

MATERIALTEKNIK

845

## Robust instrumentering

Anders Wik



# **Robust Instrumentering**

# **Robust Instrumentation**

Anders Wik  
Vattenfall Utveckling AB

M9-829

VÄRMEFORSK Service AB  
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80  
December 2003  
ISSN 0282-3772



## Förord

Rapporten beskriver en systemlösning som kan vara modell för framtidens kemiverksamhet i mindre anläggningar med ingen eller ringa bemanning. Konceptet är inte helt utprovat och behöver mer utvecklingsinsatser för att kunna etableras som standard inom industrin.

Referensgruppen har bestått av:

Jüri Tavast, Alstom Power Sweden

Fredrik Axby, Sycon

Roger Lundberg, Mälarenergi

Christer Knutås, Fortum

Detta projekt har stundom varit en vandring i öknen. Nära nog alla fel som kan uppstå i ett kraftverksprojekt med stort inslag av driftsättning har drabbat Cementslita. Förseningarna i genomförandet av kraftverksprojektet har varit legio och medfört att tidplanen för detta Värmeforsksprojekt obönhörligen skjutits framåt. Att projektet har kunnat slutföras är till stor del personalen på Slita kraftstations förtjänst, ingen nämnd och ingen glömd.

Stockholm april 2003

Anders Wik



**Abstract**

Denna rapport beskriver erfarenheterna av en ny kemiövervakningsmetod på Slite kraftstation. Konzeptets bärande idé är att säkerställa matarvattenkemin med hjälp av enkla processlösningar i form av kemikaliefri vattenrening och robust instrumentering för kemiövervakningen på en ånganläggning. Erfarenheterna visar att konceptet ännu inte är helt moget för att bli en standardlösning inom industrin.





## Sammanfattning

Cementa Slite kraftstation är en elgenereringsanläggning baserad på spillvärme från cementtillverkning med ångdata 30 bar och 420 °C. Anläggningen är den första i sitt slag i Sverige och är en vad som i engelskspråklig litteratur betecknas HRSG (Heat Recovery Steam Generator) utan någon tillsatseldning. Överhuvudtaget finns få liknande anläggningar i världen och drifterfarenheterna är sålunda begränsade.

I samband med elgenereringsprojektet så identifierades ett FoU-uppdrag med syfte att undersöka möjligheterna till en minimerad kemidrift baserad på robust instrumentering och kemikaliefri vattenrening. Detta projekt finansierades av Värmeforsk och ger drifterfarenheterna från ovan nämnda minimerade kemistbemanning.

Projektkonceptet med robust instrumentering består av följande komponenter; val av övervakningsutrustning som kräver minimalt underhåll samt en kemikaliefri vattenreningsutrustning. Instrumenteringen som införts är konduktivitet (specifik och sur), syre och pH. Dessutom lades två nya mätmetoder till; korrosionssonder och differentiell pH-mätning utifrån specifik och sur konduktivitet. Den kemikaliefria vattenreningen består av avhärdning, omvänd osmos och elektroavjonisering i serie.

Drifterfarenheterna visar att anläggningen har stora kemiproblem på grund av svårigheterna att komma till ett steady state. Den ryckiga driften har omöjliggjort att fullt ut verifiera och validera konceptet med robust instrumentering. Till detta kan också läggas problemen med att erhålla trendkurvor, dessa har varit omöjliga att ta fram ända tills januari 2003. Utifrån avläsningar på panelinstrumenten kan dock vissa slutsatser dras, t ex att den differentiella pH-mätningen fungerat tillfredsställande. Även de övriga analysinstrumenten har fungerat bra med undantag vid de tillfällen de har fått oljebeläggningar på grund av inläckage av turbinolja. Korrosionsgivarna verkar fungera men bristen på trendkurvor tillsammans med den ojämna driften av anläggningen gör det svårt att dra några entydiga slutsatser.

Den kemikaliefria vattenreningen har kunnat utvärderas störningsfritt. Den har visat sig fungera bättre än de specifikationer som togs fram vid projekteringen i alla stycken utom vad gäller kiselsyra. Halterna av  $\text{SiO}_2$  har varit högre än de önskade, typiska värden är 50-100 ppb. Orsakerna till detta förmodas vara de höga kolsyrahaltarna som sänker pH till en nivå där CDI-enheten ej klarar av att avskilja kisel ner till 10 ppb.



