

# Sodahuskommittén

Handläggare	<b>Rapport 2011-1</b>		1
Bert Flodqvist	Datum	Utgåva	Ordernr
Tel +46-(0)10-505 13 15	2011-08-17	1	
<a href="mailto:Bert.flodqvist@afconsult.com">Bert.flodqvist@afconsult.com</a>	Kemisk Rengöring		

## Sodahuskommitténs Rapport 2011-1

Riktlinjer för att skapa en bedömningsgrund för kemisk rengöring av en sodapanna

### 1 Beskrivning av projektet

Sodapannan får såsom alla pannor efter en tids drift beläggningar på vattensidan. Med sodapannans speciella funktion ställs särskilda krav på att bedömningen av beläggningens påverkan av tubytans temperatur är korrekt.

Eftersom detta berör viktiga beslut för pannans säkra drift bör det undersökas om Sodahuskommittén kan ge riktlinjer om vad som ska beaktas och vad som är relevant att begrunda i samband med bedömningen av när en panna rekommenderas för kemisk rengöring. För arbetet bildades en arbetsgrupp, se kapitel 2.

Arbetet började med att gruppen skickade ut en enkät till Sodahuskommitténs medlemmar. Enkäten var för att bedöma hur beslut tas på respektive fabrik när en panna skall genomgå kemisk rengöring.

Svaren på enkäten visade på att beslutsordningen inte var väldefinierad. Ett antal fabriker hade god uppföljning av beläggningshistoriken men generellt fanns det ingen fabrik som hade bestämda värden för när en panna skall göras ren på vattensidan (betas). Enkäten med resultat från fabrikerna finns i bilaga 1.

## 2 Arbetsgruppens sammansättning

Gruppen har sammanträtt i samband med Sodahuskommitténs skadegruppsmöten. Resultaten från dessa möten består utav ett antal punkter som är viktiga att ta hänsyn till inför beslut om när en sodapanna skall rengöras.

Gruppen var väl överens om att det finns ett stort antal faktorer som kan påverka ett sådant beslut. Gruppen anser därför att det är väsentligt att de rekommendationer som ges i denna sammanfattning inte skall betraktas som bindande att följa, då det kan finnas skäl som inte beaktats här som är av betydelse för beslutet.

För detta arbete skapades en arbetsgrupp bestående av följande personer

Urban Lundmark, Smurfit Kappa Piteå

Tomas Arnesson, Södra Cell Mörrum

Björn Lundgren, Billerud Gruvön

Fredrik Jeppsson, SCA Östrand

Ivan Falk, Force Nyköping

Sven Lahti, Inspecta

Anders Leijonberg, Inspecta

Alf Wiik, Dekra

Olimpiu Dumbrava, ÅF

Sammanställande: Bert Flodqvist, ÅF

### 3 Innehåll

1	Beskrivning av projektet .....	1
2	Arbetsgruppens sammansättning .....	2
3	Innehåll.....	3
4	Bilagor.....	3
5	Kemisk rengöring .....	4
6	Vattenbehandling .....	4
7	Bestämda tidsintervall mellan betningarna .....	4
8	Beslut baserat på bedömning av tub prover .....	5
9	Kemisk rengöring .....	7
9.1	Alternativ A .....	7
9.2	Alternativ B .....	8
10	Uttag av tubprover .....	8
11	Behandling av tuberna efter provuttag.....	10
11.1	Undersökning av tubytans status .....	10
11.2	Analys av belägningens sammansättning.....	10
12	Mätmetoder.....	12
12.1	Mätning av belägningens tjocklek .....	13
12.2	Mätning av belägningens vikt per ytenhet .....	13
13	Dokumentation .....	14
13.1	Exempel på hur historik skapas. ....	14

### 4 Bilagor

Bilaga 1	Sammanställning av de olika fabrikernas rutiner
Bilaga 2	Beläggningar och mekanismer.
Bilaga 3	Kemisk rengöring (betning).

## 5 Kemisk rengöring

Kemisk rengöring av sodapannan är en åtgärd att vidta då beläggningar på vattensidan har bildat ett så isolerande lager att tubernas ytemperatur har ökat så pass mycket att korrosionshastigheten på tuberna riskerar att stiga över acceptabel nivå. Eftersom en kemisk rengöring också kan innebära en risk för att pannans delar kan skadas skall en kemisk rengöring utföras av dokumenterat kunnig personal.

Med kemisk rengöring menar vi i detta fall hela processen dvs. avfettning, betning och magnetitbildning. Med betning avses den rengöring som görs med syra (eventuellt också salter) för att lösa beläggningarna på de vattenförande tubernas insida.

För att rengöra överhettartuber (hängande överhettare) krävs speciella åtgärder för att säkerställa cirkulationen i samtliga delar. Av denna anledning beskriver vi endast processen gällande vattenförande tuber i detta dokument. Kraven på beläggningens tjocklek och acceptabel sammansättning är också andra på överhettartuber då dessa används vid högre materialtemperaturer och andra material.

## 6 Vattenbehandling

En av de viktigaste faktorerna är en god vattenbehandling. Detta avhandlas dock inte i denna skrift. Det är viktigt att dokumentera avvikelser från de uppsatta kraven på vattenkvalitén och att reagera konsekvent om man får en förorening av pannvattnet vilket i värsta fall kan leda till att en kemisk rengöring blir nödvändig direkt innan pannan tas i drift igen.

## 7 Bestämda tidsintervall mellan betningarna

En strategi som förekommer är att ha ett föreskrivet tidsintervall mellan de kemiska rengöringarna. Vanligen ligger dessa intervall mellan vart femte till vart tionde år. Risken med detta är att man inte reagerar på förändringar som sker oväntat dvs. oförutsedda förändringar av beläggningsbilden. Därför bör en sådan strategi också innehålla ett krav på att det skapas en historik för beläggningen i pannans mest belastade delar.

## 8 Beslut baserat på bedömning av tubprover

Tubproverna skall regelbundet tas på sådant sätt att det är möjligt att göra en historik (beläggningens utveckling under tid) av vissa utvalda positioner där tubprover tas på samma tub ett antal år i en följd. Dock skall också enstaka prov tas på misstänkta positioner och utsatta ställen/lägen, men kanske med lägre frekvens.

Ugnen är en del som har hög värmebelastning och det är därför lämpligt att ta ut prover i denna del. Traditionellt har den högsta värmebelastningen ansetts finnas mellan primär- och sekundärluftnivåerna. Nya luftsystem, med betydligt större sekundärluftportar och förändrad eldningsfilosofi, bedöms att ha den högsta värmebelastningen uppåt i ugnen. Högsta värmebelastningen bedöms nu att finnas i nivåer mellan sekundär- och tertiär-luftportarna. Belastningen är också normalt lägre i hörnen därför bör proverna tas en bit in på väggen.

