

Vodní hospodářství jaderných energetických zařízení

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Srážecí reakce

- s primárním účinkem (chemické)
 - ♦ sraženina vzniká přímou reakcí mezi srážedlem a oddělovanou látkou
 - ♦ některé látky (Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} ,) tvoří přímo s přidanými činidly málo rozpustné sloučeniny, např. CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$
 - ♦ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CaCO}_3$, vzniklý uhličitán můžeme odstranit sedimentací nebo filtrací, voda je dekarbonizovaná a částečně změkčená (odstraněn Ca)
- se sekundárním účinkem
 - ♦ používá se k odstranění koloidních disperzí organických i anorganických nečistot, které způsobují zákal a barvu vody (ve vodě jsou stabilní)
 - ♦ stabilizující vliv náboje je třeba potlačit sekundární srážecí reakcí – koagulací
 - ♦ přidané činidlo vytváří částice s nábojem opačného znaménka \Rightarrow schopnost interakce s částicemi nečistot a vznik shluků
 - ♦ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{Fe}(\text{OH})_3$ (hydroxid = sraženina)

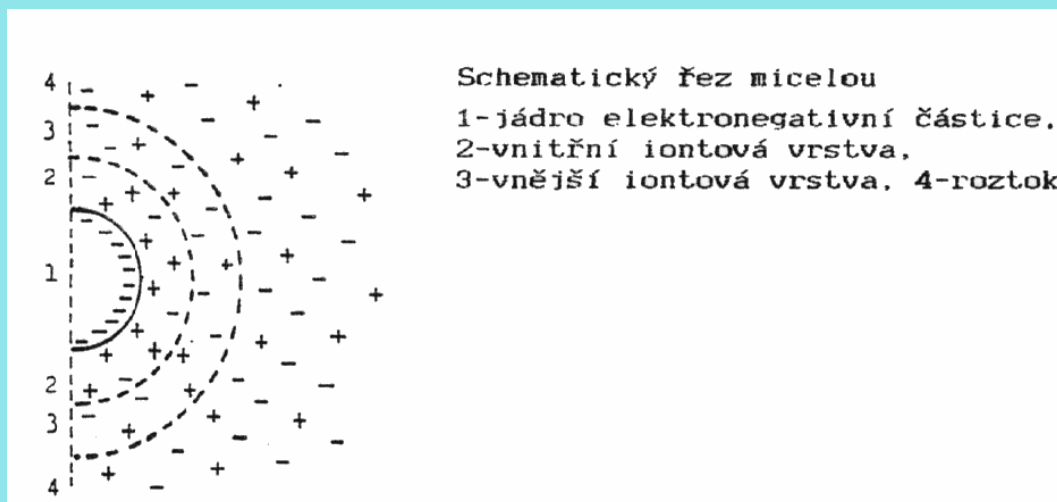
Tab. 4.2 Hodnoty součinů rozpustnosti některých látek

Látka	P	Látka	P
Mg(OH) ₂	10 ⁻¹¹	Fe(OH) ₃	10 ⁻³⁸
Pb(OH) ₂	10 ⁻¹³	Cu(OH) ₂	10 ⁻¹⁹
Mn(OH) ₂	10 ⁻¹⁴	As ₂ S ₃	10 ⁻²⁹
Cd(OH) ₂	10 ⁻¹³	MnS	10 ⁻¹⁵
Zn(OH) ₂	10 ⁻¹⁷	FeS	10 ⁻¹⁹
Ni(OH) ₂	10 ⁻¹⁹	ZnS	10 ⁻²⁷
Cr(OH) ₃	10 ⁻³¹	CdS	10 ⁻²⁹
Al(OH) ₃	10 ⁻³³	HgS	10 ⁻⁵³

Úprava chladící vody / srážecí reakce

Čiření

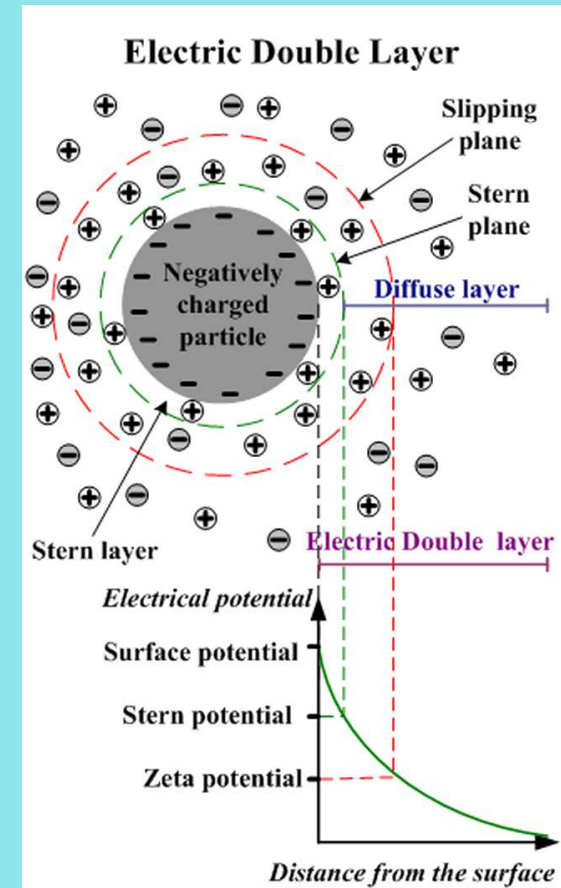
- využívá se zejména k odstranění koloidně dispergovaných anorganických i organických nečistot (zákal vody)
- malé rozměry nečistot nedovolují zachycení předešлыми metodami separace (filtrací)
- uvedené nečistoty mají „micelární“ nebo makromolekulární strukturu
- micela = koloidní částice tvořená mikrokrytalickým jádrem a elektrickou dvouvrstvou



Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření

- „micelární“ charakter koloidních nečistot
 - ♦ velmi malé částice o velikosti 0,1 – 1 μm
 - ♦ jsou vysoce stabilní a neshlukují se do větších útvarů \Rightarrow nelze je přímo separovat
 - ♦ stabilita dána především elektrickým nábojem a ochrannou hydratační vrstvou – vzniká elektrostatickou vazbou polárních molekul na koloidní částice (polární molekula = molekula s asymetricky rozloženým kladným a záporným nábojem, např. voda)
 - ♦ každá částice vytváří okolo sebe „elektrickou dvojvrstvu“ (elementární kondenzátor) s převládajícím kladným nebo záporným elektrickým potenciálem (*zeta potenciál*) v rozmezí 50 – 100 mV.
 - při hodnotách nad 40 mV je koloidní částice stálá
 - pod 30 mV pak dochází ke koagulaci (shlukování)



Zjednodušeně řečeno, částice se za běžných podmínek (*zeta potenciál* > 40 mV) od sebe odpuzují a nemohou tak vytvářet větší útvary

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření

- pro dosažení koagulace je třeba nejdříve snížit zeta potenciál a nebo odstranit hydratační dvojvrstvu, obojí přidáním vhodného koagulačního činidla – koagulantu (obvykle: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ a FeCl_3)
- podle pH, při kterém je proces prováděn rozdělujeme čiření na:
 - ♦ kyselé čiření, pH = 5 – 6
 - ♦ neutrální čiření, pH = pH 6 – 8
 - ♦ alkalické čiření, pH = pH 9,6 – 10,5
- určujícím faktorem pro volbu procesu je alkalita čiřené vody
- proces hydrolyzy železitých a hlinitých solí se současným účinkem ve vodě obsaženého HCO_3^- lze tedy vyjádřit:
 - ♦ $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$
 - ♦ $3\text{H}^+ + 3\text{HCO}_3^- \rightarrow 3\text{H}_2\text{CO}_3$

Alkalita

- míra stability pH
- kyselinová neutralizační kapacita vody (KNK) = schopnost vody a v ní rozpuštěných látek neutralizovat přidanou kyselinu
- bez této schopnosti by každý uvolněný kationt H^+ způsobil odpovídající pokles pH
- $\text{HCl} = \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ (silná kyselina → disociace ⇒ pokles pH)
- $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- = \text{H}_2\text{CO}_3$ (velmi slabá málo disociovaná kyselina → pH se vrací, ale alkalita se snížila)

Vliv teploty – přehřívání, org. koagulant.

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření

- kyselé čiření (pH 5 – 7)
 - ♦ alkalita surové vody < 1 mmol/ litr
 - ♦ Ohře, Vltava
 - ♦ probíhá reakce: $\text{Fe}^{3+} + 3\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{CO}_2\uparrow$ (v kyselém prostředí převažuje plynná forma)
 - ♦ dávka koagulantu obvykle 0,6 – 0,8 mmol/l
 - ♦ čiřená voda je díky uvolněnému CO_2 poměrně korozivní (**plošná koroze oceli**). Uvolněný plyn ruší další fázi separace vloček.
 - ♦ problém s nízkou alkalitou – horší neutralizace náboje koloidních látek → potřeba dodatečné alkalizace pomocí NaOH nebo $\text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow$ obtíže spojené s přípravou a dávkováním u $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a vysoká cena u NaOH
 - ♦ řešení přineslo používání polymerních koagulantů (např. PAC – polyaluminiumchlorid) → vysoký náboj \Rightarrow v dávkách mg/l dokáže neutralizovat náboj suspendovaných látek a zajistit koagulaci a organických koagulantů.
 - ♦ výhodná kombinace anorganického (dávka snížena na 65 – 50%) a polymerního koagulantu (dávka 1 – 2mg/l)

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření

- neutrální čiření (pH 6 – 8)
 - ♦ alkalita surové vody 1 – 2 mmol/ litr
 - ♦ dolní tok Labe
 - ♦ s nárůstem pH roste záporný náboj nečistot a naopak klesá účinný náboj anorganických koagulantů \Rightarrow nárůst spotřeby koagulantu a pokles kvality čiřené vody
 - ♦ při dostatečné alkalitě a při pH 6 – 7 lze surovou vodu čířit bez dodatečné alkalizace např. NaOH
- alkalické čiření (pH 9,6 – 10,5)
 - ♦ alkalita surové vody > 2 mmol/ litr
 - ♦ horní tok Labe, moravské a slovenské řeky
 - ♦ úprava pH na požadovanou úroveň použitím relativně levného Ca(OH)_2
 - ♦ nízká korozivnost čiřené vody (výhoda pro jiné použití než jako předúprava pro demineralizaci)
 - ♦ využívají se železité koagulanty (soli Al příliš rozpustné \leftarrow vysoké pH)

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření

- alkalické čiření (pH 9,6 – 10,5)
 - ♦ základní reakce: $\text{Fe}^{3+} + 3\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{CO}_2\uparrow$ (stejně jako u kyselého čiření)
 - ♦ v surové vodě rovnováha HCO_3^- iontů s rozpuštěným CO_2 , při pH ≈ 10 přechod do CO_3^{--} formy (včetně CO_2 z reakce)
 - ♦ další reakce závislé na složení surové vody (podíl kationtů vyvážených HCO_3^-)
 - ♦ obsah Ca^{++} je vyšší nežli alkalita vody
 - většina vod s vyšší alkalitou na našem území
 - $2\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
 - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
 - vylučovaná fáze $\text{CaCO}_3 + \text{Fe}(\text{OH})_3$
 - bez přídavku koagulantu má proces tzv. kondenzačně krystalický charakter → vznikají drobné částice s nízkou sedimentační rychlostí

Úprava chladící vody / srážecí reakce

Čiření – základní části procesu

- dávkování chemikálií

- ♦ před vlastní koagulací je za pomoci přidání vhodného koagulačního činidla nezbytné snížení zeta potenciálu a nebo odstranění hydratační dvojvrstvy
- ♦ pro rychlý začátek čirících procesů je nezbytná dokonalá a rychlá homogenizace směsi surové vody a čirících chemikálií (rychlomísiče, turbíny u akceleratorů, statické nebo dynamické vestavby a další přídatná zařízení)
- ♦ z energetického hlediska je tato fáze vnosem potřebné energie do čirícího procesu

