

Vodní hospodářství jaderných energetických zařízení

Úprava vody / speciální postupy

Mezi speciální postupy úpravy vody lze zařadit např.:

- úprava vody s využitím magnetismu
 - ♦ úprava vlastností ovlivňujících krystalizaci solí
 - ♦ magnetická filtrace
- úprava komplexotvornými látkami
- úprava organickými aminy

Úprava vody / speciální postupy

Úpravy vody s využitím magnetismu

- silnější magnetické pole upravuje některé fyzikálně-chemické vlastnosti vody
- nedochází ke změně solnosti, ale může dojít ke změně krystalické struktury solí
- mechanismy těchto změn dosud ne zcela popsány, ale je možné je využívat na základě praktických zkušeností
- dochází k ovlivnění aktivační energie tvorby krystalických center
- důsledkem toho se vytvářejí pouze drobné krystalky nebo kal (neulpívají na stěnách zařízení) ⇒ omezení tvorby inkrustů (tvrdé nánosy)
- vlastní realizace je technicky velice jednoduchá → průchodem vody mezi permanentními magnety nebo elektromagnety

Úprava vody / speciální postupy

Úpravy vody s využitím magnetismu

- omezení
 - ♦ podmínkou je nepřítomnost suspendovaných a koloidních látek
 - ♦ limitována je solnost a maximální obsah Fe
 - ♦ není příliš vhodná pro teplosměné plochy s velkým výkonovým zatížením → klesá vliv na tvorbu inkrustů (odhadováno ze zkušeností) ⇒ používá se spíše k ochraně horkovodních systémů a chladících okruhů před inkrustací

Úprava vody / speciální postupy

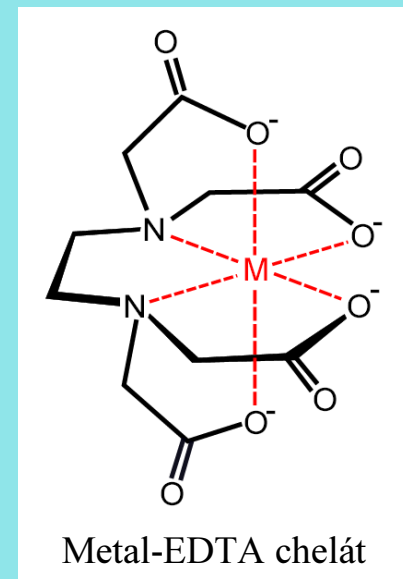
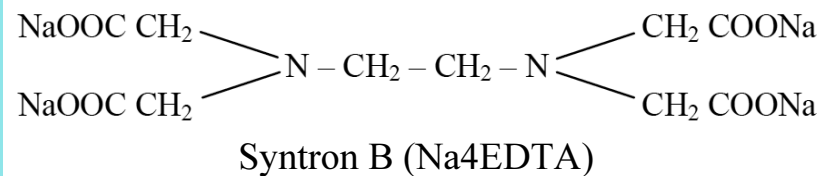
Úpravy vody s využitím magnetismu – magnetická filtrace

- lze využít k zachycování suspendovaných i iontově rozpuštěných oxidů železa ve vodě
- realizace průtokem skrze vrstvu ocelových kuliček, které se působením magnetického pole zmagnetizují → na nich pak dochází k záchytu oxidů železa Fe₃O₄ (magnetit)
- nemagnetické sloučeniny alfa-železa lze převést na magnetické dávkováním N₂H₄ (hydrazin) do upravované vody dle reakcí:
 - ♦ $6\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow 4\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$
 - ♦ $12\text{FeOOH} + \text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow 4\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$
- uvolněný dusík nepředstavuje z materiálového hlediska problém a odstraňuje se odplyněním

Úprava vody / speciální postupy

Úprava komplexotvornými látkami (chelatační činidla)

