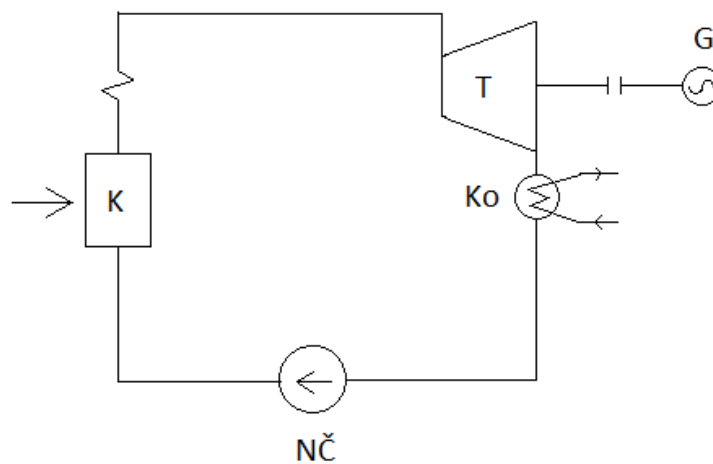
## Úvod

Předložená bakalářská práce je zaměřena na problematiku vodního hospodářství v klasických tepelných elektrárnách. Voda se v tepelných elektrárnách využívá především jako teplotní médium, dále převážně k chlazení, ale i k čištění spalin nebo k požárním a sociálním účelům. Na začátku práce se věnuji vysvětlení parovodního okruhu, pomocí Carnotova a Clausius-Rankinova cyklu a možnými principy zvyšování jejich účinností. Následuje zaměření na popis chladicího okruhu a způsoby zásobování tepelných elektráren vodou. Ve druhém bodě je práce zaměřena na úpravu vody, konkrétně se zabývá různými stupni úpravy napájecí vody a úpravy přídatné a cirkulační chladicí vody. Předposlední část práce je zaměřena na nebezpečí, která mohou postihnout technologickou část tepelné elektrárny, pokud by nebyla dodržena kvalita využívaných vod. V úplném závěru práce je shrnutý vliv tepelné elektrárny na životní prostředí v jejím okolí, z hlediska využití vody.

# 1 Obecné schéma vodního hospodářství v klasických tepelných elektrárnách

## 1.1 Obecný popis klasické tepelné elektrárny

Princip výroby elektrické energie v klasické tepelné elektrárně spočívá v přeměně tepelné energie na energii mechanickou a poté na elektrickou. Tepelná energie uvolněná spalováním uhlí se předává vodě, která se začne odpařovat. Vzniklá pára poté roztáčí parní turbínu spojenou hřídelí s generátorem vyrábějícím elektřinu. Po expanzi v turbíně pokračuje pára do kondenzátoru, kde zkapalní a pomocí napájecího čerpadla se vrací zpět do kotle.



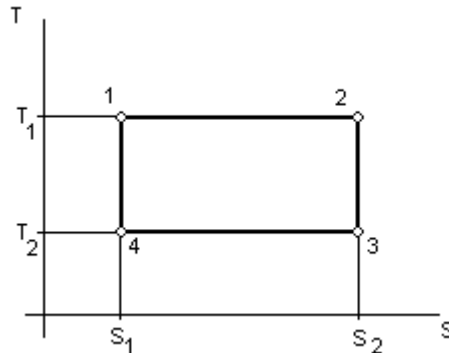
Obrázek 1 Obecné schéma tepelné elektrárny

Voda se v tepelných elektrárnách nevyužívá jen pro přenos energie, ale je důležitá také pro doplňování vody do pracovního cyklu výroby páry k pokrytí ztrát netěsnostmi. Dále se například využívá k chlazení oleje pro turbogenerátory, čištění spalin z kotlů, hydraulické dopravě strusky a popílku, mokrému čištění spalin, nebo pro požární a sociální účely.

## 1.2 Parovodní okruh

K popisu přeměny tepelné energie na mechanickou práci u parních turbínových zařízení nám slouží konkrétní parovodní cykly. Nejúčinnější parovodní cyklus, který by bylo možno realizovat, vymyslel Sadi Nicolas Léonard Carnot. Carnotův cyklus je ohraničen dvěma izotermami a adiabatami. V první fázi se plyn izotermicky rozpíná a při tomto rozpínání vykoná plyn na úkor dodaného tepla práci. Práce, kterou plyn vykonává v druhé fázi, vede

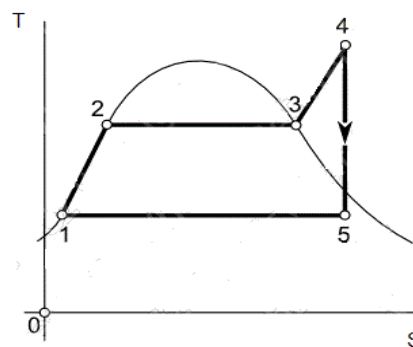
ke snížení vnitřní energie a tím k poklesu teploty. Ve třetí fázi probíhá izotermická stlačování, při kterém plyn vykoná práci, která se odevzdává okolí ve formě tepla. Při posledním ději, adiabatické kompresi, stlačujeme plyn, který je dokonale tepelně izolován a nedochází tak k výměně tepla s okolím. Energie dodaná plynu je spotřebována na zvýšení vnitřní energie plynu. Tento cyklus je vratný a všechny stavové změny mohou probíhat v obou směrech. [4]



**Obrázek 2 Carnotův cyklus (1-2 izotermická expanze, 2-3 adiabatická expanze, 3-4 izotermická komprese, 4-1 adiabatická komprese)**

Ideální Carnotův cyklus se v praxi běžně nevyskytuje. Skutečný pracovní cyklus tepelné elektrárny se skládá ze dvou stavových změn izobarických a dvou změn adiabatických. Nazývá se Clausius-Rankinův parní cyklus a platí pro něj tyto stavové změny:

Z bodu 1 – 2 (Obrázek 3) se napájecí voda „tlakuje“ do oběhu napájecím čerpadlem a ohřívá se v ohříváku až na bod varu. Mezi body 2 a 3 probíhá ve výparníku izobaricko-izotermická přeměna syté vody na sytou páru. Z bodu 3 do bodu 4 se voda v přehříváku přehřívá na vyšší teplotu a poté z bodu 4 do bodu 5 probíhá adiabatická expanze v turbině. Mezi body 5 – 6 pára odevzdá při konstantní teplotě výparné teplo chladicí vodě a stává se kondenzátem. [4]



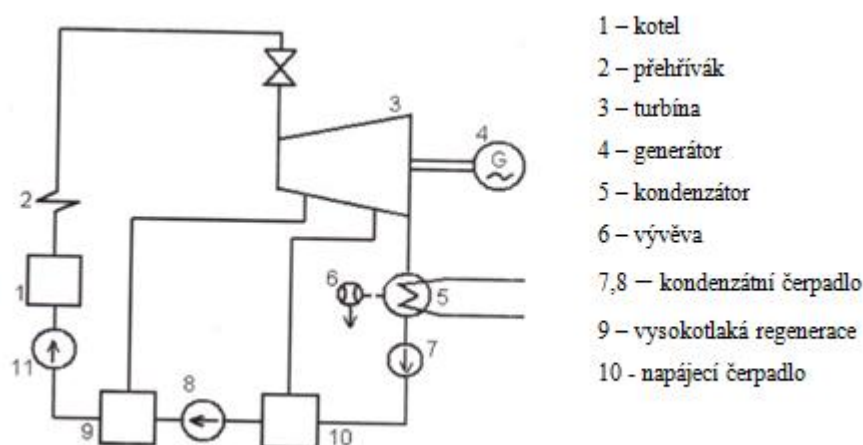
**Obrázek 3 T-S diagram Clausius-Rankinova cyklu [9]**

### 1.2.1 Zvyšování účinnosti

Účinnost klasických tepelných elektráren se pohybuje okolo 30 – 32 %. Zvýšení účinnosti lze dosáhnout buď zvýšením přivedeného tepla, nebo snížením odvedeného tepla, nebo oběma způsoby. Snížením tlaku v oběhu dosáhneme zmenšení odvedeného tepla. Toho dosahujeme různými způsoby, například regeneračním ohřevem vody, nebo přihříváním páry.

#### **Regenerační ohřev**

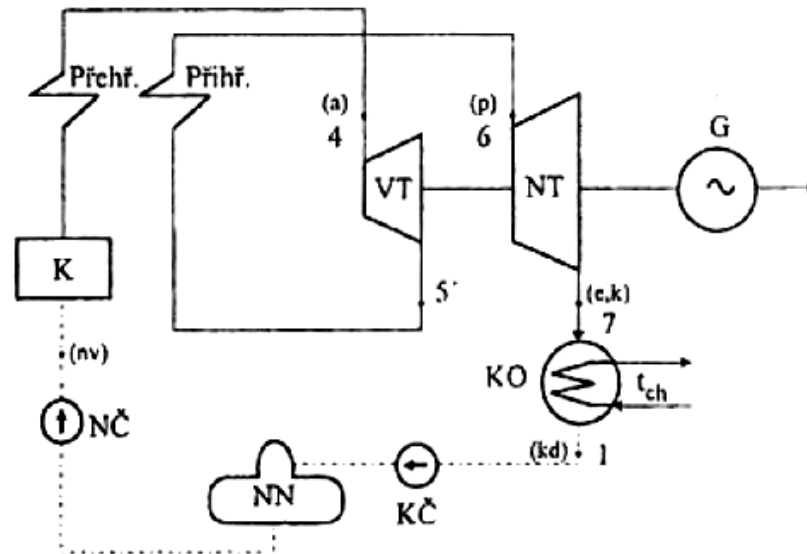
Regenerační ohřev se provádí odebráním páry v turbíně, pomocí níž se přehřeje napájecí voda před vstupem do kotle. Teplo je předáno napájecí vodě v regeneračním ohříváku napájecí vody během kondenzace páry. Obvykle obsahuje turbína několik odběrů a každý s vlastním regeneračním ohřívákem (vícestupňová regenerace). Odběr z vysokotlakých částí turbíny pro regeneraci se obvykle nazývá vysokotlaká regenerace, odběry v nízkotlakých částech turbíny nízkotlaká regenerace.