- koagulace

- ♦ proces začíná již při homogenizaci čířené vody a chemikálií
- ♦ rychlý proces → doba trvání 1 – 2 min
- ♦ nároky na energii velmi malé
- ♦ podmínkou je dokonalé promíchání vody a přidávaných koagulantů

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – základní části procesu

- koagulace

- ♦ používané koagulanty

- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – převažují aplikace ve vodárenství
- FeCl_3
 - vznik lépe sedimentujícího kalu
 - stabilnější, lze dávkovat v koncentrovaném stavu
 - snadnější kontrola dávkování (stanovení rozdílu obsahu chloridů ve vstupní a vyčiřené vodě)
 - vyšší korozivnost (pozor na Cl^- ionty) a vyšší cena
- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
 - nižší korozivnost a nižší cena za ekvivalentní množství Fe
 - obtížnější kontrola správnosti dávkování (stanovení síranů je obtížnější)
- PAC – polyaluminiumchlorid (např. PAX-18)
 - hydrolyzuje při reakci s vodou za vzniku kladně nabitých polymerů
 - minimální potřeba alkality \Rightarrow hodí se pro čiření v kyselé oblasti
 - vysoký náboj – 10x až 50x větší účinnost neutralizace náboje suspenze \Rightarrow malé dávky
 - kombinace s anorganickým koagulantem \rightarrow snížení dávek anorg. koag. o 30-50%
 - problém s dávkováním ve strašících typech čiriců (Dukla, Kurgajev, Binar-Bělský)
- Organické koagulanty v kombinaci s anorganickými.

Úprava chladící vody / srážecí reakce

Čiření – základní části procesu

• flokulace

- ♦ proces růstu vloček suspenze vytvořené ve fázi koagulace.
- ♦ rychlost flokulace je závislá na koncentraci kalu, vnesené energii (gradientu rychlosti) a čase zdržení dle rovnice:

$$l = k \cdot c^\alpha \cdot G^\beta \cdot t^\chi$$

kde c je koncentrace kalu, G – vnos energie, t – čas, k a exponenty jsou empirické konstanty

- ♦ nízkou koncentraci kalu a krátkou dobu zdržení lze kompenzovat recirkulací kalu (nutné optimální promíchání)
- ♦ při nízkém vnosu energie lze zvýšit dobu zdržení
- ♦ vznik mikroskopických vloček sraženiny např. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ začíná po neutralizaci náboje suspenze (koagulace)
- ♦ další nárůst vločky je podmíněn jejich vzájemným pohybem a následnými srážkami
 - fáze perikinetická (doba trvání < 1 min) – růst vloček se řídí Brownovým pohybem (do velikosti $0,01\mu\text{m}$)
 - fáze ortokinetická (doba trvání 10 – 30 min) – vnos energie pro další proces srážení a růstu je řízen mícháním → optimální vnos cca $150\text{W}/\text{m}^3$ míchaného prostoru → při vyšší hodnotě hrozí rozpad vloček

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – základní části procesu

• flokulace

- ♦ alkalické čiření – problém s malou rychlostí srážení CaCO_3 → může dobíhat během sedimentace i po jejím skončení – inkrustace na površích zařízení, ucpávání potrubí.
- ♦ vytváříme zárodky sraženiny recirkulací kalu → probíhání obou fází současně ⇒ zvýšení celkové rychlosti flokulace – krystalizace.
- ♦ optimální míru recirkulace kalu stanovujeme koagulačním pokusem
- ♦ vliv teploty
 - pod 10°C výrazné zpomalení vylučování CaCO_3 při alkalickém čiření ⇒ ohřev vody na 12°C
 - u kyselého čiření vliv teploty menší
 - při teplotách nad 25°C riziko uvolňování plynů → flotační (probublávací) procesy mohou výrazně narušit sedimentaci kalu
- ♦ urychlení spojování vloček pomocí POF (pomocný organický flokulant)
 - látky s vysokou molekulovou hmotností $\approx 10^6$
 - důležitým faktorem je místo a čas aplikace → přidání přesně v závěrečné fázi růstu vloček
 - důležité rovněž dokonalé rozmíchání v upravované vodě
 - oba předpoklady znamenají problém zejména pro čiřice s kalovým mrakem (Dukla, Kurgajev)
⇐ nelze spolehlivě určit místo splňující oba předchozí požadavky

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – základní části procesu

- Sedimentace – separace fází.

- ♦ závěrečná část procesu čiření
- ♦ oddělení vloček (kalu) a jejich usazování v důsledku působení gravitačních sil
- ♦ probíhá v sedimentačním prostoru → kal se usazuje u dna (odvod pomocí odkalu nebo shrabovačů)
- ♦ bez sedimentace u dna – hromadění kalu v mraku → odkal
- ♦ sedimentační rychlost vločky (určuje maximální stoupací rychlost čiřené vody) závisí zejména na velikosti vločky a na rozdílu měrné hmotnosti její a kapaliny, viz rovnice pro nerušenou sedimentaci:

$$u = \sqrt{\frac{10 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D}{3 \cdot \rho}}$$

kde ρ_s – hustota částice, ρ – hustota kapaliny a
 D_s – průměr částice

- ♦ ze vztahu vyplývají maximální vzestupné rychlosti: 4 m/h pro alkalické a 3,25 m/h pro kyselé čiření → doba zdržení 1 – 3 hodiny ⇒ velká a robustní zařízení

Úprava chladící vody / srážecí reakce

Čiření – základní části procesu

- sedimentace

- ♦ u lamelových čiričů (modernější technologie) změna trajektorie → vložka po dotyku s lamelou (sklon 60°) sklouzává do sedimentačního prostoru
- ♦ možnost oddělit i částice s nižší pádovou rychlostí než je vzestupná rychlost vody
- ♦ při délce lamel 2 m a vzdálenosti 8 cm vycházejí vzestupné rychlosti 20-30 m/h pro alkalické a 15-20 m/h pro kyselé čiření \Rightarrow možnost podstatné redukce doby zdržení a \Rightarrow rozměrů zařízení