## Summary

Cementa Slite Power Station, on the island of Gotland, is a heat recovery steam generator (HRSG) with moderate steam data; 3.0 MPa and 420 °C. The heat is recovered from Cementa, a cement industry, without any usage of auxiliary fuel. The Power station commenced operation in 2001. The layout of the plant is unusual, there are no others in Sweden and very few world-wide, so the operational experiences are limited.

In connection with the commissioning of the power plant a R&D project was identified with the objective to minimise the manpower needed for chemistry management of the plant. The lean chemistry management is based on robust instrumentation and chemical-free water treatment plant. This project was funded by Värmeforsk in order to gather experience from the above mentioned minimised chemistry labour.

The concept with robust instrumentation consists of the following components; choice of on-line instrumentation with a minimum of O&M and a chemical-free water treatment. The parameters are specific conductivity, cation conductivity, oxygen and pH. In addition to that, two fairly new on-line instruments were included; corrosion monitors and differential pH calculated from specific and cation conductivity. The chemical-free water treatment plant consists of softening, reverse osmosis and electro-deionisation.

The operational experience shows that the cycle chemistry is not within the guidelines due to major problems with the operation of the power plant. These problems have made it impossible to reach steady state and thereby not viable to fully verify and validate the concept with robust instrumentation. From readings on the panel of the on-line analysers some conclusions may be drawn, e.g. the differential pH measurements have fulfilled the expectations. The other on-line analysers have been working satisfactorily apart from contamination with turbine oil, which has been noticed at least twice. The corrosion monitors seem to be working but the lack of trend curves from the mainframe computer system makes it hard to draw any clear conclusions.

The chemical-free water treatment has met all expectations apart from silica. The silica content is higher than anticipated, typically in the range of 50-100 ppb. The reason for that is expected to be the high amounts of carbon dioxide which lowers the pH to a level where the electro-deionisation unit is not capable of reducing silica down to 10 ppb.



---

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>BAKGRUND</b> .....	<b>1</b>
1.1	SYFTE.....	2
1.2	MÅL .....	2
<b>2</b>	<b>CEMENTA SLITE KRAFTVERK</b> .....	<b>3</b>
2.1	ANLÄGGNINGENS HISTORIA .....	3
2.2	SAMARBETSPROJEKTET CEMENTA SLITE.....	3
<b>3</b>	<b>INSTRUMENTERING KONTINUERLIGA ANALYSATORER</b> .....	<b>5</b>
3.1	ÖVERVÄGANDEN VID PROJEKTERING .....	5
3.2	UPPHANDLING .....	6
<b>4</b>	<b>KOMPONENTER I ROBUST INSTRUMENTERING</b> .....	<b>7</b>
4.1	KORROSIONSMÄTSONDER .....	7
4.2	DIFFERENTIELL PH-MÄTNING .....	8
<b>5</b>	<b>KEMIKALIEFRI VATTENRENING</b> .....	<b>10</b>
5.1	ÖVERVÄGANDEN VID PROJEKTERING .....	10
<b>6</b>	<b>FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR AVSALTNINGSANLÄGGNING</b> .....	<b>11</b>
6.1	DESIGNANALYS .....	11
6.2	GARANTIER .....	11
6.3	UPPHANDLING .....	11
6.4	KVANTITET .....	12
6.5	KVALITET .....	12
<b>7</b>	<b>ÖVRIGA DRIFTERFARENHETER</b> .....	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>20</b>
<b>10</b>	<b>REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING</b> .....	<b>21</b>
<b>11</b>	<b>FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGARBETE</b> .....	<b>22</b>
<b>12</b>	<b>LITTERATURREFERENSER</b> .....	<b>23</b>

## Bilagor

- A ANALYSINSTRUMENT CEMENTA SLITE**
- B KEMIKALIEFRI VATTENRENING**



## 1 Bakgrund

I och med den avreglering som skett på elmarknaden har en översyn av drift och underhåll på våra kraftverk blivit en viktig del i att pressa kostnader [1]. Drivkraften för produktivitetshöjningar inom energibranschen har tidigare varit svag på grund av låg konkurrens i en monopolliknande marknad. Den tidigare låga produktiviteten har ökat i branschen som en följd av detta. Produktiviteten kan ökas genom olika åtgärder t ex rationaliseringar, organisatoriska åtgärder eller införande av ny teknik [2]. Alla dessa åtgärder har genomförts parallellt och branschen har genomgått en konsolidering där ett fåtal stora aktörer dominerar. Stora omorganisationer med minskad personalstyrka som resultat har bidragit till en minskning av kostnaderna.