- tzv. chelatační činidla patří mezi sekvestrační prostředky (sequesterate – odloučit, oddělit)
- používají se k zamezení tvorby nánosů v důsledku pronikání Ca^{++} , Mg^{++} a dalších látek
- rovněž dokáží nánosy rozpouštět → s vícemocnými kationty vytvářejí stabilní nerozpustné komplexy (cheláty)
- cheláty jsou soli aminopolykarboxylových kyselin
příklad: Syntron B (Na_4EDTA) – tetrasodná sůl kyseliny etylendiaminotetraoctové $\text{Na}_4\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_8\text{N}_2$



Úprava vody / speciální postupy

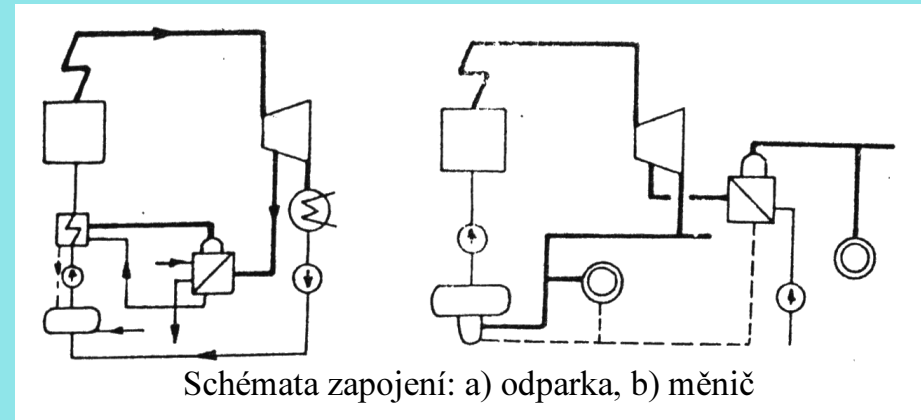
Úprava organickými aminy

- alkalizační aminy
 - ♦ u PWR reaktorů (zejména USA) fungují jako alkalizační činidlo pro úpravu pH v sekundárním okruhu
 - ♦ mají příznivý rozdělovací koeficient voda-pára \Rightarrow lepší ochrana v oblastech existence parovodní směsi
 - ♦ problémem je stabilita \rightarrow za vyšších teplot se rozkládají \rightarrow vznik organických látek a CO₂
 - ♦ v elektrárnách s reaktory VVER používán výhradně amoniak nebo hydrazin
- filmotvorné aminy
 - ♦ mají tendenci vytvářet na povrchu kovu nesmáčivý film \Rightarrow ochrana před korozí kyslíkem a CO₂, ale také před usazováním tvrdých nánosů
 - ♦ další výhoda – dokáží rozpouštět již usazené nánosy
 - ♦ příklad: oktadecylamin C₁₈H₃₇NH₂ – **Inhicor**
 - ♦ slouží především k ochraně méně exponovaných částí zařízení