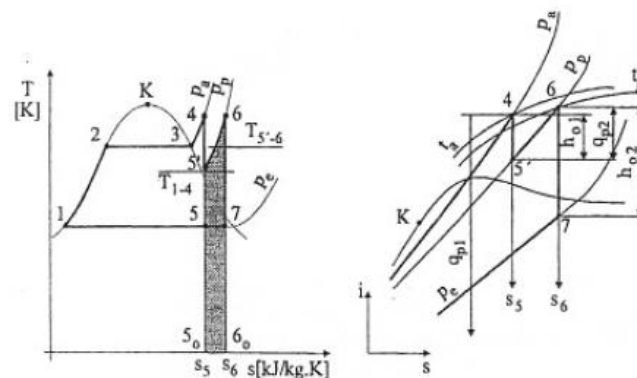
Obrázek 4 Schéma tepelné elektrárny s regeneračním ohřevem [5]

#### **Přihřívání páry**

Zvýšení účinnosti lze také dosáhnout opakováním přehřívání, tzv. přihříváním. Pára částečně expanduje ve vysokotlakém stupni turbíny a dále se zavádí zpět do přihříváku v kotli a odtud do dalšího stupně turbíny. Na vstupu do středotlakého, nebo nízkotlakého stupně turbíny má pára obvykle stejnou teplotu, jako na vstupu do stupně vysokotlaké. V této části turbíny pak pára expanduje na tlak kondenzátu, který je daný teplotou chladící vody. Teplo přeměněné na mechanickou energii se zvýšilo 5'-6-7-5 zatímco teplo, odvedené kondenzátorem se zvýšilo o plochu 5-7-6-5. Poměr těchto ploch dává poměrně vysokou účinnost C-R cyklu (Obrázek 6). [3]



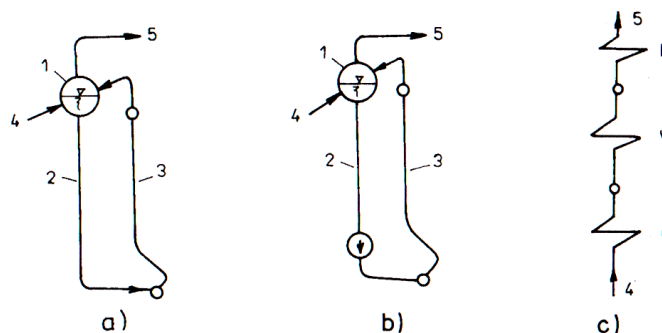
Obrázek 5 Schéma tepelného oběhu s přehříváním páry [3]



Obrázek 6 C-R cyklus přehřívání páry (T-S diagram vlevo, i-s diagram vpravo) [3]

### 1.2.2 Rozdělení parních kotlů

Parní kotle lze podle tlakového systému rozdělit na kotle s přirozeným, či nuceným oběhem a na kotle s průtočným výparníkem. U systémů s přirozeným oběhem je lehčí směs vody a páry vytlačována z varnic těžší vodou v zavodňovacích trubkách, u kotlů s nuceným oběhem je proudění vody ve varnicích podpořeno oběhovým čerpadlem a u průtočného výparníku chybí buben a není oběh vody. [6]



Obrázek 7 Schéma tlakového systému parního kotle [6]

Kotle se označují jmenovitým hmotnostním průtokem páry, jmenovitým tlakem vyráběné páry, jmenovitou teplotou přehřáté a přihřáté páry, typem spalovacího zařízení, druhem paliva, způsobem cirkulace vody v kotli a případně číslem normy. Doporučené hodnoty základních parametrů parních kotlů uvádí tabulka na (Tabulka 1). [7]

Tabulka 1 Doporučené hodnoty základních parametrů parních kotlů [7]

Tlak páry [MPa]			Teplota páry [°C]		Dovolené odchylky od jmenovité teploty [°C]		Teplota přehřáté páry [°C]		Teplota napájecí vody při jmenovité výkonnosti [°C]			Jmenovitá výkonnost kotle [t/h]
Jmenovitý	Max	Konstrukční	Jmenovitá	Max	+	-	Jmenovitá	Max	Max	Jmenovitá	Min	
			sytá	sytá	-	-				20	-	
0,85	0,9	1,0	200	230	30	15	-	-	-	50	-	1;2,5
1,35	1,4	1,55	250	280	30	15	-	-	-	20	-	1;2,5;4;6;8;12
			300	330						50		
			350	380						105		
2,5	2,6	2,9	380	400	20	15	-	-	-	105	-	4;6;8;12;16;25

### 1.2.3 Bilance vody v parním okruhu tepláren

Jak již bylo řečeno, voda v tepelných elektrárnách (i teplárnách) se využívá více způsoby. Do parovodního cyklu je především velmi důležité pokrýt ztráty, které v okruhu vznikají, buď díky odluhu a odkalu, nebo vlivem horšího technického stavu zařízení. Celková potřeba přídavné vody pro parní okruh je dána součtem vnitřních a vnějších ztrát. [5]

**Bilance páry**

$$m_a = m_r + m_o + m_{OT} + m_k \quad (1.1)$$

kde  $m_r$  odběr páry pro regenerační ohřev napájecí vody

$m_o$  pára pro odparku

$m_k$  pára do kondenzátoru

$m_{OT}$  odběr pro externí dodávky tepla

**Bilance napájecí vody**

$$m_{nv} = m_{KO} + m_{odl} + m_{Ch} \quad (1.2)$$

kde  $m_{KO}$  parní výkon kotlů

$m_{odl}$  odluh a odkal kotlů

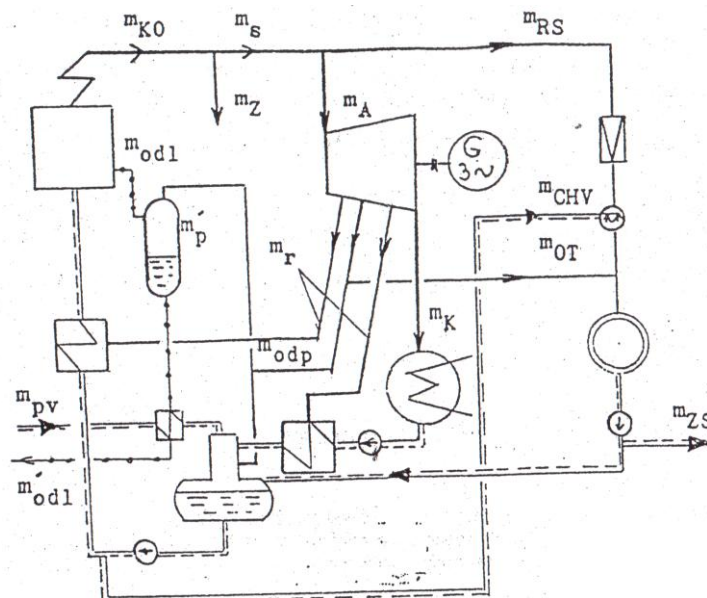
$m_{Ch}$  množství vody pro chladicí stanici redukce páry

**Bilance přídavné vody**

$$m_{pv} = m_{zv} + m_{zs} \quad (1.3)$$

kde  $m_{zv}$  ztráty vnitřní

$m_{zs}$  ztráty vnější

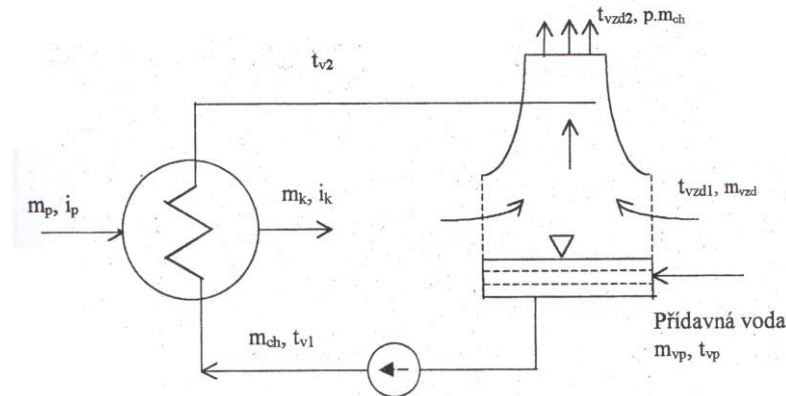


Obrázek 8 Bilance vody v pracovním okruhu teplárny (v TE stejný systém, jen bez využití páry pro externí dodávání tepla) [5]



### 1.3 Chladicí okruh

Aby pára v kondenzátoru zkapalněla, musí být ochlazena. K tomu slouží kondenzátor, do kterého je přiváděna pára z posledního stupně turbíny a poté kondenzuje na trubkách chlazených chladicí vodou. Chladicí voda je přiváděna z chladicích věží, pomocí čerpadel a z kondenzátoru poté odvádí teplo zpět do chladicí věže.



Obrázek 9 Schéma chlazení kondenzátoru [2]

Pro samotné chlazení se většinou používají tzv. výparné chladiče. V nich dochází k přímému styku ochlazované vody s nasyceným ochlazovaným vzduchem. Část vody se při tom odpaří a potřebné výparné teplo se odebere chlazené vodě. V těchto chladičích probíhá přenos tepla současně s přenosem hmotnosti vodní páry do vzduchu. [5]

Při chlazení je nutné dosáhnout co největší plochy pro styk vody a vzduchu. Existuje několik typů výparných chladičů[5]:

- Sprchové bazény
- Gradovny
- Chladicí věže s přirozeným tahem
- Ventilátorové chladicí věže

#### *Sprchové bazény*

Zde se voda rozstříkuje buď nahoru, nebo dolů soustavou trysek, které jsou zavedeny tak, aby byl zajištěn dostatečný průchod vzduchu. Tento typ chlazení má značnou spotřebu vody.

### **Gradovny**

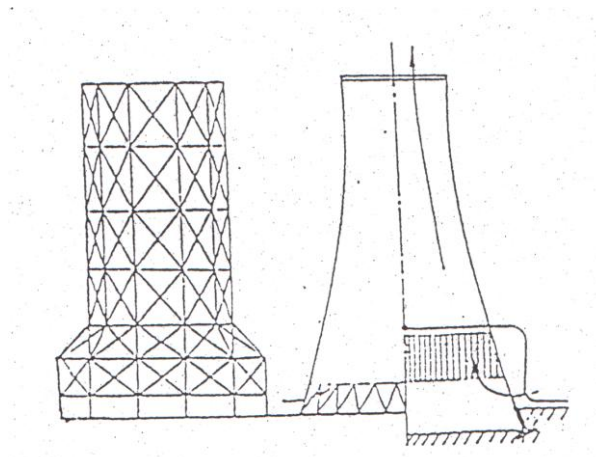
Jsou zařízení, která využívají výhradně příčného proudění vzduchu. Uvnitř je vedena laťková mřížová soustava, po které stéká voda a je ochlazována proudícím větrem. Používali se u starých zařízení.