Ugnens tuber är de viktigaste delarna för bedömningen av pannans rengöringsbehov. Det är dock viktigt att man vid varje underhållsavställning kontrollerar ångdom (vattendom) och lådor. Det är också viktigt att inkludera kondensat- och matarvattentankarna samt avluftaren i inspektionen av vattensidan. Dessa kan ge viktig information om vattenbehandlingens funktion.

Vattenscreen är en position som kanske inte är bland de mest värmebelastade men beläggningens bildning måste ändå följas i dessa tuber men då med anpassad (baserad på tidigare provningsresultat) frekvens på provtagningen.

Tubprover bör också tas ut vid behov i ekonomiser. Ekonomisern kan ge tidiga tecken på om vattenbehandlingen är bristfällig. Ekonomisern har lägre vattentemperatur och därmed är dess skyddsskiktbildning (magnetit-/oxid-bildning) långsam.

Anvisningarna gäller bara vattenförande tuber. Bedömningsgrunderna bör baseras på beläggningens, tjocklek, sammansättning, porositet, ökningstakt samt pannans värmebelastning och tryck/metalltemperatur.

Även den position som tuben med beläggning har är av stor betydelse för bedömningen av beläggningens betydelse.

Beläggningens tjocklek är av avgörande betydelse för tubens materialtemperatur. Materialtemperaturen bestämmer tubens hållfasthet, med ökande temperatur sjunker inte bara hållfastheten utan tubens korrosionsegenskaper förändras.

Beläggningens sammansättning har betydelse för dess värmeledningsförmåga. Om beläggningen isolerar kommer tubens yttemperatur att stiga. Järnoxid har allmänt relativt god värmeledningsförmåga medan hårdhet har sämre värmeledning.

Beläggningens tjocklek är av vital betydelse för tubens yttemperatur. Detta kan mätas genom att tubprover analyseras med avseende på tjocklek i mikroskop.

Resultaten från tubprov kan variera något mellan provtagningarna. Det är därför viktigt att proverna tas i samma eller närliggande tub varje gång, (om dock något olika höjd) genom att en serie värden fås finns det möjlighet att förlänga trenden till när maximal beläggningstjocklek är att förvänta. Detta underlättar planeringen för en rengöring.

Tubprov bör tas ut vid varje ”stort” (årligt) underhållsstopp. Vid analys av beläggningen skall också hänsyn tas till dess struktur (huruvida den är porös eller inte). Samtidigt bör materialytan på både eldstadssida/isolersida och vattensida kontrolleras med avseende på korrosionsangrepp.

För pannor med normal värmebelastning och med panntryck (i ångdomen)  $\leq 85$  bar är rekommendationen att skiktjockleken inte överstiger 150 $\mu$ m om beläggningen har normal sammansättning

Om beläggningen har normal sammansättning består den av ca 72 vikts-% järn och ca vikts-28 % syre. Föroreningar av hårdhet och koppar försämrar beläggningens egenskaper och halter av Ca, Mg på >vikts-5 % räknat som element motiverar ett övervägande om kemisk rengöring av pannan.

När beläggningsproverna visar på en beläggningsanalys med kalcium, magnesium, koppar och kisel över de värden som visas i tabellen rekommenderar vi att en erfaren och renommerad pannvatteningenjör med stor erfarenhet från sodapannor kontaktas för att bedöma vilka åtgärder som eventuellt bör vidtas.

<b>Beläggning</b>	<b>Vikts-% (räknat som element)</b>	<b>Kommentarer</b>
<b>Kalcium (Ca)</b>	<b>5 %</b>	
<b>Magnesium (Mg)</b>	<b>5 %</b>	
<b>Koppar (Cu)</b>	<b>2 %</b>	
<b>Kisel (Si)</b>	<b>0,8 %</b>	

Viktiga faktorer att ta hänsyn till vid bedömning av eventuell kemisk rengöring:

- Antal år i drift sedan uppstart och antal år i drift sedan senaste kemiska rengöring.
- Vattensidans skyddskikt
- Skapa historik på skiktets tillväxt
- Tubprover på representativa delar i ugn och screen
- Prov på samma/intilliggande tub och närliggande nivåer
- Skiktjocklek ( $\mu\text{m}$ ) och/eller belägningsvikt/ytenhet  $\text{mg}/\text{cm}^2$
- Skiktets täthet
- Skiktets värmeöverföringsförmåga
- Andel hårdhet och koppar (Cu) innehåll i skiktet. Kisel är också av betydelse.
- Vattenkvalitet och avvikelse från normal funktion av vattenberedningsanläggning
- Vattenkemi (med avseende på typ av kemikalier som doseras).

## 9 Kemisk rengöring

### 9.1 Alternativ A

Vid val av att bestämma kemisk rengöring efter ett visst antal års drift bör detta baseras på följande åtgärder.

- Inspektion av lådor och domar vid varje underhållsstopp.
- Visuell inspektion av panntuber med avseende på tecken på överhettning
- Kontroll av vattenbehandling, inklusive inspektion av kondensat- och matarvattentank.
- Uttag och analys av tub prover för att skapa historik.
- Planera kemisk rengöring av pannan baserat på stipulerat antal år i drift mellan rengöringarna om inte historik visar att rengöringen måste ske tidigare.

## 9.2 Alternativ B

Vid val av att bestämma kemisk rengöring efter maximal rekommenderad vattensidig beläggningstjocklek eller skiktets maximala vikt/ytenhet baseras på följande åtgärder.

- Inspektion av lådor och domar vid varje underhållsstopp.
- Visuell inspektion av panntuber med avseende på tecken på överhettning
- Kontroll av vattenbehandling, inklusive inspektion av kondensat- och matarvattentank.
- Uttag och analys av tubprover för att skapa historik och planera kemisk rengöring av pannan med historiken som underlag.

För sodapannor med panntryck (i ångdomen)  $\leq 85$  bar rekommenderas en vattensidig beläggningstjocklek på tuber som kan ge vattenläckage till ugnen på  $\leq 150 \mu\text{m}$ . För pannor med högre tryck måste mer hänsyn tas till beläggningens sammansättning och till vilken materialtemperatur tuberna har. För att kontrollera beläggningen bör både skiktjocklek och vikt/ytenhet helst användas.

Sammanfattningsvis är rekommendationen följande:

Endast skiktjocklek kan vara tillräckligt i de fall då beläggningen är stabil utan att falla av vid provberedningen.

En analys av beläggningens innehåll skall alltid göras.

I händelse av porösa beläggningar skall skiktjocklek kombineras med mätning av vikt/ytenhet.

## 10 Uttag av tubprover

Tubprov bör tas ut vid varje ”stort” underhållsstopp. Vid analys av beläggningen skall också hänsyn tas till dess struktur (huruvida den är porös eller inte). Samtidigt bör tubytan kontrolleras med avseende på korrosionsangrepp. Eftersom uppbyggnaden av beläggningen på tubernas vattensida i många fall är beroende av värmebelastningen, så eftersträvas att få tubprover från den del av ugnen som är högst värmebelastad. Denna nivå kan variera beroende på ett antal faktorer såsom luftsystem och luftens strömning, bränslets torrhalt, sprutornas placering, last mm. Det mest värmebelastade området är individuellt för varje panna men bör för de flesta fall ligga inom det rödrandiga området i Bild 1.