Úprava vody / odparky a měniče páry

Deionizace

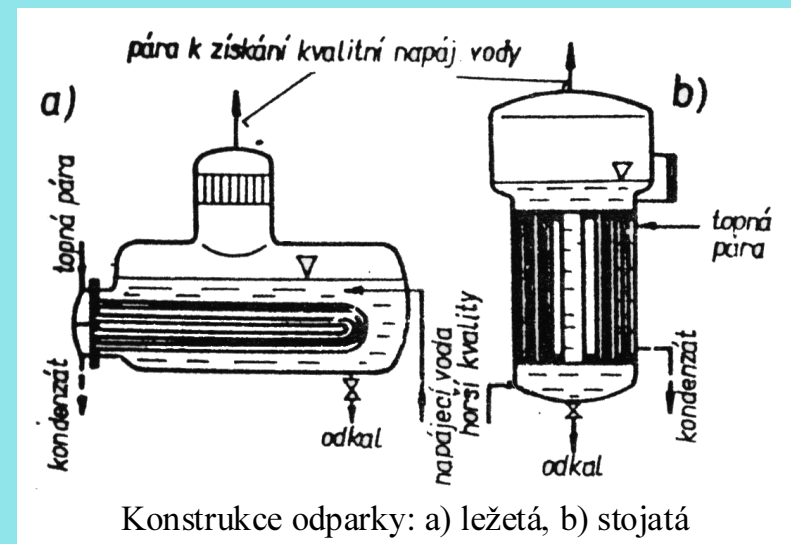
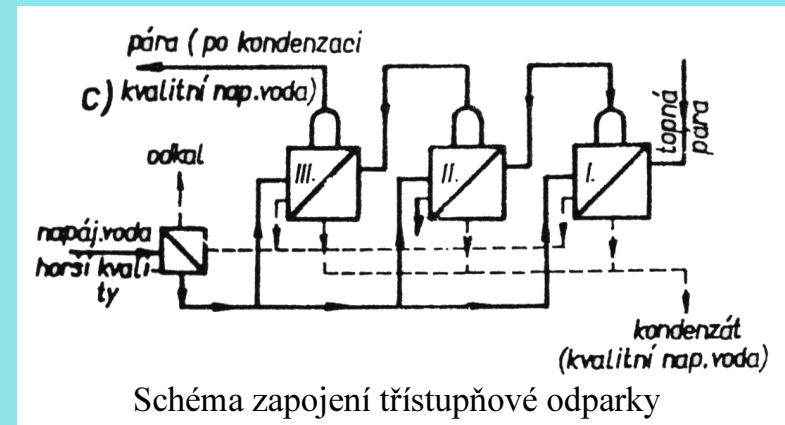
- deionizovanou vodu s nízkým obsahem SiO_2 lze získat též destilací upravené vody v odparkách či měničích páry
- použití rovněž při zpracovávání odpadních vod → zahušťování kalů
- konstrukce odparky a měniče se neliší → liší se pouze zapojení
- použití odparky se volí v případě, kdy se v porovnání s ionexy technicky i ekonomicky výhodnější
- limitující je obsah solí do 500-700 mg/l



Úprava vody / odparky a měniče páry

Deionizace

- ekonomicky lepší vícestupňové odparky
→ kondenzace páry z prvního až předposledního stupně dosažena vždy v následujícím stupni ⇒ kondenzační teplo využito k odpaření vody, viz obrázek
- odparky se vytápějí parou z protitlaku a nebo z odběru turbíny.
- v ČR se v jaderné i tepelné energetice používají stojaté jednotělesové odparky → ležaté se nevyužívají ⇐ horší cirkulace vody



Úprava vody / odstranění nekondenzujících plynů

Úvod

- odplynění = odstranění nekondenzujících plynů z vody
- představuje jedno z nejúčinnějších opatření k ochraně energetických zařízení před vnitřní korozí
- v neutrálním a alkalickém prostředí probíhá koroze vlivem CO₂ nebo vlivem kyslíku → depolarizátor katody (primární koroze)
- vzniklé korozní produkty mohou vyvolat sekundární korozi → vliv na tvorbu porézních nánosů na teplosměnných plochách → koroze pod nánosy
- odplynění dělíme na:
 - ♦ fyzikální – používá se jako základní proces při odstraňování nekondenzujících plynů → podle způsobu provedení lze fyzikální odplynění dělit na:
 - desorpce
 - vakuové odplynění
 - termické odplynění
 - ♦ chemické – slouží obvykle jako doplňkové na odstranění zbytkového kyslíku

Úprava vody / odstranění nekondenzujících plynů

Fyzikální odplyňování - teorie

- podmínkou je docílení změny rovnovážného stavu při rozpouštění plynu
- je třeba dosáhnout, aby parciální tlak odstraňovaného plynu v plynné resp. parní fázi nad kapalinou byl menší než odpovídá rovnovážnému stavu pro který platí:

$$p(\text{celk.}) = p(\text{páry}) + \sum p(\text{plynů})$$

- rovnovážný stav se ustavuje dvěma mechanismy:
 - ♦ tvorba bublin
 - výrazně rychlejší mechanismus
 - lze rychle odstranit až 90-95% pohlcených plynů
 - vznik bublin → stav, kdy součet parciálních tlaků rozpuštěných plynů a páry dosahuje či přesahuje výši tlaku uvnitř kapaliny ⇒ uvolnění plynů v podobě bublin
 - ♦ difuze
 - probíhá přes obalovou blanku částecek vody
 - výrazně pomalejší mechanismus
 - lze odstranit většinu zbývajících plynů