Obrázek 10 Gradovna [10]

### **Chladicí věže s přirozeným tahem**

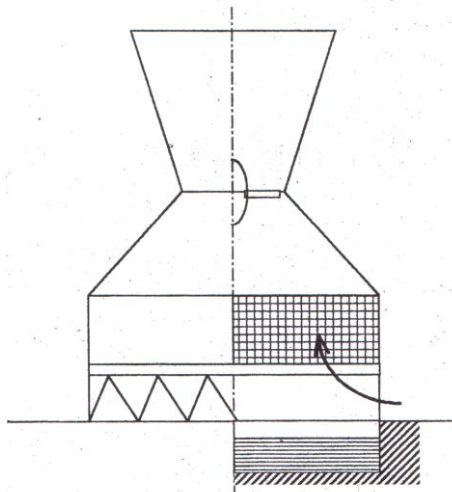
Tento typ chladiče patří k nejrozšířenějším. Proudění vzduchu je zajištěno přirozeným tahem z komína, což je vlastně nadstavba nad pláštěm. Voda se v nich rozstříkuje shora a protiproudem postupuje vzduch. Tyto věže jsou většinou železobetonové konstrukce (pro velké výkony kondenzačních a jaderných elektráren). Nejčastěji bývá použito skořepinové konstrukce ve tvaru rotačního hyperboloidu. Tepelné zatížení tohoto chladiče je kolem  $80 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ . Optimální teplota ochlazené vody se pohybuje okolo  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . [5]



Obrázek 11 Chladicí věž s přirozeným tahem [5]

**Chladicí věže s nuceným tahem**

Tyto chladicí věže zajišťují umělým tahem lepší styk se vzduchem, tím pádem intenzivnější chlazení, pro menší nároky na velikost plochy. Tyto věže se staví jako článkové, takže se sestavují v baterie. [5]



Obrázek 12 Chladicí věž s nuceným tahem [5]

Tabulka 2 Základní typy ventilátorových chladicích věží z nabídky Chladicí věže Praha a.s. [11]

Průměr ventilátoru	Hydraulický výkon [m <sup>3</sup> /h]	Tepelný výkon [MW]
4,5 m	200 – 600	2 – 10
6 m	500 – 1500	3 – 25
8 m	900 - 2600	6 - 45

**1.4 Zdroje a zásobování vodou**

Zdroje vody se dělí na přirozené a umělé. Přirozené jsou vody povrchové (řeky, jezera, resp. moře) a podzemní (spodní vody, studny a podzemní zásobníky). V energetice se pro přípravu vody používá především povrchová voda. V Čechách se většina energetických zařízení nachází na Vltavě, Labi a Ohři. Vltava s Ohří se vlévají do Labe, čímž významně ovlivňují kvalitu vody.

Pro zpracování projektu zásobování vodou je nezbytné znát:

- velikost průtoku vody v závislosti na ročních obdobích
- jakost vody
- teplotu vody

Průtok je velmi slně ovlivněn klimatickými podmínkami a je značně nerovnoměrný. Dodávka vody musí být však zajištěna ve všech obdobích. Pro zásobování z vodních zdrojů se převážně používá cirkulačních systémů, takže z vodních zdrojů se kryjí ztráty v cirkulačním kruhu. Kromě cirkulačního systému existují dále systémy průtočné a postupné.

### ***Cirkulační systémy***

Využívají se v případě, kdy je velká spotřeba vody, možnosti odběru vody omezené a kde odpadní voda nevyžaduje nákladnou úpravu. První čerpací stanicí se do systému přivádí pouze přídatná voda na pokrytí ztrát v oběhu. Čerpací stanicí druhého stupně se voda čerpá do jednotlivých technologických celků. Úprava pak nadále spočívá v odstranění mechanických nečistot a ochlazení. [5]

### ***Průtočné systémy***

Používají se buď v případech, kdy je potřeba vody menší, nebo při možnosti odebírat vodu z bohatých vodních zdrojů (v podmínkách ČR výjimečné). Voda je čerpána přímo k jednotlivým úsekům a z každého se po úpravě buď v jednotlivé, nebo centrální úpravně vrací zpět do zdroje. [5]

### ***Postupný systém***

Spočívá v seřazení jednotlivých technologických úseků podle potřebné jakosti vody. To znamená, že voda z jednoho úseku, pokračuje po úpravě (např. ochlazení) do dalšího úseku. Po závěrečné úpravě se může vrátit do vodního zdroje. [5]

### ***Čerpací stanice***

Čerpací stanice slouží jednak k čerpání vody z vodního zdroje, jednak z nádrží do technologických procesů. Technologickou část čerpacích stanic tvoří strojovna s čerpacími agregáty, potrubím, ovládním a elektrotechnickým zařízením s rozvaděčem. Stavební část pak tvoří jímka na sací straně čerpadel a budovy strojovny s jeřábovou dráhou (příp. místnost pro obsluhu, dílna, sklad atd.). Vybaveny jsou např. vertikálními nebo horizontálními čerpadly podle požadovaného výkonu a tlaku. [5]

## 2 Úprava vody

### 2.1 Úprava napájecí vody pro kotle

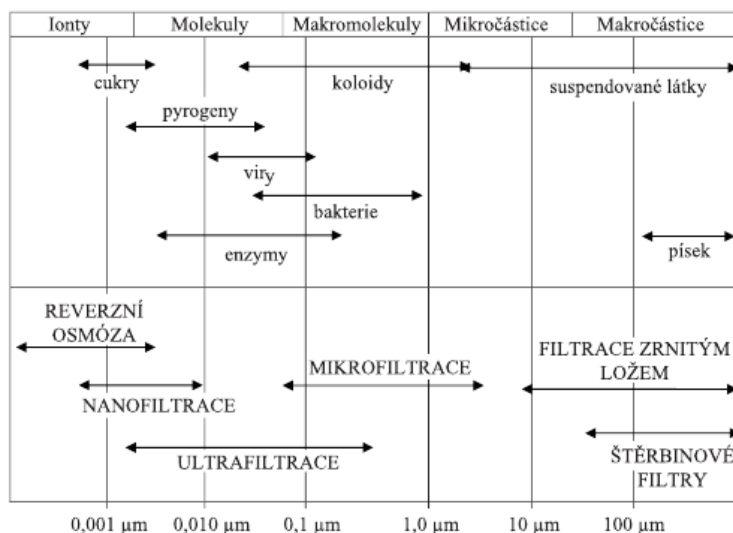
Úpravu napájecí vody lze rozdělit do těchto fází:

- Předúprava vody
- Demineralizace vody
- Odplynění vody

#### 2.1.1 Přeúprava vody

Předúprava vody znamená odstranění hrubých a jemných nečistot, koloidně rozpouštěných anorganických i organických látek. Předúprava se skládá z:

- a) hrubého předčištění – odstraňují se nečistoty velikosti řádově v cm.
- b) sedimentace – odstraňují se nečistoty řádově  $10^{-6}$  –  $10^{-3}$  m (suspenze a mechanické nečistoty)
- c) čiření – chemická úprava vody, odstranění koloidně rozpouštěných nečistot velikosti  $10^{-8}$  –  $10^{-6}$  m, případně i suspendovaných látek
- d) filtrace čiřené vody



Obrázek 13: velikost jednotlivých částic ve vodě a metody jejich přímého odstranění [1]

#### *Hrubé předčištění*

Jedná se o plovoucí nečistoty povrchových vod, např. listy, větve atd. Ty se odstraňují pomocí tzv. česlí. Česle, se poté čistí od zachycovaných nečistot pomocí schrábek. Dále se využívají např. síťové filtry.

### ***Sedimentace***

Mechanické částice těžší než voda se zachycují v lapačích písku a štěrku, v lapačích tuků a olejů. Princip je ve snížení rychlosti proudění, takže se částice postupně usazují. [1]

### ***Flotace***

Kromě sedimentace můžeme pro odstranění látek z vody použít i proces flotace. Princip této metody je v separaci látek z vody na základě rozdílných hustot. Flotace se provádí různými způsoby. Při jednoduché flotaci jde o jednoduché vynášení látek lehčích než voda na hladinu, při bublinkové flotaci se rozptýlí vzduch do vody nebo uvolní plyn z vody a tím se vytváří bublinky, které dispergované částice vynesou na povrch. [1,5]

### ***Číření***

Číření je proces, při kterém se prostřednictvím chemických činidel (sírany, chloridy) vytvářejí ve vodě vločky o velikosti, která umožňuje odstranění nechtěných látek nebo částic sedimentací. Na vločkách se potom zachycují rozptýlené částice, které z vody nejdou jiným způsobem odstranit. Tento jev se nazývá kolagulace. Jako kolagurátoru se tedy používá např. síranu železnatého, síranu hlinitého, chloridu železitého nebo hlinitanu sodného. Vznikající hydroxidy železa nebo hliníku vytvářejí vločky, které na sebe vážou koloidně rozpouštěné látky. Pro urychlení tvorby se instaluje ještě mísící zařízení, které dodá potřebnou energii pro tvorbu separované vločky. Jelikož se při koagulační filtraci odstraňují veškeré nerozpouštěné látky včetně kalu z kolagulantu, jsou při stejném intervalu praní používané menší rychlosti, než při klasické filtraci.

Doba sedimentace částice je dána její velikostí, tvarem, specifickou hmotností, jejich koncentrací, přítomností větších částic atd. Na velikosti částic a jejich sedimentační rychlosti závisí potřebná doba zdržení v sedimentaci. Podle této doby zdržení se odvíjí velikost sedimentačních zařízení. [1]

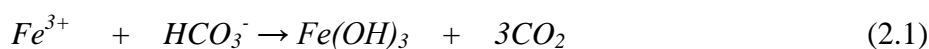
**Tabulka 3: Teoretická závislost sedimentační rychlosti částice na její velikosti při 1 m výšce sloupce. [1]**

Průměr částice ( $\mu\text{m}$ )	Typ částice	Doba sedimentace	Měrný povrch
1000	písek	10 sekund	$6 \times 10^3$
100	Jemný písek	2 minuty	$6 \times 10^4$
10	Jíl	2 hodiny	$6 \times 10^5$
1	Bakterie	8 dní	$6 \times 10^6$
0,1	Koloid	2 roky	$6 \times 10^7$
0,01	koloid	20 let	$6 \times 10^8$
0,001	koloid	200 let	$6 \times 10^9$

Hlavním faktorem při volbě předúpravy je alkalita vody, resp. určení, které soli a látky se z vody odstraní na přípustné hodnoty. Tím určujeme, zda bude vhodnější alkalické, nebo kyselé čiření.

### ***Kyselé čiření***

Suspendované látky mají obvykle záporný náboj, takže ke koagulaci je třeba přidat látku, jejíž náboj je kladný. Při kyselém čiření vnáší tento náboj sraženina oxidů nebo hydroxidů Fe nebo Al. Při přípravě demineralizované vody, se častěji používá železitý koagulant. Hlinitých solí je častěji používáno pro přípravu pitné vody.