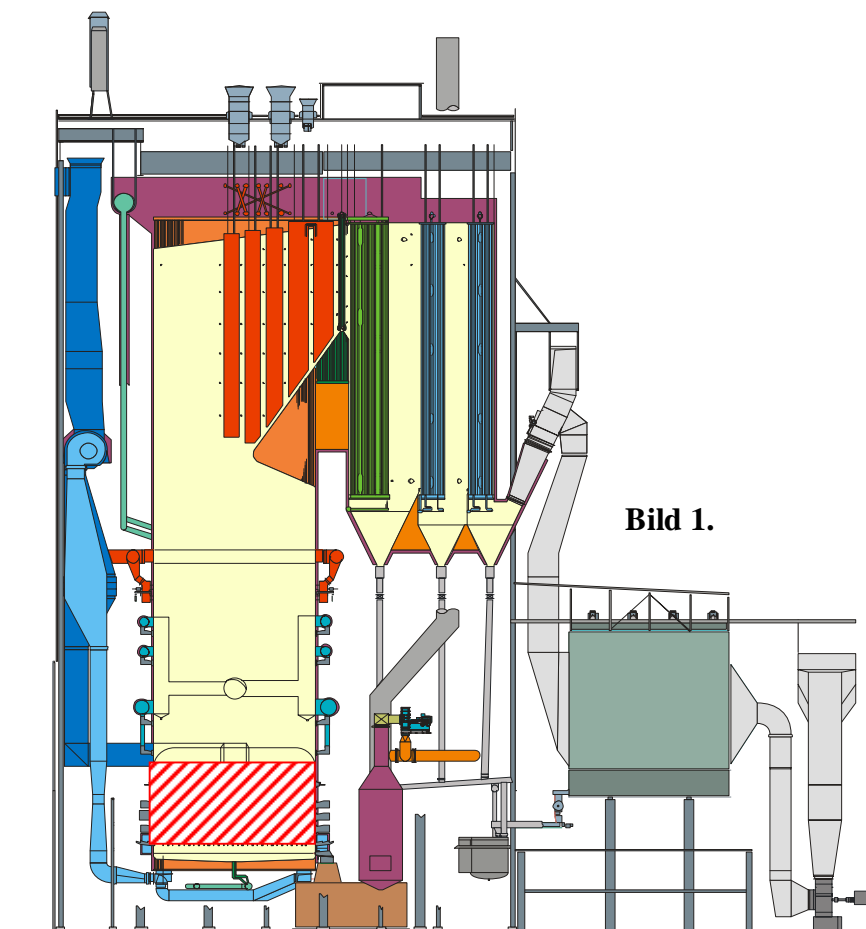


Bild 1.

Tubprov tas på de intilliggande ställen som tidigare bidragit till den historik som sammanställts för att följa beläggningstillväxten. Det är ofta nyttigt att komplettera med tubprover från andra positioner där det finns anledning att p.g.a. någon orsak ana problem (färgförändring, ytstruktur, position eller dylikt).

Det kan också vara av värde att jämföra med beläggningen i en tub med lägre värmebelastning exempelvis hörntub, som ofta har en annan beläggningssammansättning beroende på ett lägre flöde.

Vid uttag av tubprover bör tubprovernas längd vara cirka 0,6 m om man använder kapskiva eller såg (helst bör kapning med skärbrännare undvikas pga. att beläggningen kan förstöras). Om tuben i alla fall kapas med skärbrännare bör tubprovets längd ökas till cirka 1 m.

Tube skall behandlas varsamt eftersom beläggningen oftast är spröd och ibland porös, slag på tube kan förstöra beläggningen. Direkt när provet tagits ur skall tube torkas med hårtork eller liknande om den är fuktig och sedan förslutas i båda ändar för att undvika att skada skiktet (för att skydda det från ”nyfikna fingrar”) i väntan på transport till laboratoriet.

## **11 Behandling av tuberna efter provuttag**

### **11.1 Undersökning av tubytans status**

Det är vanligt att den vattensidiga beläggningens tjocklek skiljer sig, mellan varm och kall sida (värmebelastad och isolersida) både vad gäller tjocklek och sammansättning. Därför är det vanligt att klyva prover för att behandla dessa delar separat.

Det första steget är att undersöka tubprovets vattensida okulärt. Baserat på detta väljs delar ut för bestämning av beläggningens tjocklek, analys av dess sammansättning, bestämning av beläggningens vikt per ytenhet, samt undersökning av tubytans status under beläggningen.

Enligt urvalskriterierna ovan rengörs en del, varefter den rengjorda ytan undersöks okulärt med avseende på korrosionsangrepp.

### **11.2 Analys av beläggningens sammansättning**

Det är väsentligt att beskriva beläggningens struktur och sammansättning. Vissa komponenter i pannbeläggningar är svårare att ta bort vid en kemisk rengöring.

Det kan i vissa fall vara nödvändigt att lägga till fler steg i rengöringsprocessen. Genom sammansättningen kan det framgå om vidare åtgärder är nödvändigt att planera in vid den kommande kemiska rengöringen.

Det är vanligt att beläggningarna skiljer sig mellan varm och kall sida (värmebelastad och isolersida) både vad gäller tjocklek och sammansättning. Därför är det vanligt att klyva prover för att behandla dessa delar separat.

Om en tillräcklig mängd beläggning kan skrapas loss från vattensidan, kan en våtkemisk analys av sammansättningen göras. I fall med tunna beläggningar, görs undersökningen direkt på tube, lämpligen med SEM (-EDS, alternativt WDS).

Alltså ett svepelektronmikroskop med en energidispersiv detektor respektive våglängdsdispersiv spektrometri. Detta identifierar element med atomnummer högre än 5. Det är dock i vissa fall nödvändigt att avgöra huruvida kol (C) förekommer i beläggning eftersom det då vid en eventuell rengöring krävs ett extra steg i den kemiska rengöringen av pannan.

Kol har atomnummer 4 och kan därmed vanligen inte indikeras med hjälp av SEM-EDS. I detta fall kan då en annan metod användas, GD-OES, som står för Glow Discharge- Optical Emission Spectroscopy.

Exempel på resultat från analys av beläggningsprover.