Úprava vody / odstranění nekondenzujících plynů

Fyzikální odplyňování - rozdělení

- desorpce
 - ♦ atmosféru nad vodou nahrazujeme jiným plynem než tím, který se odstraňuje
 - ♦ použití – provzdušňovací věže pro odvod CO₂ po dekarbonizaci
 - ♦ v parovodním okruhu možná desorpce dusíkem → vysoké náklady (neujalo se)
- vakuové odplynění
 - ♦ probíhá při snížení celkového tlaku na hodnoty blízké odpovídajícímu bodu varu
 - ♦ obvyklé teploty ve vakuových odplyňovacích – do 45°C
 - ♦ voda před vstupem ohřátá mírně nad odpovídající teplotu systosti ⇒ při následné expanzi po rozstřiku vře → uvolnění se pohlcených plynů
 - ♦ nutná dokonalá těsnost → nutná činnost vývěvy
 - ♦ nalezneme na elektrárnách vakuové odplyňování? kde?
 - ♦ ano – kondenzátory = odplyňovávky s hlubokým vakuem 1-10kPa → teoreticky možná úroveň odplynění 10μg/l → nestacionární povoz (přisávání) možný nárůst na 0,5mg/l
 - ♦ odplyněná voda nesmí přijít do styku se vzduchem, aby nedocházelo k opětovnému pohlcování plynů ⇒ striktní požadavek na těsnost