Úprava chladící vody / srážecí reakce

Čiření – technické realizace

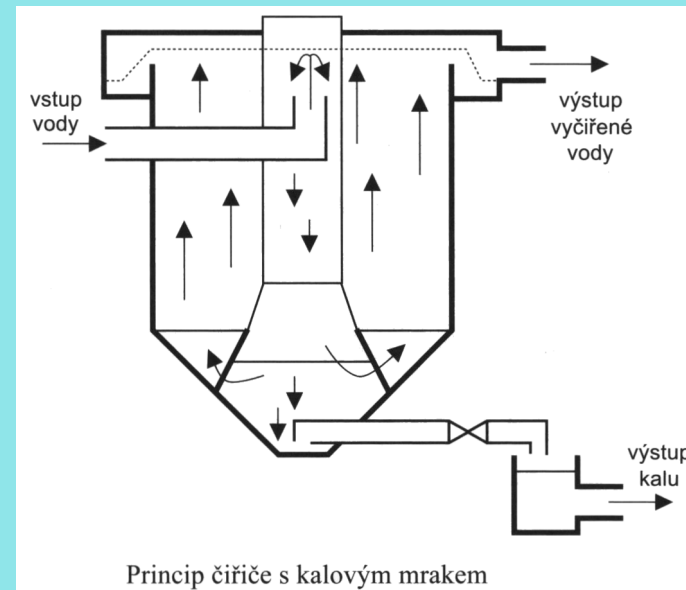
- čiření s usazováním – nejstarší způsob (malé měrné výkony \Rightarrow v energetice se nepoužívá) \rightarrow dříve uplatnění ve vodárenství
- koagulační filtrace (čiření kontaktní) – dávkování koagulantu před uzavřený zpravidla pískový filtr \rightarrow v energetice pouze jako doplňková aplikace
- čiření s kalovým mrakem
- čiření s recirkulací kalu
- čiření s tvorbou kalu na nosiči

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – technické realizace

• čiriče s kalovým mrakem

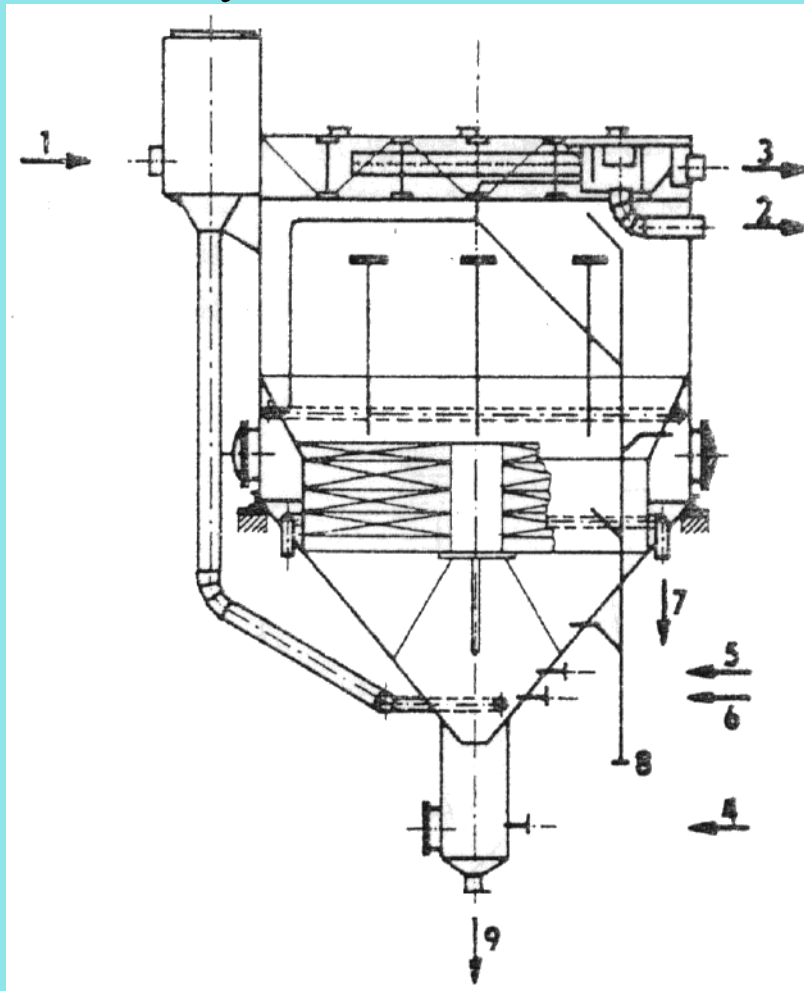
- ♦ desítky let využívaný osvědčený způsob
- ♦ konstrukčně jednoduchá robustní zařízení \Rightarrow minimální poruchovost
- ♦ kal se udržuje ve vznosu v mraku \rightarrow dochází k urychlování srážecích reakcí
- ♦ citlivé na změnu průtoku
 - pokles \rightarrow zploštění mraku \rightarrow zkratové proudy
 - vzrůst \rightarrow roztažení mraku \rightarrow únos kalu
- ♦ citlivost na změny teploty – zahřívání jedné strany čiriče (slunce) \rightarrow příčné proudy
- ♦ zpravidla nejsou výrazně odděleny jednotlivé fáze čiricího procesu \Rightarrow komplikace při dávkování polymerních koagulantů nebo POF
- ♦ malé stoupací rychlosti 3 – 4 m/h \Rightarrow pro dosažení potřebného výkonu nutné velké rozměry \rightarrow velká geodetická výška přepadu výhodou (možnost použití gravitačního způsobu následné filtrace) \Rightarrow není riziko rozbití vloček kalu čerpadly



Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – technické realizace

- čířiče s kalovým mrakem



Čířič ČKD Dukla, a.s.