<b>Chemical component</b>	<b>Rear Wall Tube 1</b>	<b>Rear Wall Tube71</b>
<b>CaO</b>	<b>2,1%</b>	<b>9,0%</b>
<b>MgO</b>	<b>2,2%</b>	<b>11,5%</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>3,2%</b>	<b>2,2%</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>1,9%</b>	-
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>64,6%</b>	<b>62,5%</b>
<b>MnO</b>	<b>0,5%</b>	<b>3,7%</b>
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>0,2%</b>	-
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>0,6%</b>	<b>0,5%</b>
<b>NiO</b>	<b>0,3%</b>	-
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>1,3%</b>	<b>6,4%</b>
<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>0,6%</b>	<b>2,2%</b>
<b>ZnO</b>	<b>0,2%</b>	-
<b>CuO</b>	<b>22,3%</b>	<b>2,0%</b>
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>0,1%</b>	-
<b>Σ</b>	<b>99,9%</b>	<b>100%</b>

Kol (C) är av intresse att veta i de fall det kan misstänkas att pannvattnet kan ha förorenats eller då pannan närmar sig det datum då en kemisk rengöring skall genomföras. Rengöringsmetoden är beroende av om bland kol skall avlägsnas. I andra fall kan kol undantas eftersom det kräver extra provning för att kvantifieras.

## 12 Mätmetoder

Av de uttagna proverna skall en bedömning göras av var beläggning kan anses som värst. För att kunna bedöma detta är det nödvändigt att dela tuben i flera delar samt även att klyva en del av provet så att man erhåller en värmebelastad del och en isolerad del.

**En analys av beläggningen skall alltid göras.**

När vi har tillgång till analysresultaten rekommenderar vi två olika mätmetoder för att följa beläggningens utveckling i pannan.

- **Mätning av beläggningens skiktjocklek**
- **Mätning av beläggningens vikt per ytenhet**

Dessa två metoder kompletterar varandra men var och en kan i vissa fall användas som enda prov.

Gällande skiktjocklek måste provet behandlas olika beroende på skiktets karaktär. Vissa prover bör bakas in i krympfri plast och sedan bearbetas (slipas ner).

Det är väsentligt att beskriva beläggningens struktur och sammansättning. Vissa komponenter i pannbeläggningar är svårare att ta bort vid en kemisk rengöring. Det kan i vissa fall vara nödvändigt att lägga till fler steg i rengöringsprocessen. Genom sammansättningen kan det framgå om vidare åtgärder är nödvändigt att planera in vid den kommande kemiska rengöringen.

Det är vanligt att beläggningarna skiljer sig mellan varm och kall sida (värmebelastad och isolersida) både vad gäller tjocklek och sammansättning. Därför är det vanligt att klyva prover för att behandla dessa delar separat.

För att testa beläggningsvikt per ytenhet rekommenderas att följa ASTM 3483, metod B Solvent Removal.

Detta innebär att man löser upp den vattensidiga beläggningen med inhiberad saltsyra och jämför provets vikt före och efter. På detta sätt kan man sen beräkna mg/ytenhet som förlorats.

Det är också möjligt att välja om en hel ”ring” av tubprovet skall testas eller om det skall separeras med avseende på isoleringssida och ugnssida.

Sammanfattningsvis är rekommendationen följande:

En analys av belägningens innehåll skall alltid göras.

Endast skiktjocklek kan vara tillräckligt i de fall då belägningen är stabil utan att falla av vid provberedningen.

I händelse av porösa beläggningar skall skiktjocklek kombineras med mätning av vikt per ytenhet.

## **12.1 Mätning av belägningens tjocklek**

Positioner i tubprovet för bestämning av belägningens tjocklek, bestäms efter resultatet av den okulära undersökningen av tub ytorna enligt avsnitt 11.1, ovan.

Belägningens tjocklek mäts vanligtvis i ett metallmikroskop, på ett slipat och polerat tvärsnitt av tubväggen. För praktisk hantering, gjuts provbitarna först in i krympfri plast, varefter provberedningen kan påbörjas. För att få ett någorlunda statistiskt säkert resultat bör mätningen utföras på ett 30 tal ställen på det undersökta provet.

I många fall är det bra att försöka uppskatta belägningens tjocklek på ett större prov. Detta är extra viktigt när man kan misstänka att delar av belägningen faller av vid kapning och hantering av tubproverna. På den större provbiten skrapas ytan stälren på ett litet område. Här kan sedan en bladmåtsats användas för att uppskatta belägningens totala tjocklek.

Ovanstående procedur bör utföras på material som tagits ut från den värmebelastade delen av tubprovet, såväl som på den del som varit vänd mot isolersidan.

På de preparerade tvärsnitten görs också en bedömning av det skyddande oxidskiktets kvalitet, samt förekomst av korrosion på tubytan.

## **12.2 Mätning av belägningens vikt per ytenhet**

Detta innebär att man löser upp den vattensidiga belägningen med inhiberad saltsyra och jämför provets vikt före och efter. På detta sätt kan man sen beräkna vikten mg/ytenhet som förlorats.

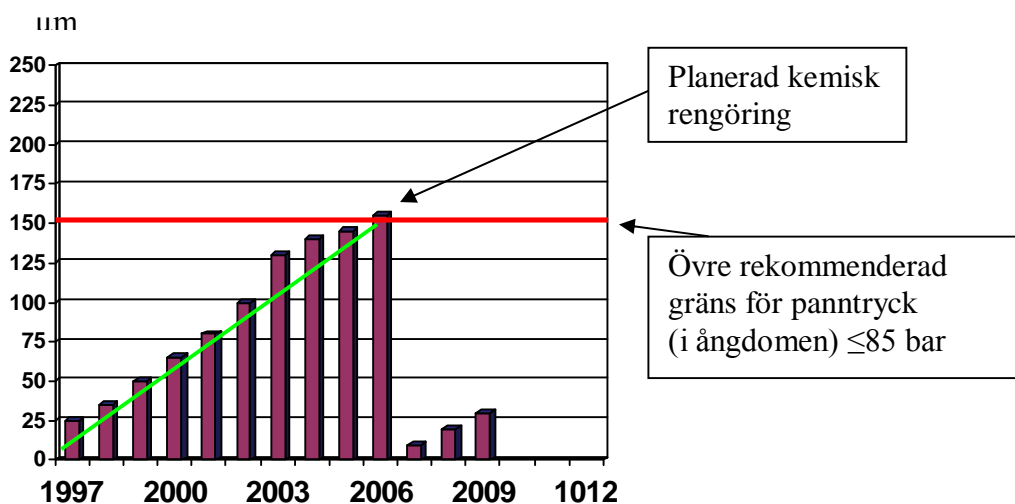
Det är också möjligt att välja om en hel ”ring” av tubprovet skall testas eller om det skall separeras med avseende på isoleringssida och ugnssida.

## 13 Dokumentation

Det är viktigt att alla steg enligt ovan dokumenteras. Därmed kan resultaten användas som jämförelse vid kommande undersökningar.