Úprava vody / odstranění nekondenzujících plynů

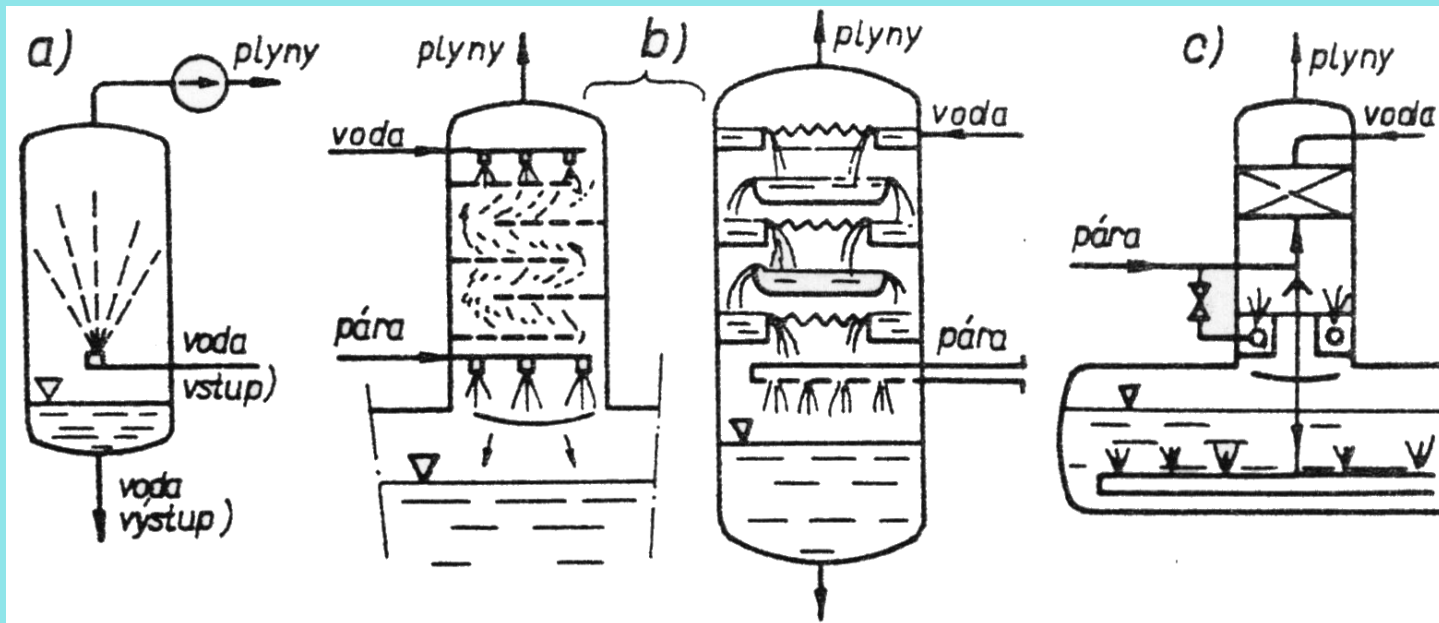
Fyzikální odplynování - rozdělení

• termické odplynění

- ♦ v energetice všeobecně rozšířený postup
- ♦ voda se ohřívá na teploty blízké bodu varu
- ♦ obvykle se uskutečňuje při teplotách 102-110°C (bod varu při tlaku 0,12 - 0,15 MPa) a nebo 170-180°C (bod varu při tlaku 0,8 - 1,0 MPa)
- ♦ $p(\text{páry}) \approx p(\text{celk.}) \Rightarrow$ plyny se uvolňují ven („není pro ně místo“)
- ♦ tlak je větší než atmosférický \Rightarrow případné netěsnosti nezpůsobují přísávání vnějšího vzduchu do napájecího traktu a zpětné pohlcování plynu do vody
- ♦ intenzita odplynování roste s velikostí povrchu odplynované vody \Rightarrow vodu je třeba rozstříkovat na malé kapičky a nebo docílit roztržitého toku vhodně uspořádanými vestavbami
- ♦ s plyny odchází cca 1% vyrobené páry (brýdy) \rightarrow možnost zkapalnění v navazujícím chladiči a následné navrácení vody do procesu
- ♦ pro optimální chod ve vhodné realizovat v odplynováku dohřívání vody o 20 – 30°C \Rightarrow odplynovák zpravidla zapojen jako jeden z nízkotlakých regeneračních ohříváků

Úprava vody / odstranění nekondenzujících plynů

Fyzikální odplyňování - příklady



Systémy odplyňování vody:
a) vakuové, b) termické s tlakovým rozstříkem, c) termické třístupňové

Úprava vody / odstranění nekondenzujících plynů

Chemické odplynování

- používá se pro odstranění zbytkového kyslíku (10-20 $\mu\text{g/l}$) po termickém odplynění
- využíváme zejména schopnosti sirných sloučenin a hydrazínu
 - ♦ $2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{SO}_4$
 - ♦ $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (hydrazín se využívá zejména pro vysoké tlaky)
- uvolněný dusík není z hlediska konstrukčních materiálů nebezpečný a odvádí se odplyněním
- problém – reakce normálního hydrazínu příliš pomalá za nízkých teplot \Rightarrow nedostatečná ochrana nízkoteplotních částí kondenzátního traktu \rightarrow vývoj rychle reagujícího hydrazínu aktivovaného pomocí organických aditiv – Levoxin

Úprava vody / odstranění nekondenzujících plynů

Chemické odplynování

- přebytečný hydrazin se rozkládá podle reakce:
 - ♦ $3\text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow 4\text{NH}_3 + \text{N}_2$
- vzniklý amoniak působí jako alkalizační činidlo a zároveň jako inhibitor koroze → schopnost vázat zbytkové CO_2 (po odplynění zůstává několikanásobek obsahu O_2) dle reakce:
 - ♦ $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)\text{CO}_3$
- přebytečný hydrazin je z hlediska konstrukčních materiálů relativně neškodný → při vyšší zůstatkové koncentraci hrozba korozního napadání měděných a mosazných materiálů