- 1-vstup surové vody
- 2-výstup vyčiřené vody
- 3-pojistný přepad
- 4-přívod tlakového vzduchu
- 5-vstup alkalizačního činidla
- 6-vstup koagulantu (flokulantu)
- 7-odkalování
- 8-odběry vzorků vody
- 9-vypouštění čířiče

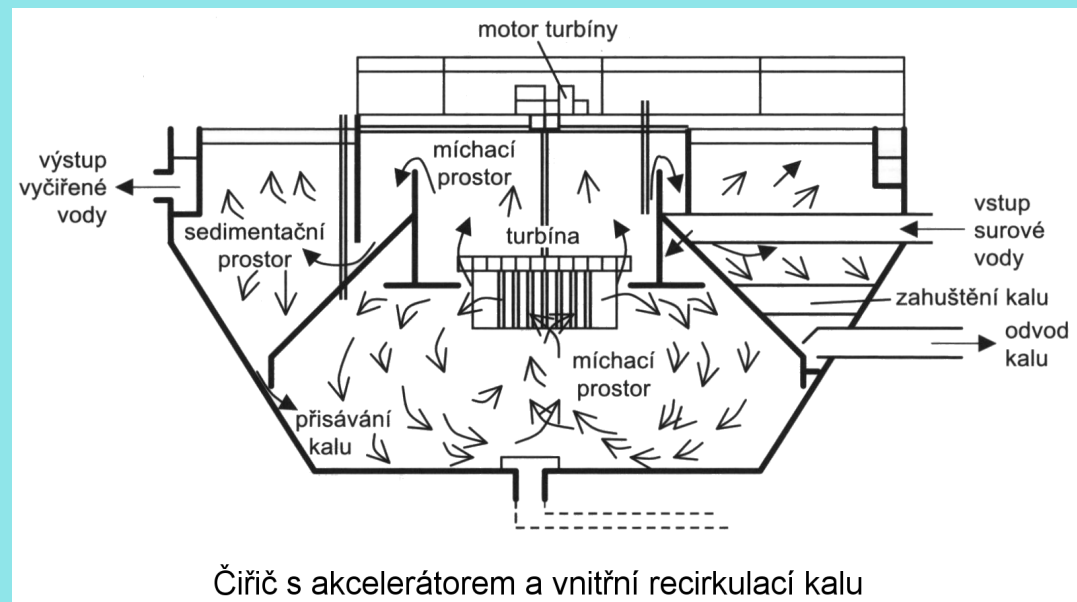
Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – technické realizace

- čiriče s vnitřní recirkulací kalu

- ♦ recirkulací kalu se dosahuje urychlení srážecích reakcí
- ♦ kal nasáván štěrbinou mezi sedimentačním a flokulačním prostorem
- ♦ recirkulace turbínou \Rightarrow zajištění promíchání kalu s přiváděnou vodou
- ♦ prudce klesající rychlost v sedimentační části \Rightarrow lepší stabilizace kalového mraku
- ♦ stoupací rychlost 3 – 4 m/h \Rightarrow velké rozměry zařízení
- ♦ problémem je odvod kalu

- odvod na stěnách spolehlivý pouze pro dobře odstranitelný kal (kyselé čiření)
- při alkalickém čiření nutné odvádět kal ode dna – **nelze zpravidla upravit sklon dna tak, aby kal odcházel samovolně**
- nutné mechanické shrabování \Rightarrow možný zdroj poruch