### 13.1 Exempel på hur historik skapas.

Pannan startades för första gången 1996. Tub 52 på vänster sidovägg är den som indikerar behov av kemisk rengöring. Tub proverna från tub 52 har tagits ur varje år efter starten 1996 i nivån ovanför sekundärluftportarna





Sodahuskommitténs Rapport 2011-1. Bilaga 1 - Sammanställning av de olika brukens rutiner											
Hur ofta tas tubprover	Tubprov senast	Torrhalt %	Bottenbelastning kW/m <sup>2</sup>	Råvatten	Vattenbehandling	kemikalier	Riktvärde vattenkval.	Rutin mätningar	Egna kom.	Panna	Bruk
Varje revisionstopp (18mån)	2008-10-01	72	max 19,2 tts/m <sup>2</sup> (140m <sup>2</sup> )	ytvatten Väneren	totalavsaltning	komm	komm	komm		T5	Gruvön
Vid ingrepp i tryckkärlet	2009	73	100m <sup>2</sup>	älv (Kalix)	totalavsaltning-2003	komm	komm	komm		T3	Karlsborg
varje år	2009	68-70	14,8 tts/m <sup>2</sup>	Motala stöm			SHK rekomentd.			SP2	Skärblacka
varierande	2001	72	2,73 MW/m <sup>2</sup>	Älvvatten	totalavsaltning	komm			se bilagor	SP2	Lövholmen
1ggr/år	2009	73-74		Ävatten		komm.	komm.	komm.	kom.	To3	Frövi
komm	2009-04-20		83m <sup>2</sup>	älv (Dalälven)	totalavsaltning	komm	se bilaga	komm		SP4	Kornäs Gävle
komm	2009-05-20		105m <sup>2</sup>	älv (Dalälven)	totalavsaltning	komm	se bilaga	komm		SP5	
Varje år i ugn och/eller ÖH	2009	75	17,1tts/m <sup>2</sup> -2,3MW/m <sup>2</sup>	älv (Ångerman-)	totalavsaltning					SP2	Dynäs-Väja
		75	56	älv	totalavsaltning			Labprover-SiO <sub>2</sub>		TP6	Husum
		75	111	älv	totalavsaltning			Labprover-SiO <sub>2</sub>		TP8	
Vid ingrepp i tryckkärlet	2007	68-70	15tts/m <sup>2</sup>				se bilaga		kom	SP2	Billingsfors
komm	sep-09	64-67		komm	komm	komm		komm		SH3	Peterson
1ggr/år	2009	73	2600-/152m <sup>2</sup>	Älvvatten	totalavsaltning	komm.	se bilaga	se bilaga	kom.	SP6	Östrand
		80		sjövattnen/väneren	totalavsaltning					SP5	Skoghall
varje revisionstopp	apr-09	65-72		sjövattnen	totalavsaltning					SK1	Tofte
	maj-09	78	3,7MW/m <sup>2</sup> eff.v.v	å-vatten (Emån)						SP6	Mönsterås
1ggr/år	2008	~70	3500	Ävatten	totalavsaltning	komm.	komm.	komm.	kom.	SP3	Mörum
Varje revisionsstopp	apr-08	72	2236 kW/m <sup>2</sup>	Viskan	totalavsaltning					SP2	Värö
										SP8	Domsjö
	maj-08	72-73	bottenarea 50m <sup>2</sup>							SP9	
										T3	Iggesund
										T4	
										SP3	Aspa
										SP3	Bäckhammar
										SP6	Skutskär
										SP7	
										SP2	Obbola
Där tuber med korrosion hittas Maj 2008		72-73%	bottenarea 50m <sup>2</sup>	Piteå älven	totalavsaltning					SP3	Munksund
										xx	Borregaard



## Beläggningar och Mekanismer

På insidan (vattensidan) av panntuber sker en ständig tillväxt av beläggningar, oxider och föroreningar. Beläggningstjocklek och avsättning av föroreningar från vatten uppnår så höga värden att pannan måste rengöras kemiskt efter en viss drifttid. Kemisk rengöring bör utföras eftersom beläggningarna försämrar kylningen av tuberna och tubmaterialtemperaturen måste hållas inom tillåtna värden. Tillväxthastigheten varierar inom vida gränser och är funktion av värmebelastning, typ av material, vattenkemi och pannvatten kvalitet (typ och halt av föroreningar). Efter viss drifttid eller då beläggningarna blivit så tjocka att temperaturen har blivit otillåtet hög samt för att undvika driftstopp som följd av tubskador avlägsnas beläggningarna genom kemisk rengöring.

En annan orsak till kemisk rengöring är att oxidskikten spricker och flagar av. Sprickor i oxidskikten förekommer om vattenkemi och olika parametrar avviker från riktvärden för vattenkvalitet eller temperaturen överstiger lokal otillåtna värden.

Kontrollmätningar utförs årligen eller vid driftstopp av anläggningen genom uttagna tubprover. Beläggningarna kan undersökas på laboratorium med avseende på tjocklek, sammansättning, stuktur, färg, etc. Efter erhållet resultat skall kemisk rengöring utföras. Tekniken är väletablerad, behandlingen är effektiv och oftast erhålls bra resultat. Vid kemisk rengöring av anläggningen kan varierande resultat erhållas med olika renhetsgrad av olika komponenter, t.ex. eldstadstuber, överhettare, eko, etc. Orsakerna härtill är sannolikt att beläggningarna är ojämna på metall ytan och tjockleken varierar samt beläggningen som bildats i närvaro av ånga har en annan karakter än beläggningen i närvaro av vatten. Ojämn beläggning i system leder till ojämn renhetsgrad eller större materialförlust efter kemisk rengöringsprocess. Varierande resultat kan uppnås p.g.a. oxidskikten är tätare och innehåller svårslösliga järnoxider i närvaro av ånga jämfört med oxidskikten i närvaro av vatten.

Kemisk rengöring är ändå effektiv teknik som leder till bra resultat om rätt indelning av anläggningen utförs för inkoppling av utrustning, rätt kemikalie typ och mängd används samt rätta parametrar (temperatur, tid) behålls under rengöringsprocessen.

Som följd av beläggningarnas uppbyggnad kan andra effekter än den försämrade kylningen påverka pannans driftsäkerhet såsom korrosionsangrepp när en porös beläggning uppstår i system, lokal överhettning om ångfilm bildas i spalterna, avlagringskorrosion som förekommer som angrepp under tjock beläggning, m.m.

Efter utförda undersökningar är beläggningar sammansatta av ett inre kompakt skikt och ett yttre poröst skikt. Det inre skiktet är tunnare och består av oxiderad metall medan det yttre tjockare skiktet består av deponerad oxid eller/och föroreningar från vatten.

Beläggningen består normalt av:

- **Järnoxider.** Oxidskikten förekommer från oxidering av metall ytan i närvaro av löst syre i vatten. Oxidskikten kan bestå av magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) och hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Magnetit sitter fast, är inte poröst och skyddar metallytan från ytterligare

korrosionsprocess. Hematit förekommer i beläggning när en aktiv korrosionsprocess pågår i system. För mycket syre i vattnet ger angrepp i system men främst ger angrepp i economiser och matarvattencistern och betydligt mindre i vertikala delar i panntuber. Därför uppföljning av syrehalt i system rekommenderas. Syrehaltsanalys kan utföras med on-line instrument – syreanalysator.