Čiřená voda má obvykle pH 5,5 – 7 podle obsahu uvolněného CO<sub>2</sub> a podle alkality čiřené vody. Podmínkou je, aby alkalita surové vody byla vyšší než dávka koagulantu. Je-li potřebná dávka koagulantu vyšší než alkalita vody, nedojde k dokonalému vysrážení celé látky, pH upravené vody se posune do kyseléjší oblasti a díky tomu bude v čiřené, případně i ve filtrované vodě vysoký obsah Fe. Tento stav může nastat i přechodně, zejména po deštích nebo při tání atd. [1, 2]

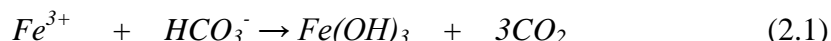
### ***Neutrální čiření***

Další možností je čiření vody v neutrální oblasti (např. při úpravě pitných vod). V neutrálním pH záporný náboj nečistot stoupá a naopak účinný náboj oxidů železa klesá, takže se dávky koagulantu zvyšují a tím klesá kvalita čiřené vody. Obvykle se podle typu organického znečištění pracuje v rozmezí pH 6-7. Současně s koagulátem se také dává alkalizační činidlo (např. NaOH). Surovou vodu s vysokou alkalitou není nutné čiřit s přidaným alkalizačním činidlem. [1, 2]

### ***Alkalické čiření***

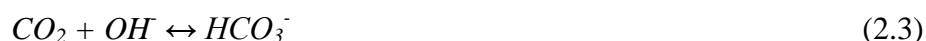
Při koncentracích HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> iontů nad 2 mmol l<sup>-1</sup> je výhodné pracovat v alkalické oblasti, kdy dochází současně k dekarbonizaci, tudíž ke snížení solnosti upravené vody při použití například Ca(OH)<sub>2</sub>. Pro tento účel se používají hlavně Fe<sup>3+</sup> soli, Al<sup>3+</sup> jsou při tomto procesu příliš rozpustné (pH 9,6 až 10,5). Výhodou tohoto čiření je nízká korozivita vody. Jako první činidlo je přidáván anorganický koagulant. Dávka koagulantu není jednoznačná jako u kyselého čiření.

Stejně jako při kyselém čiření proběhne reakce:



V surové vodě bývají obvykle obsaženy ionty  $HCO_3^-$  v rovnováze s rozpuštěným  $CO_2$  (obvykle do  $10 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Při alkalizaci vápnem na pH 10 jsou tyto formy  $CO_2$  (včetně  $CO_2$  uvolněného v reakci 1.1) převedeny na ionty  $CO_3^{2-}$ . Další průběh už je závislý na složení surové vody (na podílu kationtů vyvážených anionty  $HCO_3^-$ ). V našich podmínkách má většina povrchových i podzemních vod složení takové, že obsah  $Ca^{2+}$  je vyšší než alkalita vody.

Při alkalickém čiření probíhají následující reakce:



Podle toho, která z těchto reakcí se více podílí na složení kalu, lze tento proces považovat buď za alkalické čiření, kde je převaha  $Fe(OH)_3$ , nebo za dekarbonizaci s dávkováním koagulantu pro urychlení sedimentace, kdy je převaha  $CaCO_3$ .

Aby proběhlo alkalické čiření uspokojivě, musí být obě složky obsažené v určitém poměru. Pro posouzení jeho vhodnosti je udáván vzorec:

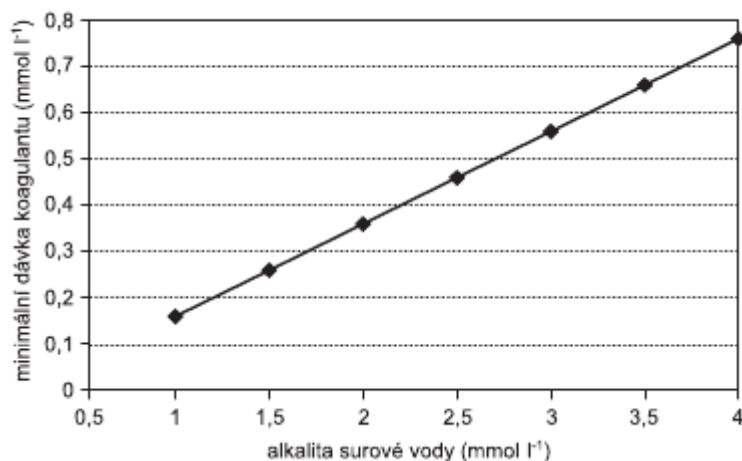
$$\alpha = \frac{[Fe(OH)_3]}{[CaCO_3]} \cdot 100 \% \quad (2.6)$$

Jako optimální hodnota poměru se udává 10 – 60 %. Použitím vztahů ( 2.2) až ( 2.5) tedy dostáváme:

$$\alpha = \frac{[Fe(OH)_3]}{2[HCO_3^-] + [m_{CO_2} / 22] - [CaCO_3]_r} \cdot 100 \% \quad (2.7)$$

Minimální dávka koagulantu, při které je  $\alpha=10 \%$  závisí na alkalitě vstupní vody. Běžně používané dávky koagulantu se pohybují okolo  $5 \text{ mmol.l}^{-1}$ . [1, 2]

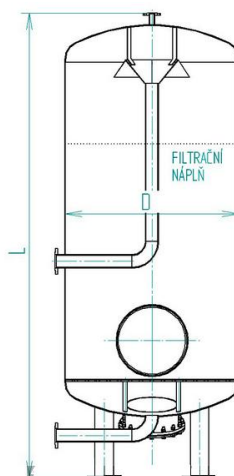




Obrázek 14 Graf minimální dávky koagulantu v závislosti na alkalitě vody [2]

### *Filtrace čířené vody*

Čířená voda obsahuje částice, které nebylo možno odstranit sedimentací. Koncentrace kalu v čířené vodě bývá v běžných zařízeních okolo  $5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . K odstranění kalu se používá pískový filtr. Pískový filtr je oválná nádoba s klenutým dnem, nad kterým je ještě falešné dno, opatřené filtračními tryskami. Jako filtrační médium se nejčastěji používá písek, mohou se ale využívat i speciálně tříděné frakce černého uhlí nebo antracitu. Pokud se částice o velikosti 1 až 2 mm dostanou na dostatečně malou vzdálenost k zrnku písku, přichycují se k povrchu písku přitažlivými adhezními silami. Objem filtračního lože se postupně zaplňuje kalem až do doby, kdy je koncentrace nezachycených částic již nepřijatelná. Poté je filtr odstaven a nahrazen jiným. Odstavený filtr se pere pomocí vody a vzduchu a po vyčištění může být znovu zařazen do provozu. [5,7]



Obrázek 15 Pískový filtr [12]

### 2.1.2 Demineralizace

Při úplné demineralizaci vody jsou všechny ve vodě rozpuštěné anionty a kationty zaměněny za ionty vodíku a hydroxylové ionty. Ionty vodíku a hydroxyly se v produkované vodě změní na molekuly vody tak, že je dosaženo úplného odsolení.

Pro demineralizaci vody se využívá membránových procesů, nejvíce takzvané reverzní osmózy.

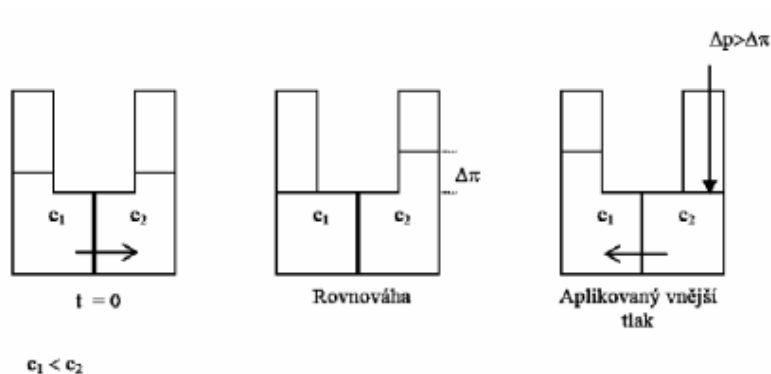
#### *Membránové procesy*

Celkový princip membránových procesů spočívá ve vlastnosti magnetického pole změnit krystalické mřížky roztoků. Do potrubí jsou umístěny silné permanentní magnety nebo elektromagnety. Průchodem surové vody magnetickým polem se vytvoří nestabilní, nesouvislé drobné krystaly, které se při oteplení vody vyloučí ve formě teplého kalu a ne ve formě tvrdého nánosu kotelního kamene. Pro tuto úpravu už nesmí voda obsahovat suspendované a koloidní látky. Celkový obsah vápenatých a hořečnatých solí musí být menší než  $14 \text{ mmol.l}^{-1}$  a maximální obsah železa menší než  $0,3-0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ .

#### *Reverzní osmóza*

Oddělíme-li dva různě koncentrované roztoky polopropustnou membránou, propouštějící pouze vodu, začne přirozenou cestou proudit voda z prostředí zředěnějšího do koncentrovanějšího a tento děj se nazývá osmóza. Po určité době dojde k ustálení, přičemž se ustálí hladina v části s koncentrovanějším roztokem výše. Rozdíl hladin pak odpovídá osmotickému tlaku.

Působíme-li na koncentrovanější roztok tlakem, začíná se průtok vody ze zředěnějšího do koncentrovanějšího zpomalovat a v okamžiku vyrovnání osmotického tlaku s vnějším tlakem se průtok vody zastaví. Zvýšíme-li vnější tlak nad osmotický, začne voda proudit opačným směrem. Ten to děj se nazývá obrácená, neboli reverzní osmóza.

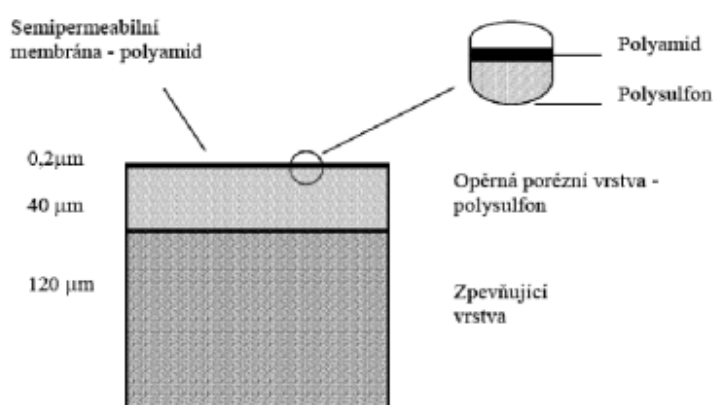


Obrázek 16 Princip reverzní osmózy [1]

Reverzně osmotická separační membrána má strukturu zachycující většinu procházejících iontů. Použitý tlak tedy závisí na koncentraci roztoku. U mořské vody se využívá tlak v rozmezí 5 – 7 MPa, u brakických vod 1,5 – 2,5 MPa. Uspořádání membrány probíhá v příčném toku, což omezuje zanášení membrány. Reverzně osmotické membrány také zachycují dispergované částice, koloidy, bakterie, viry a makromolekulární látky.