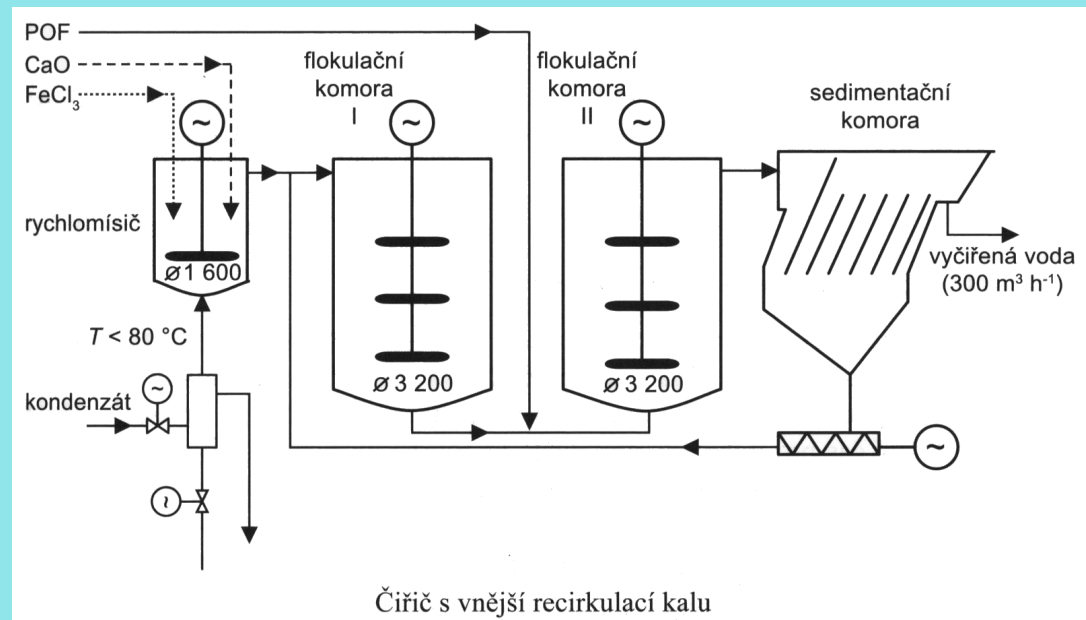


Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – technické realizace

- čiriče s vnější recirkulací kalu

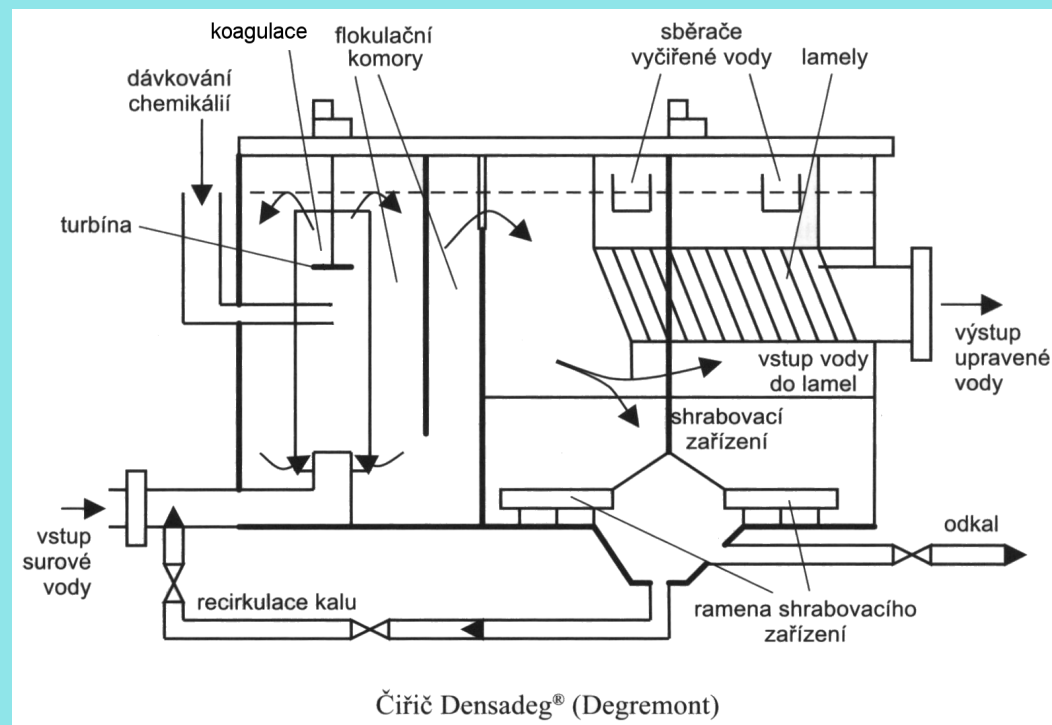
- ♦ umožňují optimální nastavení podmínek flokulace – rychlomísič zajistí dokonalou homogenizaci → první stádia flokulace → přidání recirkulovaného kalu před první flokulační komorou → přidání POF před druhou FK
- ♦ optimální z hlediska nastavení intenzity míchání a volby míst pro dávkování chemikálií
- ♦ závěrečná sedimentace v lamelové vestavbě ⇒ možnost vysoké stoupací rychlosti ⇒ nízká doba zdržení v čiriči ⇒ výrazné zmenšení rozměrů
- ♦ menší citlivost na změny průtoku čiřené vody
- ♦ **!!! pozor na seřízení recirkulace kalu podle průtoku** – riziko vyčerpání kalu z čiriče při malém průtoku
- ♦ vysoká citlivost na poruchu míchadel v rychlomísiči nebo ve FK



Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – technické realizace

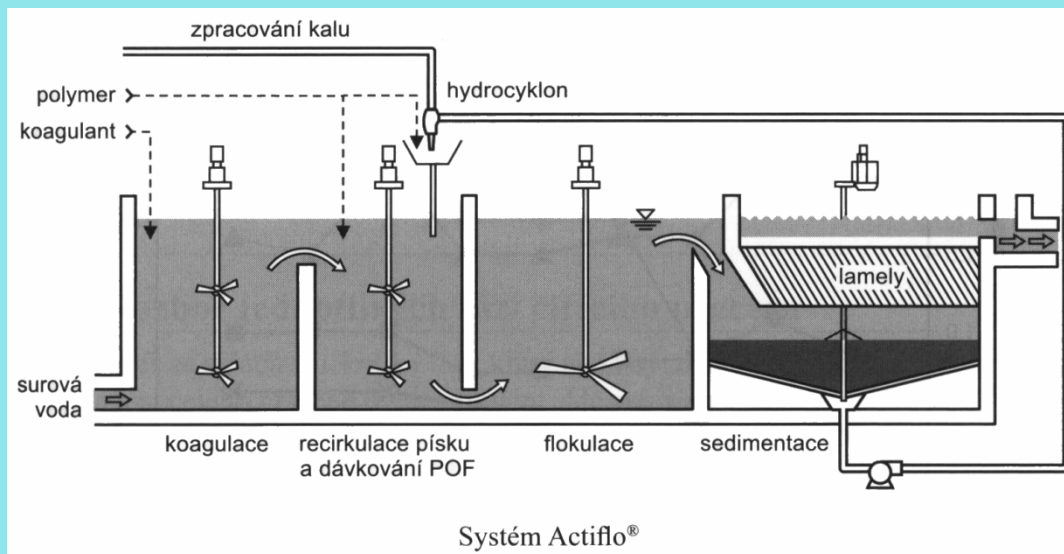
- čiriče s kombinovanou recirkulací kalu (systém Densadeg)
 - ♦ realizuje se jak vnitřní tak vnější recirkulace kalu
 - ♦ flokulační stupeň je jednostupňový (podobně jako u akceleratoru) ⇒ obtížnější nastavení optimálních gradientů míchání
 - ♦ novější verze mají předřazen rychlomísnič
 - ♦ vnější recirkulaci třeba seřizovat podle průtoku čiřené vody – riziko vyčerpání kalu z čiriče při malém průtoku
 - ♦ sedimentace v lamelové vestavbě ⇒ možnost vysoké stoupačí rychlosti ⇒ výrazné zmenšení rozměrů zařízení



Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – technické realizace

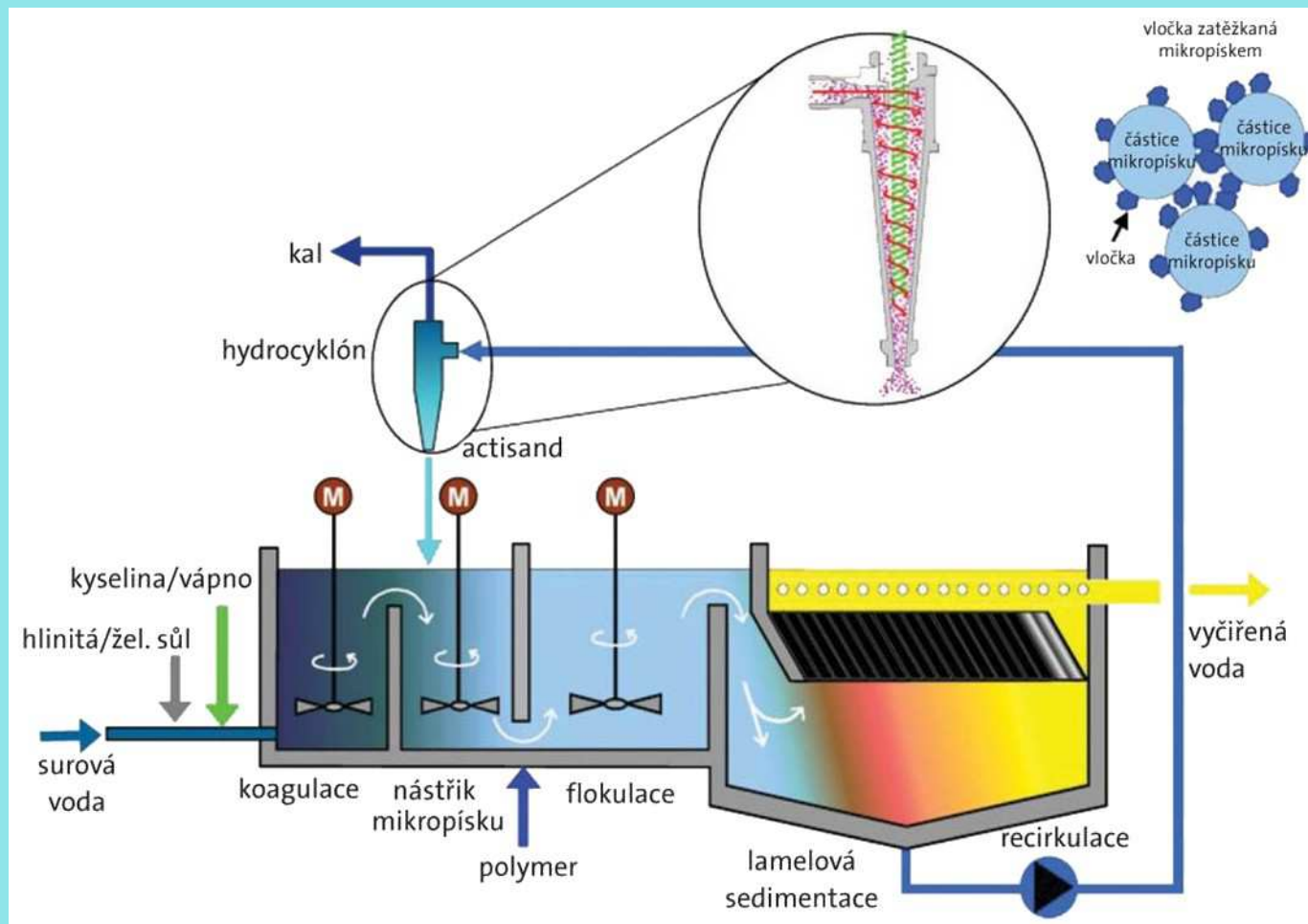
- čiriče s tvorbou kalu na nosiči
 - ♦ není založen na spontánní tvorbě sedimentující vložky
 - ♦ po koagulaci se dávkuje písek o zrnitosti $100\ \mu\text{m}$ → narůstání kalu na zrnkách písku ⇒ snazší průběh flokulace a menší doba zdržení (pro alkalické čiření méně výhodné – limitující je rychlost srážení CaCO_3)
 - ♦ větší specifická hmotnost kalu (základem písek) ⇒ možnost extrémně vysokých stoupacích rychlostí $60 - 80\ \text{m/h}$
 - ♦ recirkulace písku v hydrocyklonu (vzhledem k značnému rozdílu hustot písku a kalu je separace velmi efektivní) ⇒ minimální ztráty písku ($3 - 6\ \text{g/m}^3$ vody)
 - ♦ výhodou je malá závislost na obsahu suspendovaných látek ve vodě a na změnách průtoku
 - ♦ snadné znovunajetí po přerušení bez vlivu na kvalitu čiření



Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – technické realizace

- čířiče s tvorbou kalu na nosiči



Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – srovnání čirících metod

- porovnávání prováděno na poloprovozním zařízení o výkonu 20 m³/h
- čířená voda se značným obsahem organických a suspendovaných látek (období silných dešťů)
- výsledky prokazují výrazně lepší kvalitu vody z lamelových čiričů

Kritérium	Actiflo®			Densadeg®			Akcelátor		
	vstup	výstup	odstraněno	vstup	výstup	odstraněno	vstup	výstup	odstraněno
SL	147	16	89,1 %	173	23	86,7 %	170	40	76,5 %
CHSK _{Cr}	332	127	61,7 %	377	138	63,4 %	332	157	52,7 %
zákal	124	5	96,0 %	132	10	92,4 %	106	29	72,6 %

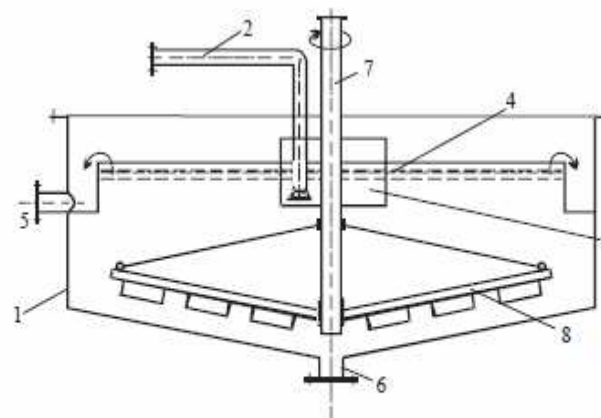
Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Čiření – závěrečná filtrace

- ve vyčiřené vodě zůstávají sedimentací nezachycené částice → velikost mírně větší nežli v surové vodě
- koncentrace max. 5 mg/l (lamelové čiriče – dosahováno dokonce < 1 mg/l)
- filtrace standardními pískovými filtry o velikosti zrna 0,7 – 1 mm

Likvidace kalů z čiření:

- Zahuštění + strojní odvodnění (kalolisy, pasové lisy)



Obr. 4.2 Usazovák s kruhovým průřezem

Legenda: (1 – válcové těleso, 2 – přívodní potrubí, 3 – uklidňovací prostor, 4 – hladina, 5 – odvodní potrubí, 6 – odvod kalu, 7 – hřídel, 8 – hrablo kalu)