- **Koppar och Zink.** Koppar förekommer från vissa komponenter som är av koppar eller mässing. Koppar förekommer från dessa komponenter (i matarvattenberedning anläggning eller i kondensat system) under längre driftperiod som kopparjoner eller bunden som komplex om ammoniak doseras i system som alkaliseringsmedel för ånga. Kopparmetallen bildar en barriär för vattentransporten från bulkfasen in till metallytan. Invid ytan uppstår en konstant ångfilm, kylningen av materialet försämras och en höjning av tubtemperaturen erhålls. Koppar bildar en ”metallfolie” och en kraftig oxidation av tubväggen pågår. Syret till den lokala oxidationen av metallen kommer från sönderfall av vattenmolekyler. Det frigjorda syret reagerar med järnet och väte reagerar med kolet i metallen och bildar metangas. Metangasen och väten ger en försprödning av materialet. Slutningen uppstår läckage genom sprickbildning utan någon deformation eller fläkning av tuben. Därför är det viktigt att kontrollera (mätningar och analyser) utförs varje år (vid driftstopp). Komponenter av koppar eller mässing ska därför inte installeras i anläggningen, speciellt om ammoniak doseras för alkalisering av ångan. Före varje kemisk rengöring utförs provbehandling av tubprov. Dessa analyser är vägledande för modifieringar av kemikaliekoncentrationen, temperaturen och behandlingstid under kemisk rengöringsprocessen.
- **Kalcium och Magnesium.** Dessa ämnen förekommer från spädvatten eller kondensat. Om matarvattenberedningsanläggningen har försämrad funktion eller inläckage finns i kondensat systemet då kan salter typ karbonat och sulfat (hårdhetsbildare) förekomma i vatten. Dessa salter faller ut på metallytan och bildar hårda beläggningar som i sin tur försämrar värmeöverföringen. Tuberna kommer att vara utsatta för otillåtet hög temperatur med negativa konsekvenser. Därför rekommenderas regelbundna manuella analyser och uppföljning av vattenkvalitet.
- **Andra ämnen.** Andra tänkbara ämnen, som t.ex. klorid, kisel, natrium, etc. kan förekomma från vattenberedningsanläggning eller/och kondensat system. Vid läckage eller sämre funktion av vattenberedningsanläggning kan föroreningar förekomma i pannvattnet och bidra till ökad beläggning samt ökar risken för sämre kylning av panntuberna. Därför är det viktigt att utföra manuella analyser för uppföljning av spädvatten och kondensatkvalitet. Anläggningen bör kompletteras med on-line instrument typ kiselanalysator, natriumanalysator, konduktivitetens mätare, surkonduktivitetens mätare, pH-instrument, etc. för bättre övervakning av vattenkvaliteten.

För att undvika driftstopp och störningar i produktion som följd av tubskador kontrolleras beläggningen med viss frekvens (årligen eller vid revision) och när beläggningen är för tjock utförs kemisk rengöring.

## Sammanfattning av litteraturstudien

För att bestämma behovet för kemisk rengöring av en sodapanna är det viktigt att identifiera beläggningsmängd och sammansättning.

Analysmetoder för bestämning av beläggningsmängden på vatten- och ångsida har behandlats inom flera projekt och resultaten finns i litteratur. I värmeforskrapporter redovisas sammanställningar och värderingar av olika mätmetoder samt praktiska försök såsom tjockleksmätning, morfologi och behandling av ytskikt. I litteratur redovisas resultat från mätningar med hjälp av konventionella mätmetoder samt oförstörande mätmetoder.

Den kemiska sammansättningen hos beläggningar ägnas stort intresse i litteraturen liksom kemiska och fysikaliska förklaringar av orsakerna till bildning av beläggning. Även värmemotståndet i beläggningar med olika sammansättning är omskrivna.

I många undersökningar har syftet varit att fastställa riktvärden för den beläggningstjocklek som svarar mot maximalt tillåten materialtemperatur. Med hjälp av mätningar och riktvärde skulle optimal drifttid mellan kemiska rengöringar uppnås. I artiklar redovisas arbeten med framtagning av teoretiska modeller för beräkning av beläggningstillväxt och kritisk tubväggtemperatur. För användning av dessa modeller behövs relevant data för panndriften och vattenkvalitet. Några uppgifter i litteraturen om att denna typ av beräkningsmodeller tillämpats vid praktisk drift har inte påträffats. Uppgifter om praktisk tillämpning av dessa modeller saknas dock i litteraturen.

I flera artiklar redovisas resultat från undersökningar och omfattande arbete som bekräftar att förhöjd materialtemperatur med alla negativa konsekvenser är resultat av de komplexa förhållandena av olika parametrar, antal parametrar är många och dessutom har parametrarna stor variation.

En sammanställning av drifterfarenheter från olika anläggningar redovisar att kemisk rengöring utfördes i princip efter viss drifttid. Som mätmetod för kontroll anges tjockleksmätningar på tubprover uttagna från högt värmebelastade ställe i panna.

## Parametrar

Som resultat av olika studier och erfarenhet från anläggningar bedöms det att värmebelastningen är den huvudparameter som är bestämmande för materialtemperaturen. Värmebelastningen är också funktion av beläggnings- tjocklek och sammansättning samt vattenkemi. I Babcock & Wilcox's "Plant Service Bulletin" rekommenderas att utföra en kemisk rengöring när beläggningen överstiger vissa gränser, t.ex. för pannor under 64 bar cirka 40 mg/cm<sup>2</sup>, pannor mellan 69 och 138 bar ca 20 mg/cm<sup>2</sup> och pannor med tryck över 138 bar ca 12 mg/cm<sup>2</sup>.

Även tunna beläggningsmängder kan vid mycket hög värmebelastning orsaka otillåtet hög materialtemperatur och därmed ökar risk för krypskador i tuberna.

I litteraturen finns resultat från olika värmetekniska försök med tuber från sodahuspannor. Resultaten redovisar att beläggningar som redan vid en ytvikt på 10 mg/cm<sup>2</sup> ger upphov till en temperatur på 330°C om panntrycket är 40 bar och värmebelastningen 150 Mcal/m<sup>2</sup>h som bedöms vara kritisk för sodahuspannor. Men för andra pannor krävdes en beläggning upp till 100 mg/cm<sup>2</sup> för att samma tubtemperatur uppnås.

Därför rekommenderade gränser bör ta hänsyn till andra faktorer såsom beläggningssammansättning, porositet och vattenkemi.