Ny teknik innebär en möjlighet till att pressa kostnader och samtidigt bibehålla kvaliteten i leveranserna till kund. Som exempel på detta kan vi se förbättrade verkningsgrader till följd av exempelvis rökgaskondensering, gaskombicykler mm. IT-utvecklingen har bidragit till att allt mer av styr- och reglerfunktioner automatiseras i olika anläggningsdelar som traditionellt har manövrerats lokalt och manuellt. Denna trend sker också inom kemiövervakningen på ånganläggningar.

I dagens kraftvärmeverk övervakas kemin till stor del av kontinuerliga instrument kompletterat med manuella analyser. De vanligaste parametrarna som mäts är konduktivitet, syre, pH, kisel och natrium. Dessa analyser kan utföras såväl manuellt som kontinuerligt. Kontinuerliga mätinstrument har den fördelen att de faktiskt mäter kontinuerligt, man får en sann bild av hur processen mår. Det ger alltså en större säkerhet att inga allvarliga avvikelser från riktlinjerna föreligger. Dessutom så möjliggör kontinuerliga mätinstrument rationaliseringsvinster. Nackdelen med kontinuerlig mätning är att utrustningen kräver kalibrering speciellt mätare för syre, pH, natrium och kisel. Erfarenheterna visar att i många fall fungerar inte rutinerna för kalibrering och instrumenten används därför ej. Alternativt litar inte driftpersonalen på dem eftersom ”de alltid visar konstiga värden”.

De mätare som brukar kräva minst underhåll är konduktivetsmätare. Dessa mätare har hög tillförlitlighet och används flitigt inom industrin. Genom att kombinera total och sur konduktivitet kan man beräkna pH i rena vatten. Detta har utnyttjats i Tyskland och Danmark men knappast alls i Sverige [3,4]. De senaste åren har instrument som mjukvarumässigt beräknar pH utifrån total och sur konduktivitet kommersialiserats.

En viktig parameter i våra riktlinjer för matarvattenkemin är halten löst syre i matarvatten. Denna parameter är intressant eftersom den ger indikation om risken för korrosion i de vattenberörda delarna i ånganläggningen. Ett alternativ till att mäta syrgas kan vara att mäta korrosionspotentialen i vattnet. Detta har gjorts på flera ställen i Sverige, t ex har Fortum lång erfarenhet av korrosionssonder i fjärrvärmesystemet i Stockholm [5]. Metoden har dock ej etablerats som standard i kraftvärmeprocesser ännu.

I detta projekt har metoderna att använda en kombination av sur och total konduktivitet i stället för pH-mätare och korrosionssonder i stället för syremätare utvärderats. Det långsiktiga syftet är att etablera en ny standard jämbördig med den som används idag. För att verifiera metoderna krävs uppföljning av pH och syre med konventionella mätare. Detta betyder att vi har installerat utrustning så att vi kan följa upp värden för validering som vi erhåller från den robusta instrumenteringen.

Nära kopplat till den robusta instrumenteringen är den del som behandlar doseringen av alkaliseringsmedel. Många av de automatiserade doseringssystemen som har använts i Sverige har baserat sig på signaler från konventionella pH-mätare. Då dessa ej har varit tillräckligt stabila har doseringssystemen ej fungerat tillfredställande. I detta projekt skall doseringarna i stället styras på den signal som kommer från den kombinerade sura och totala konduktivitetmätningen. I detta ligger också arbetet att finjustera doseringen ur reglerteknisk synvinkel utifrån de stegsvar som erhålls. Även detta arbete skall valideras med kemiska analyser i ångcykeln.