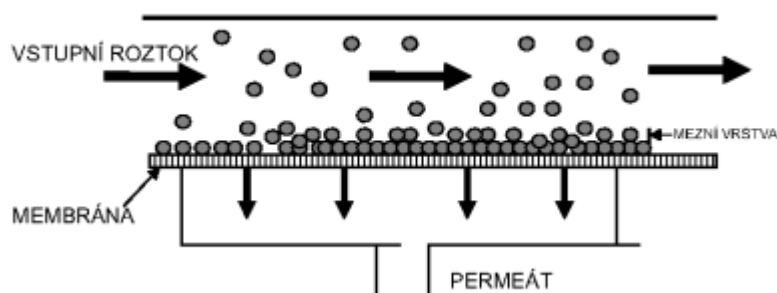
Zlepšování homogenity a průtočnosti aktivní vrstvy vede ke zvyšování průtočnosti membrány při daném tlaku a teplotě. Zde není vývoj ještě ukončen a dochází ke snižování pracovních tlaků při nezměněné velikosti modulů. Dříve byly pracovní tlaky vyšší než 2,5 MPa, zatímco dnes se dosahuje stejného průtoku mezi tlaky 0,5 – 1,5 MPa.

Na (Obrázek 18) je znázorněn typ kompozitní membrány s aktivní vrstvou o tloušťce 0,2  $\mu\text{m}$ , pod kterou je podpůrná mikroporézní membrána a polyesterová podpůrná tkanina.



Obrázek 17 Kompozitní membrána [2]

Dnes se převážně používá systém cross-flow, při němž odsolovaná voda proudí kolem membrány, rozpouštěné látky jsou unášeny proudem a nedojde ke koncentrování kolem membrány. Moderní spirálové, reverzně-osmotické elementy obsahují takzvané „spacery“, které zajišťují mezi jednotlivými membránami dostatečnou turbulenci, aby nedocházelo k usazování nečistot. [1, 2, 5]



Obrázek 18 Princip spirálně vinutého modulu [2]

Tabulka 4 Požadavky na vstupní vodu [13]

Teplota vstupní vody [°C]	10 - 25°C
Tlak vstupní vody [bar]	2 – 6
Pracovní tlak [bar]	13,8 - 15
Maximální obsah aktivního chloru [mg/l]	0,1
Maximální hodnota železa a manganu [mg/l]	0,15
Hodnota pH	2 – 11

Při návrhu a pozorování membránové jednotky pro úpravu napájecí vody je jedním z parametrů konverzní poměr  $Y$ . Ten vyjadřuje množství upravené vody k množství vody v nástřiku. Čím je vyšší hodnota  $Y$ , tím je vyšší zastoupení rozpouštěných látek. Zároveň se snižuje i spotřeba energie. Také je ale při vyšších hodnotách  $Y$  větší osmotický tlak a tím pádem vyšší riziko zanášení membrán. Hodnoty  $Y$  se pohybuje většinou v rozmezí 60 – 90 %. [5]

Pro nejlepší výkon membrány je nezbytné zajistit velkou aktivní plochu membrány, především kvůli relativně nízké intenzitě toku, cca 1 m<sup>2</sup> za hodinu.

*Technické parametry jednotlivých členů demineralizace:*

- Objemový průtok (objem roztoku vztažený na objem ionexu)
- Užitečná kapacita
- Kvalita upravované vody

### 2.1.3 Odplynění vody

V kondenzátu a přídavné vodě pro kotle může docházet ke kyslíkové a vodíkové korozi. Kyslíkové koroze probíhají zejména na místech, kde je ochranná vrstva porušena a vzniká nebezpečná důlková koroze, zatímco vodíková koroze působí plošně. Z tohoto důvodu je při úpravě vody snaha maximálně obsah kyslíku ve vodě omezit. Napájecí voda se obvykle termicky odplyňuje v odplyňovacích zařízeních, takzvaných termických odplyňovačích.

#### *Termické odplynění*

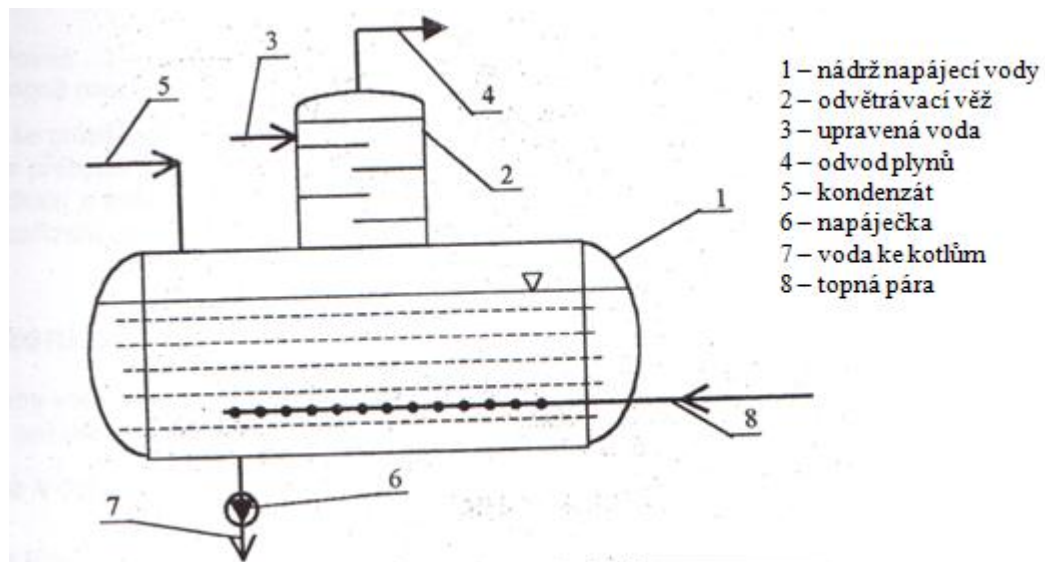
Rozpustnost plynů ve vodě se řídí Henryho zákonem. V jeho upravené formě se hmotnostní koncentrace plynu ve vodě vyjádří jako:

$$w_i = \alpha_i \cdot p_i \cdot \rho_i \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (2.8)$$

kde	$\rho$	hustota plynu při 0°C a tlaku 101,325 kPa
	$\alpha$	Bunsenův absorpční součinitel – objem čistého plynu při normálním stavu v jednotkovém objemu čisté vody
	$p$	parciální tlak plynu [MPa]

Součinitel  $\alpha_i$  je závislý na teplotě a u kyslíku s rostoucí teplotou klesá. Minima dosahuje kolem 112°C a pak opět stoupá. Zvýšením teploty vody lze dosáhnout snížení obsahu kyslíku ve vodě. Nový rovnovážný stav připustí ve vodě nižší obsah plynů a přebytečný plyn odchází z vody ve formě bublinek.

Odplyňovacích zařízení mohou být různé druhy, například kaskádové (Obrázek 20), sprchové, nebo atomizační s tryskou. V těchto zařízeních dochází k maximálnímu kontaktu s párou, kdy dochází nejdříve k dohřátí na teplotu blízkou bodu varu a poté k odplynění.



Obrázek 19 napájecí nádrž s odplyňovačem

Odplynění se provádí v případě nízkých a středních tlaků kolem 105°C, pro vyšší tlaky při cca 140°C. Pro zajištění nízkého obsahu kyslíku ve vodě se může využít i chemického odplynění. Pro kotle do tlaku 6 MPa se používá siřičitan sodný, pro vyšší tlaky hydrazin, který kromě schopnosti odstraňovat kyslík ale také reaguje s ionty Fe a Cu a tím stabilizuje ochrannou vrstvu na povrchu trubek. [1, 2, 5]

Pro úpravu vody se podle potřeby využívá mnoho dalších procesů. Jako jsou desilikace nebo dekarbonizace.

Dekarbonizace je ustraňování iontů  $\text{HCO}_3^-$  z vody. Tento proces je kombinován s měkčením vody kyselým katexem  $\text{Na}^+$ , například v rovnici (2.9).



$\text{NaHCO}_3$  je ve vodě rozpustný a v kotli se rozpadá na normální uhličitán a ten dále na NaOH. Tím se zvyšuje alkalita kotelní vody a tím nutnost odluhování.

Desilikace vody znamená snižování obsahu  $\text{SiO}_2$  v napájecí a kotlové vodě. Odstranění křemičitých solí se provádí buď desilikací vápnem, kdy se voda vápnem nasytí, aby se obsah  $\text{SiO}_2$  snížil, nebo pomocí silně bazických anoxů.

## 2.2 Úprava chladicí vody

### 2.2.1 Úprava přídavné vody

Způsob úpravy přídavné vody závisí na složení vody a velikosti chladicího zařízení. U malých systémů se voda buď neupravuje a stupeň zahuštění se přizpůsobuje složení přídavné vody, nebo se přídavná voda upravuje pouze přidáním chemikálií.

U velkých systémů je již snaha dosáhnout maximálního zahuštění a tím docílit snížení spotřeby přídavné vody. Dále pak záleží na velikosti objemu, kde se používají buď klasické postupy úpravy, čiření a filtrace nebo přídavné chemikálie.

#### *Písková filtrace*

V některých případech se využívá po úpravu vody pouze filtrace. Ta se provádí pouze při alkalitě surové vody pod  $1 \text{ mmol.l}^{-1}$  a relativně nízkých suspendovaných látkách. Díky vysokému odluhu je tento provoz jinak výrazně neekonomický.

#### *Čiření*

Z hlediska ekonomiky provozu chladicího okruhu se používá především úplná dekarbonizace, díky níž lze dosáhnout vyššího zahuštění. Podle alkality vstupní vody se využívá buď čiření alkalického, nebo čiření kyselého. Při čiření se bez větších problémů dají zvládnout problémy například při tání nebo při deštích, kdy je koncentrace suspendovaných látek výrazně zvýšena.

#### *Mikrosíta*

Další možností je také využití štěrbinových filtrů, takzvaných mikrosít. V současnosti je nejmenší dostupný průměr cca  $50 \mu\text{m}$ . Podle různých analýz je prokázáno, že téměř 100 % částic v povrchové vodě má velikost do  $20 \mu\text{m}$ . Proto se pro odstranění těchto suspendovaných látek používají nepratelné filtrační patrony. Jejich cena je ale poměrně vysoká takže stoupají i provozní náklady na výměnu těchto patronů. Z toho důvodu se využívají převážně jen na dočišťování velmi čistých vod, například jako ochrana před reverzní osmózou. [2, 5]

### 2.2.2 Úprava cirkulační vody

Úprava cirkulační vody závisí opět na složení vody a velikosti chladicího zařízení. U malých oběhových systémů se voda obvykle neupravuje a u velkých chladicích systémů se využívá boční filtrace.