Beläggningssammansättning – olika sammansättningar av beläggningen leder till olika värmemotstånd samt till olika skademekanismer (korrosionsprocess). Det bedöms att uttag av panntubprov från mest värmebelastade platser med analys av beläggning är viktigt för att bedöma om det är lämpligt att utföra kemisk rengöring, om risker för korrosion uppstår.

Beläggningarnas porositet har stor inverkan på temperaturförhöjning i tubväggen med negativa konsekvenser.

Vattenkemi. En bra funktion av vattenberedningsanläggning med uppföljning av vattenkvalitet (med manuella analyser och on-line mätinstrument) leder till minskning av beläggningshastighet och mindre risk för korrosionsprocess samt mindre värmebelastning. I detta fall kan intervallen mellan kemiska rengöringar av pannan öka. Uppföljning av vattenkvalitet och vattenberedningsanläggningens funktion bör utföras med manuella analyser samt on-line instrument såsom natrium- och kiselanalysator, pH och konduktivitetmätare, surkonduktivitet, etc.

Temperaturmätning – Konventionella bedömningen av beläggningar på tjockleks och ytvikts värden bör omfatta volymvikt. Detta mätvärde ger mera information om beläggningens inverkan på tubväggtemperaturen. Mätvärdena påverkas av avlossningsprocessen hos beläggningar på vatten- och rökgassidan hos tuberna. Därför ett stort antal mätpunkter krävs för att erhålla tillförlitlig information om väggtemperaturen. Direkta mätningar av tubväggtemperaturen med termoelement ger en bra information för att upprätthålla en god driftsäkerhet samt bedöma när kemisk rengöring av pannan bör utföras.

Det bedöms att många parametrar med stora variationer under driftperioden deltar i processen och bidrar till ökad beläggningshastighet, ändring av beläggningsstruktur och färg, beläggningstjocklek, beläggningssammansättning, värmebelastning, etc.

I detta projekt har följande parametrar valts för bedömning av lämpligt punkt för kemisk rengöring:

1. Panna och panndata med
  - Tryck
  - Temperatur
  - Byggår och pannstart
  - Antal år i drift
  - Värmebelastning

2. Beläggning med
  - Beläggningstjocklek och vikt
  - Beläggningssammansättning
  - Beläggningens utseende
  - Information om utförda kemiska rengöringar
3. Bränsle med
  - Torrhalt
  - Bottenbelastning
4. Vatten med
  - Typ av vatten och vattenbehandling
  - Typ av kemikalier och vattenkemi
  - Riktvärde och uppföljning av vattenkvalitet

Sammanställning en från de olika bruken presenteras i bilaga 1.

## Slutsatser

Efter erfarenhet från olika anläggningar, befintliga utredningar och olika projekt som finns i litteratur och erfarenhetsbaserad kan följande slutsatser lämnas:

- Kemisk rengöring bör utföras när pannan är utsatt för höga risker för skador, korrosion och hög värmebelastning.
- Värmebelastningen är den huvudparameter som är bestämmande för materialtemperaturen. Hög värmebelastning orsakar otillåtet hög tubtemperatur och därmed ökar risk för skador i tuben. Kontinuerlig temperaturmätning i pannan rekommenderas med hjälp av termoelement speciellt på hög värmebelastade delar av panna. Om kontinuerlig temperaturmätning inte kan utföras då kan dessa mätningar ersättas med analyser av beläggningstjocklek, beläggningens utseende och färg, beläggningstillväxt och hastighet, uppföljning av vattenkvalitet och vattenkemi (spädvatten och kondensat), etc.
- Analys av beläggning (beläggningssammansättning) rekommenderas. Panntub prover bör tas vid varje driftstopp för att identifiera typ av beläggning och vilka ytterligare korrosionsrisker som förekommer.

## **Kemisk Rengöring**

Nya pannor har fått en alltmer komplicerad konstruktion samtidigt som värmebelastningen ökar kraftigt. Slamavlagringar och beläggningar är problem som förr eller senare kan uppstå i panna. Dessa beläggningsproblem kan finnas i pannor, värmväxlare, kylare, cisterner och rörledningar mm. Beläggningarna kan ge upphov till störningar som sämre värmeöverföring, överhettning som kan leda till omfattande skador som t.ex. tubbrott med kostsamma driftstopp till följd, dålig cirkulation och i värsta fall helt igensatta tuber och ledningar.

Detta har medfört att tidigare använda metoder för vattensidig rengöring i de flesta fall är otillräckliga, t.ex. mekanisk rengöring eller alkaliskurkokning. För att erhålla en tillfredsställande renhet på vatten- och ångberörda ytor erfordras en kemisk rengöring.

Förutom mekanisk rengöring och alkalisk urkokning finns rengöring i form av betning respektive kemisk rengöring.

### **Mekanisk rengöring & Alkalisk urkokning**

Dessa metoder för vattensidig rengöring kan vara lämpliga för pannor med pantrycket under 40 bar.

Resultaten av mekanisk rengöring och alkalisk urkokning blir en ökad renhet i systemet, men en del magnetitskikt blir kvar på metallytan och svårtåtkomliga ställen i systemet rengörs inte. Metoderna kan vara mindre ekonomiskt fördelaktiga och stilleståndstiden i många fall kan inte reduceras avsevärt.

Pannor med högre tryck än 40 bar har betydligt högre krav på renhetsnivå. Därför kan betning och kemisk rengöring vara lämpliga metoder för dessa pannor.

### **Betning**

Betning är en behandling före första idrifttagandet av en panna.

Vid tillverkning och montage tillförs pannor föroreningar såsom glödska, rost, svetslagg, sand, etc. Om dessa föroreningar är kvar i systemet kan beläggningsproblem, erosion och korrosion erhållas i pannor, överhettare, turbin och andra komponenter i systemet.

Omfattningen av betningen varierar beroende på pannans storlek och konstruktionsdata. Överhettare och ångledning brukar rengöras genom ångblåsning. Om ångledningen är svår att blåsa ren då kan den tas med i betningen.

Vid pannor med höga drifttryck betas inte bara pannan utan matarvattensystemet inklusive förvärmare, överhettare samt ångledning.