### **1.1 Syfte**

Projektets syfte har varit att verifiera och validera en kemiverksamhet med instrumentering och processutrustning som kräver mindre drift- och underhållsinsatser än dagens state-of-artutrustning. Komponenterna i detta har testats enskilt i olika applikationer men konceptet att testa dessa olika komponenter i ett integrerat system har ej tidigare genomförts.

### **1.2 Mål**

Det långsiktiga målet med projektet är att etablera en systemlösning som kan tillhandahålla tillförlitlig ång- och matarvattenkemi i mindre kraftvärmeverk som ej har kemist anställd. Denna systemlösning, robust instrumentering, kan i så fall etableras som en standard för nya och befintliga anläggningar med mager bemanning. Sådana anläggningar är t ex de nya biobränsleeldade kraftvärmeverken som förmodas till viss del ersätta kärnkraften.

I systemlösningen ingår också den kemikaliefria vattenreningen. Den förväntas ge en lägre drift- och underhållskostnad samt en mer miljöanpassad renvattenproduktion.

På kort sikt är målet att verifiera och validera de valda instrumenten i konceptet och den kemikaliefria vattenreningen och återföra resultaten till industrin.



## 2 Cementa Slite kraftverk

### 2.1 Anläggningens historia

Slite kraftverk utfördes som en kondensanläggning för basproduktion av elektricitet till Gotland av Skandinaviska Elverk på 50- och 60-talet. Bränsle till pannorna var olja och kol. Läget för anläggningen låg strategiskt riktigt med en bra hamn och med den största elkonsumenten, Cementa, som närmaste granne. Efter Vattenfalls övertagande 1978 av Skandinaviska Elverks anläggningar på Gotland beslutade Vattenfall att bygga en ny likströmsöverföring mellan Ygne på Gotland och till fastlandet vid Västervik. När likströmsöverföringen kom i drift 1983 stoppades Slite kraftverk och lades i malpåse. Efter detta år har endast anläggningen använts som reaktiv faskompensering för elnätet på Gotland.



Figur 1. Slite gamla kraftstation.

Figure 1. The old power station in Slite.

### 2.2 Samarbetsprojektet Cementa Slite

Cementa AB är en av Gotlands största arbetsgivare och huvudverksamheten ligger i Slite. Vid tillverkningen av Cementas huvudprodukt cement åtgår mycket energi, såväl el som värme. Cementa AB är Gotlands i särklass största enskilda elförbrukare och kan ta upp till halva Gotlands elkonsumention.

Vattenfall har tillsammans med dotterbolaget Gotlands Energi AB (GEAB) en dominerande ställning vad gäller el- och värmeenergileveranser på Gotland. Vattenfall har sedan länge varit elleverantör till Cementa och tillsammans drivit energi-effektiviseringsprojekt.

1999 konkretiserades planerna på ett gemensamt elgenereringsprojekt. Grundtanken var att leda in de heta gaserna från ugnarna och via en ånggenerator överföra energin till den befintliga kraftstationen. De förstudier som genomfördes visade att ca 20% av Cementas elbehov kan täckas lokalt från spillvärme. Den tekniska lösningen innefattade en

upphandling av två ångpannor och en upprustning av de befintliga anläggningsdelarna på Slite kraftstation. Layoutmässigt ligger ångpannorna ca 700 m från övrig utrustning såsom turbin, kondensor och matarvattentank. Även kontrollutrustningen till projektet placerades i den befintliga kraftstationen där också kontrollrummet är placerat.

Den tekniska lösningen med två pannor för att ta hand om de heta avgaserna från en cementindustri och omvandla den till elektricitet är ovanlig. I den första pannan tas ca 10 MW<sub>v</sub> upp från klinkerkylarna det mesta (ca 90%) i form av varmt vatten och en mindre del (ca 10%) som mättad ånga. Detta leds sedan till den större ångpannan på 20 MW<sub>v</sub> där värmekällan är avgaser från cyklontornet. Från ångpannan erhålls överhettad ånga 380 °C, 35 bars tryck som leds till den befintliga turbinen i Slite kraftstation. Beräkningsmässigt skall nästan 8 MW erhållas som elektrisk effekt från generatorn [6].