#### **Boční filtrace**

Boční filtrace se využívá podle upravení přídavné vody. Pokud je přídavná voda upravená čiřením nebo filtrací, obsah suspendovaných látek je obvykle pod  $5 \text{ mg.l}^{-1}$ , takže nebývá problém s větším množstvím suspendovaných látek v oběhové vodě. Pokud přídavná voda upravovaná není, musí být zařazena boční filtrace.

Téměř výhradně se používá písková filtrace, která odstraní téměř všechny suspendované látky. U tohoto postupu je rozhodující vodní obsah celé chladicí soustavy, jelikož k přefiltrování celého objemu by mělo dojít během 2 – 4 dnů. Pískové lože odstraňuje částice větší než 10 – 20  $\mu\text{m}$ . Během filtračního cyklu se v horní části vytváří filtrační koláč, který působí koagulaci suspendovaných látek a zároveň odstraní i částice menší než 10  $\mu\text{m}$ . Filtrační období se pohybují v řádech dnů.

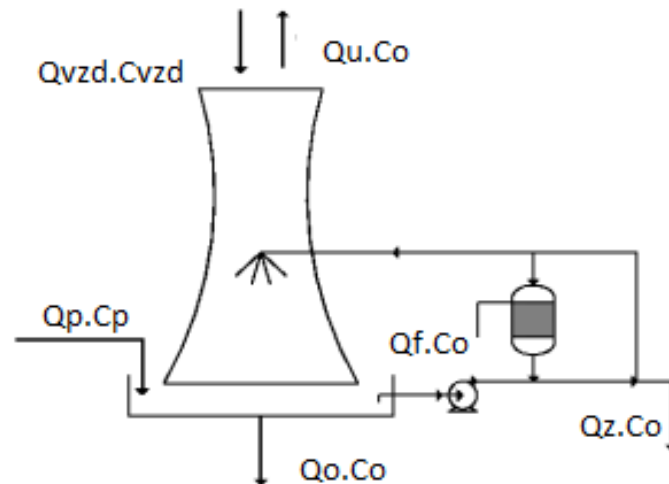
Doba praní trvá zhruba 30 minut a voda se po tuto dobu vede obtokem. Pro tuto aplikaci se filtry navrhují na vyšší průtočné rychlosti cca  $20 \text{ m.h}^{-1}$ . Aby byla boční filtrace úspěšná, musí být obsah chlazení homogenní, čehož se dosahuje pomocí dispergačních činidel.

Koncentrace suspendovaných látek v oběhu je vyjádřena vztahem:

$$c_o = \frac{c_p(Q_o + Q_v) + Q_{vzd} \cdot c_{vzd}}{f \cdot Q_f + Q_o} \quad (2.9)$$

kde	$f$	účinnost filtračního členu
	$c_p$	koncentrace suspendovaných látek v přídavné vodě
	$Q_{vzd}$	průtok vzduchu
	$c_{vzd}$	koncentrace suspendovaných částic ve vzduchu
	$Q_f$	průtok filtrem





Obrázek 20 Bilance nerozpuštěných látek při zařazení boční filtrace [ ]

Hlavní část suspendovaných látek je z okruhu odváděna odluhem. Nastavením průtoku vody se vytváří požadovaný obsah suspendovaných částic v okruhu. Požadovaná hodnota bývá obvykle  $20 - 30 \text{ mg.l}^{-1}$ .

Pro dosažení co nejvyšší účinnosti se používají různé druhy filtračních náplní s různou velikostí zrn. Pro boční filtraci vyhovuje standardní zrnění písku  $1 - 2 \text{ mm}$ . Návrh filtrace by měl brát v úvahu jak minimální průtočnou rychlost, z hydraulických důvodů, tak minimální délku pracovního cyklu, což bývá obvykle 8 hodin. [2, 5]

### **3 Možná rizika nedodržení kvality vody z hlediska technologie provozu a životního prostředí**

#### **3.1 Kvalita napájecí vody**

Požadavky na kvalitu napájecí vody velkých elektrárenských bloků jsou vysoké a upravená voda musí být zbavena všech mechanických nečistot, organických látek v rozpuštěné i koloidní podobě, všech forem kyseliny křemičité a dále rozpuštěných i koloidních anorganických látek. Úprava vody musí být dodržena, aby nedocházelo k různým nánosům a tím snižování výkonu elektrárny. Napájecí voda musí být také odplyněna, aby nedocházelo ke korozím.

Organické látky se za tepelných podmínek v kotli mohou štěpit na sloučeniny, které snižují povrchové napětí kotlové vody, což může způsobit nežádoucí pění vody v kotli a její přestříky do páry a následně zasolování turbíny. V místech vysokého tepelného zatížení varných trubek mohou tyto organické sloučeniny vytvářet porézní vrstvy, které pak výrazně snižují přestup tepla z povrchu trubky do kotlové vody. Izolační vrstva způsobuje přehřátí materiálu trubek a ty jsou pak více namáhány a může dojít až k jejich roztržení. Z těchto důvodů nesmí být ve vodě žádný obsah olejů. Porézní izolační vrstvy na varných trubkách vytváří také koloidní formy železa a mědi, která se dostává do vody korozí mosazných trubek kondenzátoru. Pokud by nebyl dodržen postup měkčení vody, tvrdost v napájecí vodě by způsobila tvorbu karbonátových, sulfátových a případně silikátových nárostů na varné trubce, což by opět mělo tepelně izolační účinky. Dobré tepelně izolační nánosy tvoří také oxid křemičitý v kotlové vodě při pH 10 a vyšším. Při pH pod 10 neiontové formy kysličníku křemičitého s rostoucím pracovním tlakem těkají do páry a po expanzi páry v turbíně (50 až 350 °C) se usazují ve formě nánosů amorfní nebo krystalické formy SiO<sub>2</sub>. Nánosy na lopatkách zvyšují tlakovou ztrátu turbíny a může být časem poškozeno i axiální ložisko turbíny a tedy až možnost havárie turbíny.

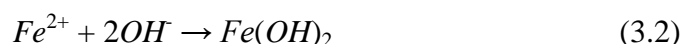
Ke znečištění turbinového kondenzátu může docházet po krátkodobé odstávce kotle, kdy hodnoty nečistot v kondenzátu stoupají proti trvalému provozu i dvacetinásobně. Pokud nejsou materiály odolné proti korozi, jako například materiály měděné, dochází tím ke značnému nárůstu obsahu železa a mědi. Potom je nutné nejdříve blok zvýšeným odluhem a odkalem vyčistit od korozních produktů a připojit turbínu s generátorem k síti. [7, 8]

## 3.2 Koroze

### 3.2.1 Koroze v parovodním okruhu

Napájecí voda (viz. kapitola 2.1.3) musí být odplyněna, aby nedocházelo ke korozi a úsadám. Koroze je elektrochemický jev, který vyžaduje vznik elektrického potenciálu, kdy se kov tvořící anodu s nižším elektrochemickým potenciálem rozpouští. Železo s relativně nevýhodným potenciálem -0,44 má tendenci uvolňovat  $Fe^{2+}$  do roztoku.

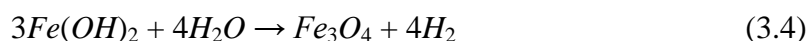
Probíhají zde reakce:



$Fe(OH)_2$  tvoří relativně nestálou a málo pevnou krycí vrstvu. Reakce 3.2 je na katodě doprovázena vznikem vodíku:



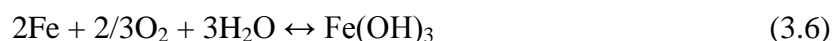
Při sloučení  $Fe(OH)_2$  s vodou vzniká kompaktní vrstva magnetitu, která chrání povrch před další korozi (3.4). Rychlost přeměny probíhá do 100°C velmi pomalu, poté se zrychluje a nad 200°C je přeměna téměř okamžitá. Nejvíce jsou tedy korozi vystavené zařízení pracující do 100 °C. Ochranná vrstva se vytváří také v parním prostředí do 570 °C (3.4):



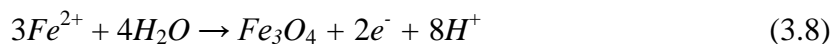
Jiný mechanismus má koroze za přítomnosti kyslíku. Pokud je kyslík přítomen ve větším množství, dochází na katodě ke kyslíkové depolarizaci (3.5):



Souhrnnou reakci lze vyjádřit:



Vzniklá porézní vrstva se vlivem proudění rozšiřuje. Pokud je obsah kyslíku nízký (pod 400  $\mu\text{m.l}^{-1}$ ) může na materiálu vzniknout ochranná vrstva magnetitu (3.8).





Na materiálech, které nejsou z oceli ale například z mědi nebo mosazi, například výměníky, kondenzátory nebo ohříváky, probíhají podobné reakce jako na materiálech železných, a to za vzniku  $\text{CuO}$  a  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Rozpustnost oxidů ve vodě stoupá s rostoucí teplotou do 200 až 250°C a potom klesá. Rozpustnost obou oxidů v páře do 300°C a tlaku 16,5 MPa je sice relativně nízká, ale dochází při ní k postupnému vzniku nánosu na vysokotlaké části turbíny a tím snížení její účinnosti. [1, 2, 7]

### 3.2.2 Koroze v chladícím okruhu

Korozní rychlost oceli v chladící vodě je závislá na koncentraci iontů  $\text{Ca}^{2+}$  za přítomnosti  $\text{HCO}_3^-$ . Čím je koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  vyšší, tím je rychlost koroze menší. Díky přítomnosti iontů  $\text{Ca}^{2+}$  dochází k působení inhibičních kationtů, které se vylučují na povrchu a tvoří sraženiny  $\text{CaCO}_3$ . Tyto sraženiny se nevytváří po celém povrchu, ale jen na katodických místech, kde je vysoká pravděpodobnost koroze a tím, rychlost koroze snižují. Obsah  $\text{Ca}^{2+}$  by neměl klesnout pod  $0,35 \text{ mmol.l}^{-1}$  a obsah  $\text{HCO}_3^-$  pod  $0,7 \text{ mmol.l}^{-1}$ , jinak se rychlost koroze výrazně zvyšuje. Rychlost koroze rovněž významně ovlivňuje teplota chladící vody. Při teplotě vody nad 60°C se s rostoucí teplotou její rychlost snižuje.

Vznik koroze ovlivňuje i rychlost proudění. Při proudění dochází k sedimentaci nerozpustných látek, které se nerovnoměrně usazují a jsou různě prostupné pro kyslík. Tím se vytváří podmínky pro důlkovou korozi. Rychlost proudění by neměla klesnout pod  $1 \text{ m.s}^{-1}$ .