Betningsprocessen indelas i:

- *Förbehandling* som har till uppgift att avlägsna fett och grövre lösta föroreningar. Det används en svagt alkalisk lösning (typ natriumhydroxid eller trinatriumfosfat) till vilken sätts lämpliga vätskeämnen.
- *Syrabehandling*. Det används olika syror såsom saltsyra, fluorvätesyra och citronsyra. För att förhindra angrepp på stålet tillsätts en inhibitor och processen utförs vid förhöjd temperatur. Temperaturen begränsas av den använda inhibitorns temperaturstabilitet samt av den lokala flödes hastigheten för syrablandningen. Vid för hög flödes hastighet kan inhibitorn lossna från ytorna. Syran som används är saltsyra i form av 5-7%-ig lösning vid ca 60°C. Efter behandling av systemet med saltsyra tillsätts fluorvätesyra som löser kiselföroreningar som t.ex. svetslagg. Syrabehandling avslutas med organisk citronsyra.
- *Neutralisering och spolning*. Efter syrabehandlingen sköljs pannan med vatten och neutraliseras med en svag alkalisk lösning. Processen avslutas med renspolning med vatten.
- *Passivering*. Vid denna behandling erhålls en viss passivering av metallytorna i pannan. Processen utförs med hjälp av ammonierad citronsyra 0,2-0,5 %.
- *Skyddsskiktsbehandling*. Passivering av metallyta har en begränsad varaktighet. Därför behövs en skyddande magnetiskt skikt av samma art som bildas under normal drift. Denna sker genom att pannan tas i drift ca 48 timmar vid en pannvattentemperatur upp till cirka 250°C med ammoniakhaltigt vatten och syrereducerande medel. För att erhålla ett tunnare och tätare magnetiskt skikt på ytorna skall natriumpolyakrylat doseras. Efter ca 48 timmar kan pannan ställas av eller tas i normal drift. Processen skall övervakas kontinuerligt med hjälp av analyser.

## **Kemisk rengöring**

Kemisk rengöring är en rengöring för borttagande av beläggningar som bildas under drift på grund av felaktig vattenbehandling, förhöjd organisk material, ökad korrosions hastighet, koppar eller mässing komponenter i anläggning, etc. Beläggningarna medför en ökad tubtemperatur och om temperaturen blir för hög leder detta till tubbrott.

För att kunna fastställa behovet av kemisk rengöring måste tubprov tas ut och analyseras med avseende på beläggningens tjocklek, utseende, färg, sammansättning, vikt/ytenhet, etc. Det är viktigt att pannägaren har ett program för uttag av tubprover där hänsyn tas till värmebelastning, erfarenhet från tidigare prover och även från andra pannor i systemet. Förutom tubprover fås indikationer av tillståndet på vattensidan även från inspektion av tubbytor på rökpassagen samt vid genomgång av samlingslådor och dom(ar). Rapporter om avvikelser på vattenkvaliteten kan också vara av betydelse.

Med ledning av dessa uppgifter samt panntryck, värmebelastning, etc. kan man bedöma om pannan skall genomgå en kemisk rengöring.

En kemisk rengöring omfattar alltid syrabehandling, neutralisation och spolning. Olika parametrar såsom temperatur av tvättlösning, behandlingstid och koncentration av olika kemikalier kan väljas efter beläggningstjocklek, sammansättning, etc. Därför är det viktigt att tubprov tas och beläggningen analyseras före kemisk rengöring.

Kemisk rengöring omfattar följande steg:

- *Etablering med mekaniska förberedelser.* Framtagning av ritningar, processbeskrivning, panndata med volym, antal tuber, demontering av olika komponenter och montering av fläns, slangar, pumpar, etc. för att uppnå bästa cirkulationsanslutning och rengöring i anläggningens alla komponenter.
- *Samordning med övriga arbeten* såsom tillgång till vatten och varmt vatten (temperatur ca 80°C), spolvattenuttag, elektriska uttag, inkopplad avlopp för tömning, tryckluft och tillgänglig driftpersonal samt kontakt med myndigheter om rengöringen, varuinformationsblad för de kemikalier som används.
- *Fyllning och täthetskontroll.* Fyllning av systemet sker med vatten från varmhållning för täthetskontroll av systemet samt för temperaturjustering. Temperaturen skall vara ca 60°C -65°C under nästa stegperiod.
- *Syrabehandling.* Syrabehandlingen utföres med en inhiberad syralösning bestående av 5 % saltsyra, 0,2 % ammoniumbifluorid, 0,1 % inhibitor och vatten. Denna syralösning cirkuleras i system under en tid av ca 4-6 timmar vid ca 60 °C. Om beläggningen på panntuber består bl.a. av koppar då kan cirkulationstiden förlängas till ca 15-20 timmar, en lång kemisk rengöring. Till syralösning tillsätts inhibitor för att skydda materialet mot angrepp men i praktiken kommer en avfrätning av materialet ske, ca 0,003 mm. Rengöringsprocessen övervakas med analyser såsom syrakoncentration, utlöst järn, inhibitoreffekt, m.m.
- *Tömning och sköljning.* Syralösningen tappas helt varefter systemet sköljes med vatten.
- *Avslutande syrabehandling* utföres med en lösning av citronsyra 0,5 % för att bortskaffa alla spår av rost. Efter syrabehandling skall systemet neutraliseras med ammoniak 0,9 % samt pH justeras till 9-10. Den i systemets befintliga svaga citronsyralösning neutraliseras med ammoniak under tillsats av oxidationsmedel. Temperaturen är ca 30-40 °C. Syrabehandlingen avslutas med passiveringen av anläggningen när oxidationsmedel tillsätts - väteperoxid 0,8 %.
- *Tömnig och sköljning.* Systemet töms på kemikalielösning och sköljs med kallt vatten. Under hela rengöringsprocessen kommer mätningar och analyser att utföras.
- *Inspektion.* En kemisk rengöringsprocess avslutas med en inspektion av systemdelar och eventuellt med ett nytt prov på panntuber för att bekräfta att rengöringsprocessen har uppnått målet .
- *Avfallskemikaliehatering.* Vätske- och slamfasen från processen omhändertas och deponeras på godkänd deponiplats.



Det bedöms att rengöringsprocessen kommer att ta upp till 5 dagar. Om beläggningsen består av förhöjda korrosionsprodukter och kopparhalter kan rengöringsprocessen ta upp till ca 6-7 dagar.

Efter kemisk rengöring förutsätts att systemet är rent och metallytan är utan skydd (magnetitskikt). Därför skall en kontrollerad korrosionsprocess startas i system genom att dosera alkaliseringsmedel (typ ammoniak, lut och fosfat) när magnetit bildas på metallytan. Processen kontrolleras med kontinuerliga analyser och kan ta ca 2-3 dygn. Efter kemisk rengöring och under magnetit bildningsprocess är slamhalten ofta hög i pannvattnet. För att avlägsna slammet måste en kraftig utblåsning av pannvatten göras både kontinuerligt och diskontinuerligt till dess att slamhalten bedöms vara låg.

En kemisk rengöring rekommenderas för att uppnå en renhetsgrad i system men inte för ofta. Genom denna process kommer en avfrätning av materialet ske och som resultat blir en gods förtunning med ca 0,003- 0,005 mm efter varje rengöring. Läckage kan förekomma efter kemisk rengöring.

Vid kemisk rengöring föreligger stora risker både för personskador och skador på objektet. Därför är det viktigt att personal som genomför rengöring har nödvändig kunskap och erfarenhet av processen. Av denna orsak bör man vid kemisk rengöring anlita de firmor som har specialiserat sig på denna hantering. Det är också viktigt att man följer de olika momenten noga. För denna övervakning och även planering kan det vara välbetänkt att anlita en opartisk fackman.