Úprava chladící vody / srážecí reakce

Další srážecí reakce

- významnější využití srážecích reakcí zejména v minulosti → pomocí srážecích reakcí se v rámci předúpravy realizovala:
 - ♦ dekarbonizace
 - ♦ změkčování
 - ♦ odstraňování Fe a Mn
- v současné době srážecí reakce většinou nahrazovány úpravou vody pomocí měničů iontů (ionexy)
- uplatnění srážecích reakcí možné za podmínek, kdy je to výhodné z:
 - ♦ ekonomických důvodů (vzácné) – obvykle jsou ionexy výhodnější
 - ♦ provozní – snaha se vyhnout kyselinovému a louhovému hospodaření

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Další srážecí reakce

- změkčování

- ♦ odstraňování iontů Ca^{++} a Mg^{++} nebo jejich nahrazení jiným tvrdost nevyvolávajícím iontem (např. Na^+)
- ♦ dříve klasickým příkladem využití srážecí reakce → cílem byl vznik nerozpustných vápenatých a hořečnatých sloučenin (solí, hydroxidů) dle reakcí:
 - $\text{Ca}^{++} + \text{CO}_3^{--} \rightarrow \text{CaCO}_3$
 - $\text{Mg}^{++} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$
 - $3\text{Ca}^{++} + 3\text{Mg}^{++} + 4\text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$
- ♦ použití fosforečných sloučenin zejména při doměkčování → vzniklé fosfáty zároveň inhibitory koroze
- ♦ zpravidla realizace pomocí $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 nebo NaOH
- ♦ příklad: přidáním $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zvýšíme $\text{pH} \approx 10$ (změna formy CO_2 ve vodě) →
 - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
 - $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{MgCO}_3 + \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
 - MgCO_3 není při $\text{pH} \approx 10$ plně nerozpustný → další přídavek $\text{Ca}(\text{OH})_2$ → zvýšení $\text{pH} \approx 11$ →
 $\text{MgCO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Mg}(\text{OH})_2$ – oba produkty nerozpustné

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Další srážecí reakce

- dekarbonizace

- ♦ další z procesů pro aplikaci srážecích postupů
- ♦ z vody se odstraňuje HCO_3^- a nenávaný CO_2 dle reakcí:
 - $\text{CO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^-$
 - $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
- ♦ současně dochází k odstranění iontů Ca^{++} a Mg^{++} v množství, které odpovídá obsahu HCO_3^- (hydrokarbonátová tvrdost)
 - $2\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
 - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CaCO}_3$ – platí pro původně obsažený hydrogenuhličitan i pro produkt předchozí reakce
- ♦ vzniklý nerozpustný uhličitan můžeme odstranit sedimentací nebo filtrací \Rightarrow voda je dekarbonizovaná a částečně změkčená
- ♦ charakter vysrážených složek závisí na koncentracích, pH a dalších faktorech
- ♦ zdrojem OH^- iontů je $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve formě vápenné vody nebo mléka \rightarrow vznik v tzv. sytiči, viz obrázek

Úprava chladicí vody / srážecí reakce

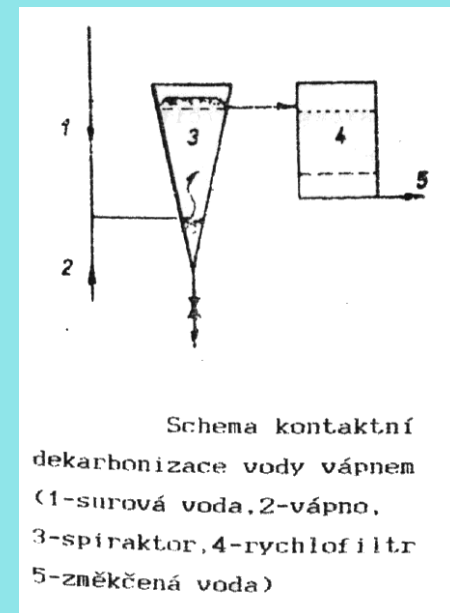
Další srážecí reakce

• dekarbonizace

- ♦ srážecí reaktory v energetice jsou ocelové nádrže s kónicky se zužujícím dnem
- ♦ sytič je kuželovitá nádoba se zásobou vápenného hydrátu → vzestupné proudění → vznik vápenné vody nebo mléka
- ♦ vzestupná rychlost vody 1 – 2 m/h ⇒ doba zdržení 3 – 4 hodiny (při vyšším obsahu Mg^{++} a organických látek až 6 hodin)

• kontaktní dekarbonizace

- ♦ používá se spireaktor – kuželovitá nádrž s ostrým úhlem vrcholu, viz obrázek
- ♦ v dolní části tangenciální vtok vody s vápenným mlékem ze sytiče (rychlost 5 m/s) ⇒ krouživý vzestupný pohyb v reaktoru
- ♦ používá se kontaktní hmota – zrnka písku nebo vápence
- ♦ vzestupná rychlost vody 10 – 20 m/h dle přítomnosti org. látek a Mg^{++}



Úprava chladicí vody / srážecí reakce

Další srážecí reakce

- odstraňování železa a manganu

- ♦ Fe a Mn obsažené ve vodě jsou nepříznivé pro provoz energetických zařízení (koroze, inkrustace, snižování kapacity ionexů) ⇒ je třeba jejich ionty vyloučit
- ♦ kromě srážecích reakcí (Fe se jako vedlejší reakce vylučuje např. při čiření nebo dekarbonizaci) jsou možné i další postupy – oxidační reakce.
- ♦ provádí se provětráváním vody tlakovým vzduchem ve sprchovacím či kaskádovém zařízení → hydrolyza a oxidace dvojmocného hydroxidu na trojmocný dle reakcí:
 - $2\text{Fe}^{++} + 1/2\text{O}_2 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 4\text{H}^+$
 - $2\text{Fe}(\text{OH})_2 + 1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3$
 - $\text{Mn}^{++} + 1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$
- ♦ oxidaci, při níž se rozpustné železnaté a manganaté sloučeniny převádějí na vícemocné (ve vodě málo rozpustné a dobře separovatelné) lze provést nejen vzdušným kyslíkem, ale též Cl, ClO₂ nebo O₃