V chladícím okruhu se hojně vyskytují mikroorganismy, řasy, plísně nebo houby, které zde mají ideální podmínky k životu (světlo, teplo, kyslík, potravu). Pokud nejsou dodrženy opatření, proti jejich rozvoji, mikrobiální populace může umožnit vznik biofilmu na povrchu v systému. Přítomnost biofilmu může vytvářet problémy jako je koroze, snížení přenosu tepla a vyšší odolnost proti biocidům. Biofilmy způsobují změny v koncentraci kyslíku a pH mezi vrchní stranou biofilmu a vrstvou přiléhající k povrchu. Tím je podpořen vznik katodických a anodických míst a dochází zde k napadení korozi. Po vytvoření mikrobiálních nánosů, se zhoršuje přenos tepla, což může značně zhoršit hydrauliku systému a tím i účinnost chlazení. Bakterie v biofilmu mají mnohem vyšší odolnost vůči biocidním přípravkům (chlor, chlornan) a z toho důvodu jsou dávky biocidů vysoké. [1, 2, 7]

### 3.3 Čištění odpadních vod

Jelikož v tepelných elektrárnách unikají různé druhy odpadních vod, jako například odluh z chladicího okruhu, odluh a odkal kotelní vody, odpadní vody z chemické úpravy vody nebo čištění energetických zařízení, používají se různé mechanické a chemické způsoby čištění. Schéma čistírny odpadních vod v elektrárně Tisová je uvedeno v příloze 1. [5]

### 3.4 Vliv na životní prostředí

Tepelné elektrárny mají na životní prostředí vliv především únikem emisí ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ) a popílkem do ovzduší. Vedle toho může tepelná elektrárna škodit vypouštěním teplé vody do řek. Voda na výstupu z chladicího okruhu má vyšší teplotu než voda v přirozeném prostředí, což se může projevit negativním vlivem na organismy žijící v daném toku. S růstem teploty vody totiž dochází ke snížení rozpustnosti kyslíku a zároveň ke zrychlení metabolismu přítomných organismů, což vede k rychlejší spotřebě kyslíku. Oteplená voda může narušit biorytmus organismů a tak ovlivnit jejich rozmnožování. Oteplené vody mohou mít vliv i na člověka a to konkrétně nebezpečím napadení patogenními organismy. Z těch se v oteplených vodách mohou vyskytovat například atypická mykobakteria, onemocnění tuberkulózního typu, legionella, která způsobuje chrchlání krve a měňavka, což je smrtelný akutní zánět mozku.

## Závěr

V této práci jsem se zabýval rozbořem vodního hospodářství v klasických tepelných elektrárnách. První část obsahuje průběh přenosu tepla pomocí Carnotova a Clausius – Rankinova cyklu a zvyšování účinnosti pomocí regeneračního ohřevu nebo prostřednictvím přehřívání páry. Dále je popsána celková bilance vody v parovodním okruhu. První část práce se také věnuje chladicímu okruhu, kde jsou popsány různé typy chlazení vodou, možné zdroje a popis jejího zásobování. Ve druhé části jsem popsal úpravu vody jak pro parovodní, tak pro chladicí cyklus. V závěrečné části jsem se nakonec zabýval možnými riziky, která by hrozila nedodržením úpravy vody na požadovanou kvalitu.

Z hlediska technologie elektrárny, je největším nebezpečím koroze a tvorba nánosů. Koroze je velmi nežádoucí díky trvalému poškození materiálu. Nánosy mohou být nebezpečné například při usazení na turbině, čímž snižuje její účinnost.

Klasické energetické zdroje jsou z hlediska vodního znečištění a jejich vlivu na životní prostředí nebezpečné především možným vypouštěním teplých vod do řek. Což má negativní vliv na pohlavní reprodukci ryb a dalších vodních živočichů. Navíc i u lidí to může být příčinou některých onemocnění. Tepelné elektrárny mohou znečistit okolí i v důsledku jejich havárie, kdy se do přírody mohou dostat různé chemikálie využívané při úpravě vody. Případy takovýchto nehod ovšem nejsou naštěstí nijak časté.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

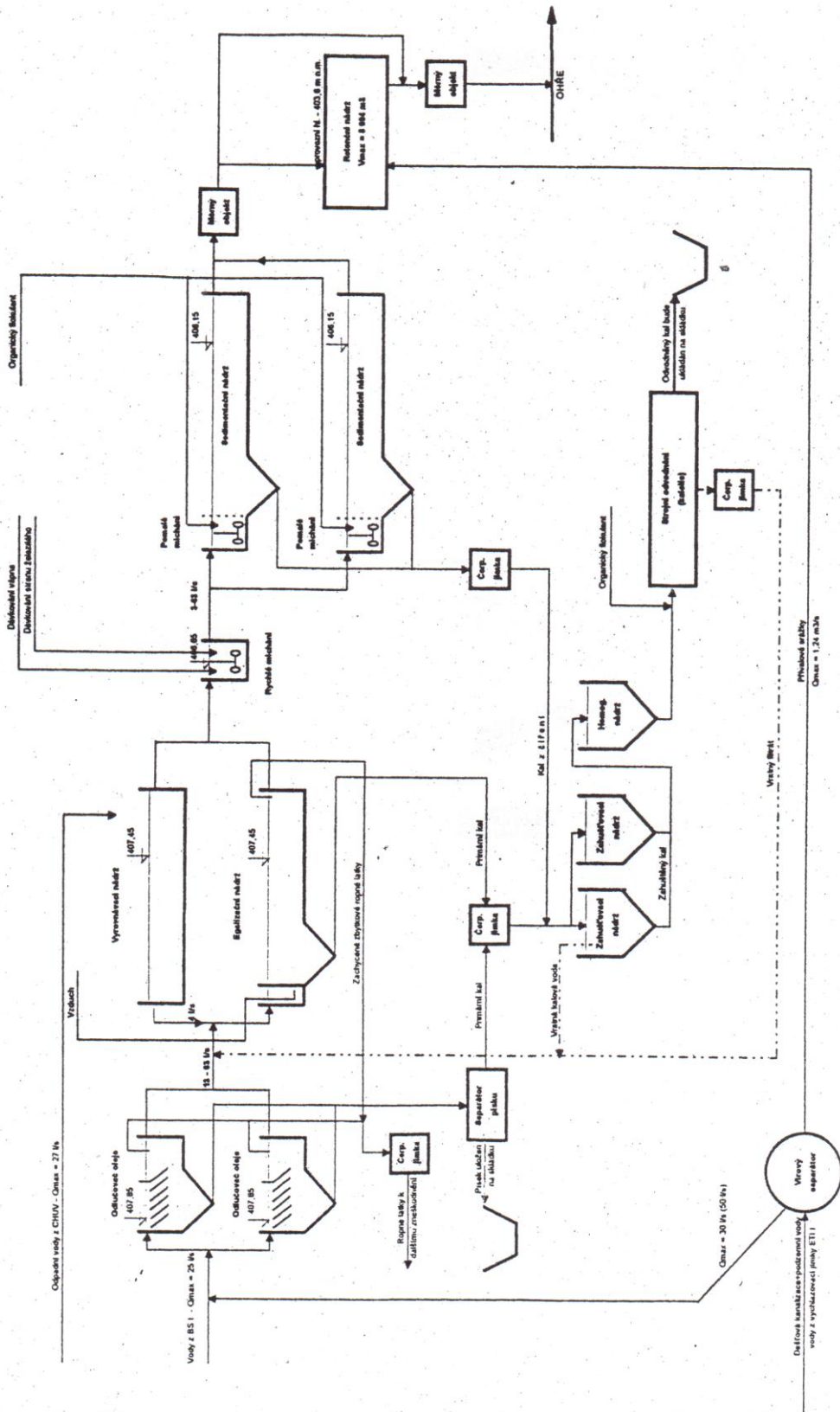
- [1] HÜBNER, Pavel. Úprava vody v energetice. 1. vyd. VŠCHT Praha, 2010, ISBN 978-80-7080-746-0.
- [2] HÜBNER, Pavel a kol. Úprava vody pro průmyslové účely. 1. vyd. VŠCHT Praha, 2006, ISBN 80-7080-624-9.
- [3] DVORSKÝ, Emil. HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. Elektrárny: zvyšování účinnosti přeměny energie v tepelných elektrárnách – příklady. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 1999, 184 s. ISBN 80-708-2523-5.
- [4] KŘENEK, Vladimír. Člověk a energie. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2006, ISBN 80-7043-489-9
- [5] KYSELA, Ladislav. TOMČALA, Jiří. Vodní hospodářství v energetice. Ostrava: Vysoká škola Báňská – technická univerzita Ostrava, 2000, ISBN 80-7078-752-X
- [6] IBLER Zbyněk a kol. Technický průvodce energetika – 1. díl. Praha: Nakladatelství BEN, 2002, ISBN 80-7300-026-1
- [7] TALKinfo: Úprava vody v provozu tepelných energetických zařízení. TLAKinfo [online]. 2004 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z [www: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=696>](http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=696)
- [8] E-voda: Chemická úpravna vody v elektrárně Ledvice. E-voda [online]. 2010 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z [www: <http://www.e-voda.cz/clanek/74/chemicka-upravna-vody-v-elektrarne-ledvice>](http://www.e-voda.cz/clanek/74/chemicka-upravna-vody-v-elektrarne-ledvice)
- [9] Solární laboratoř ČVUT: Studijní texty a cvičení. SOLAB [online]. 2007 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z [www: <http://solab.fs.cvut.cz/Herbertov/text3.html>](http://solab.fs.cvut.cz/Herbertov/text3.html)
- [10] Agrofermtechnik: Ventilační gradovny. Agrofermtehnika [online]. 2005 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z [www: <http://agrofermtehnika-npp.all.biz/cs/gradovny-ventilacni-g14575>](http://agrofermtehnika-npp.all.biz/cs/gradovny-ventilacni-g14575)
- [11] Chladicí věže Praha: Typy chladících věží s přirozeným tahem. Chv-praha [online]. 2010 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z [www: <http://www.chv-praha.cz/?q=stranka/50>](http://www.chv-praha.cz/?q=stranka/50)
- [12] Inkos: Pískový filtr zavřený. Inkos [online]. 2013 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z [www: <http://www.inkos.cz/vyrobni-program/chci-hledat-podle-zarizeni/piskovy-filtr-zavreny>](http://www.inkos.cz/vyrobni-program/chci-hledat-podle-zarizeni/piskovy-filtr-zavreny)
- [13] Asio: Reverzní osmóza. Asio [online]. 2009 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z [www: <http://www.asio.cz/?download=\\_/reverzni-osmoza/reverzni-osmoza-email.pdf>](http://www.asio.cz/?download=_/reverzni-osmoza/reverzni-osmoza-email.pdf)

- [14] Hejtmánková, Pavla: Vlastní soubor fotografií z Tušimic II.
- [15] ČEZ, a.s., Elektrárny Pruněřov: Strojovny a kotelny elektráren Pruněřov. Kadaň, 2002

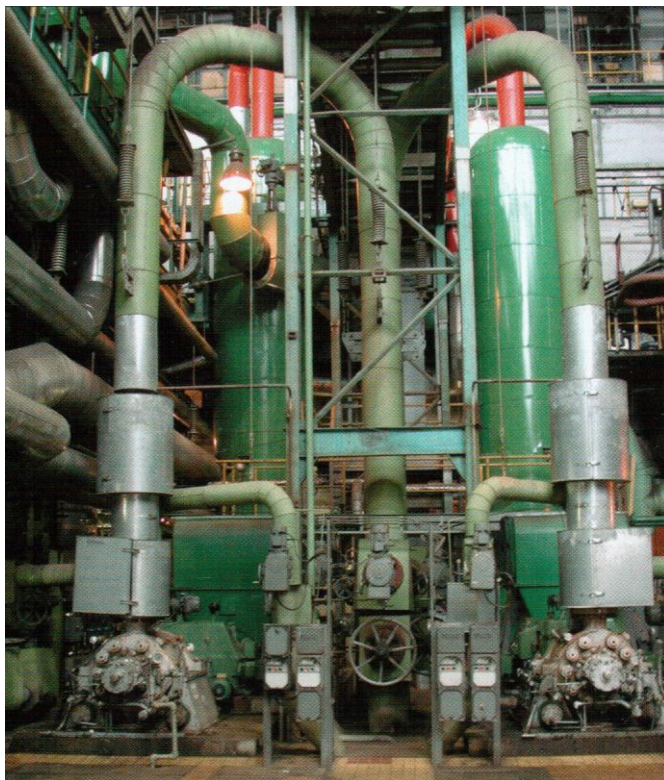


## Seznam příloh

Příloha 1 Technologické schéma čistírny odpadních vod – ČEZ a.s. elektrárna Tisová [5] .....	41
Příloha 2 Napájecí čerpadla, elektrárny Prunéřov I [15] .....	42
Příloha 3 Turbína a generátor, elektrárna Prunéřov II [15] .....	42
Příloha 4 Schéma elektrárny Prunéřov I [15] .....	43
Příloha 5 Schéma elektrárny Prunéřov II [15] .....	44
Příloha 6 Sklad chemikálií, elektrárna Tušimice II [14] .....	45
Příloha 7 Bazén pod věží, elektrárna Tušimice II [14] .....	45
Příloha 8 Pohled uvnitř věže, elektrárna Tušimice II [14] .....	46



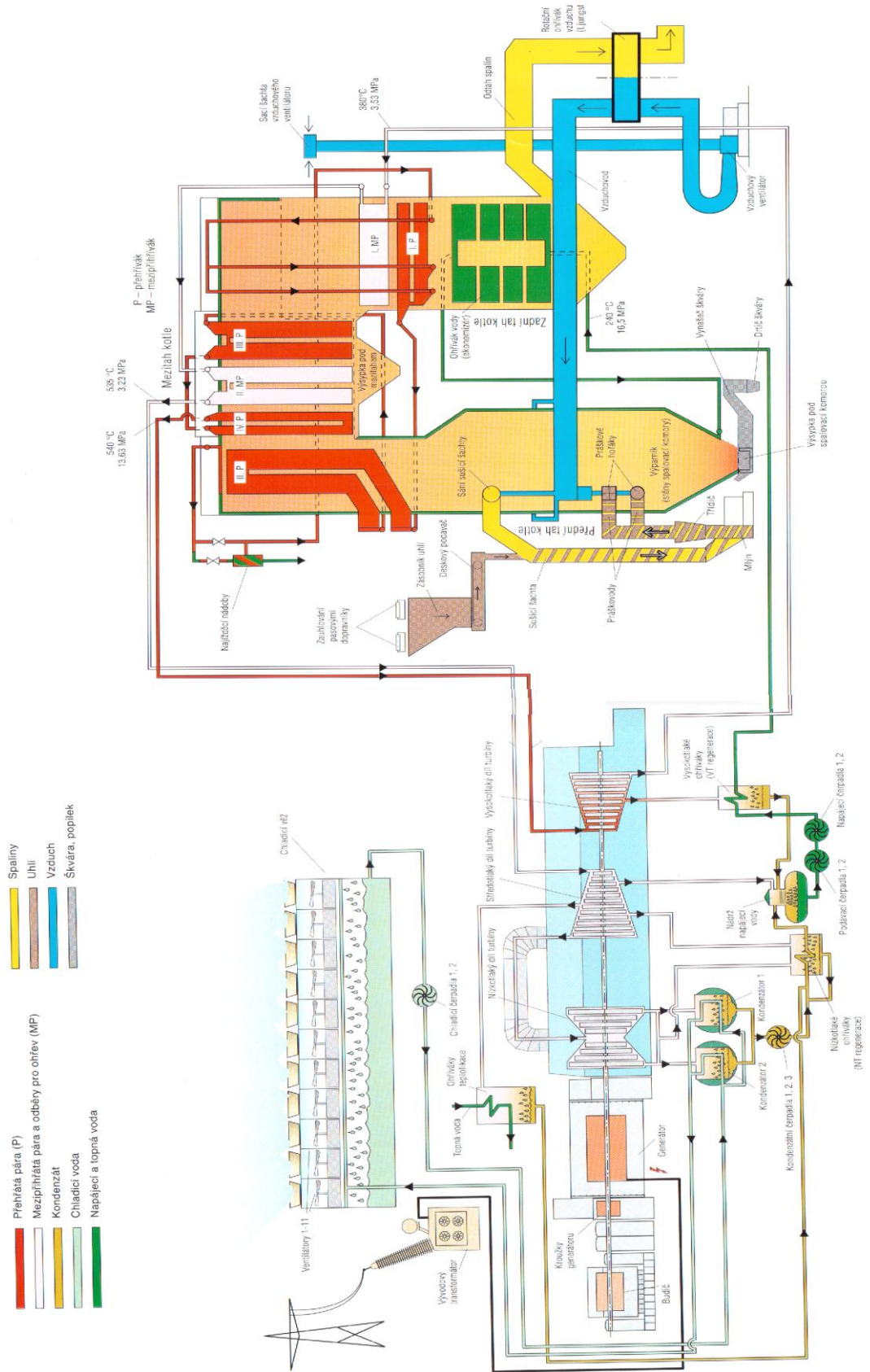
Příloha 1 Technologické schéma čistírny odpadních vod – ČEZ a.s. elektrárna Tisová [5]



**Příloha 2 Napájecí čerpadla, elektrárny Pruněřov I [15]**

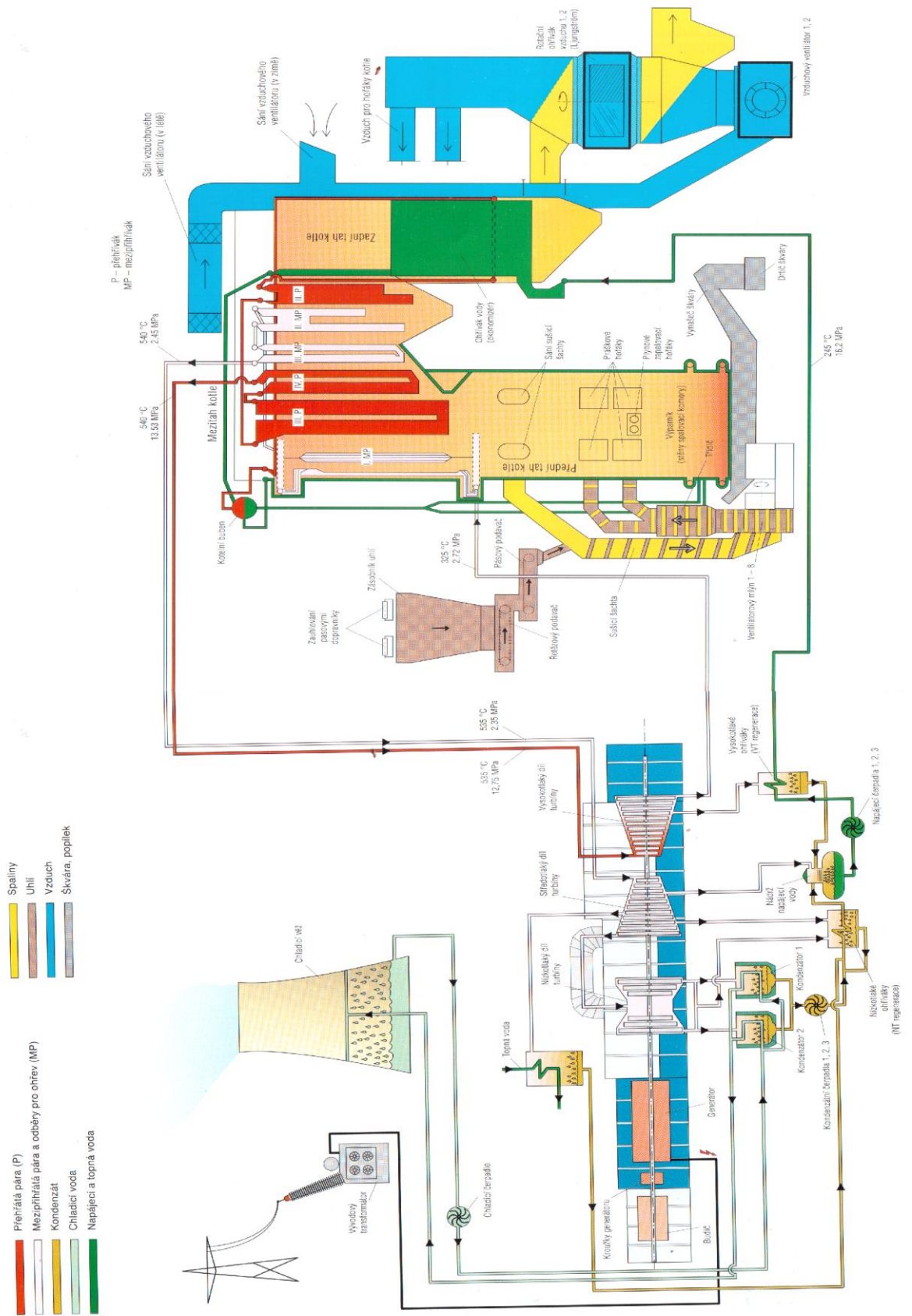


**Příloha 3 Turbína a generátor, elektrárna Pruněřov II [15]**



Příloha 4 Schéma elektrárny Prunéřov I [15]

ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA VÝROBNÍHO BLOKU EPR2



Příloha 5 Schéma elektrárny Prunéřov II [15]



**Příloha 6 Sklad chemikálií, elektrárna Tušimice II [14]**



**Příloha 7 Bazén pod věží, elektrárna Tušimice II [14]**



**Příloha 8 Pohled uvnitř věže, elektrárna Tušimice II [14]**