I den befintliga kraftstationen gjordes en statusbedömning för att se vilka anläggningsdelar som måste renoveras eller bytas ut. Denna bedömning gav vid handen att bland annat kontrollutrustningen och avsaltningsanläggningen måste bytas ut. Turbin, kondensor, matarvattensystem och flera av hjälpsystemen bedömdes vara i en sådan kondition att en upprustning var tillräcklig. Ett skepp i kondensorn som bedömdes vara i sämre skick har pluggats, detta har dock ingen inverkan på funktionen då turbinen är utlagd för betydligt högre belastning än vad den nu körs vid.

### 3 Instrumentering kontinuerliga analysatorer

#### 3.1 Överväganden vid projektering

Vid projekteringen av den kemiska analysutrustningen fastslogs att så mycket som möjligt av analysutrustningen skulle placeras centralt i stationen. Ångpannornas placering 700 m från kraftstationen innebar dock att deras instrumentering sker lokalt. Endast ångpannan där överhettning sker har kontinuerliga kemianalysatorer installerade. Vid förstudien beslöts också att nya provtagningskylare måste handlas upp. Provtagningskylarna i kraftstationen placerades centralt och kyls indirekt av havsvatten via en mellankylkrets. Samtliga nyinstallationer märktes enligt KKS-systemet.

I konceptet med robust instrumentering ingår användandet av kontinuerliga mätinstrument. Dessa skall i sin tur vara så underhållsfria som möjligt.

Av det skälet valdes följande parametrar:

- Total konduktivitet
- Sur konduktivitet
- Syre
- pH

Till detta kommer manuella analyser såsom milliporefiltrering, fosfat, olja i vatten, hårdhet och kiselsyra. Vissa av dessa analyser skickas iväg till externt laboratorium för analys.

Anläggningar med instrumentering enligt ovanstående är inte ovanliga, tvärtom är detta att betrakta som en basinstrumentering i moderna ånganläggningar. Tanken med projektet är att få en uppföljning av ovanstående parametrar som är tillräcklig och som leverantörer och köpare skall kunna enas om för att säkerställa en tillräckligt god matarvattenkemi även på anläggningar med låga ångdata.

Kraven på matarvattnet från pannleverantören Kvaerner var följande:

pH	9,2-9,6
Hårdhet	<0,003 °dH
Syre	<0,02 mg/kg
Järn total	<0,02 mg/kg
Koppar	<0,003 mg/kg
Konduktivitet	<0,2 mS/m
Kiselsyra	<0,02 mg/kg
Na + K	<0,01 mg/kg

Av dessa parametrar så mäts endast pH, konduktivitet och syre kontinuerligt.

### 3.2 Upphandling

Offerter kom in från tre stycken leverantörer. Samtliga kunde leverera det vi önskade med undantag av den differentiella pH-mätningen som SWAN Instruments via sin svenska generalagent UVEDES var ensam om att ha i sortimentet. Efter förhandlingar så upphandlades instrumenteringen från UVEDES. Instrumenten levererades styckvis och Vattenfall såg till att de rackmonterades i det tidigare kontrollrummet. Instrumenten kopplades via tvåtråd in till det övergripande kontrollsystemet, ABB Advant. Placeringen av instrument i ånganläggningen ges i bilaga A.1.

I samband med upphandlingen av instrument inköptes också nya provtagningskylare till matarvatten och ånga. Dessa placerades på våningsplanet under analysinstrumenten.



*Figur 2. Analysinstrument panelmonterade*

*Figure 2. On-line monitoring equipment*

## 4 Komponenter i Robust Instrumentering

De två mätmetoder som utgjorde ett nytt inslag robust instrumentering var differentiell pH-mätning med sur och specifik konduktivitet och korrosionsmätsonder.

### 4.1 Korrosionsmätsonder

Korrosionsmätsonder har använts en längre tid, framför allt på fjärrvärmesidan men även i ångcykeln. Testerna på matarvatten startade i pappersindustrin på 90-talet och ett flertal anläggningar runt om i Sverige, såväl inom industrin som energibranschen, använder idag dessa sonder. Metoden bygger i korthet på att mäta strömmen i det galvaniska element som bildas vid korrosion. Erfarenhetsmässigt kommer denna korrosionsström att göra ett språng vid syrehalter någonstans mellan 5 och 10 ppb syre i vattnet [7]. Andra faktorer spelar dock också på hur stor strömmen blir, t ex salthalt och eventuella andra oxiderbara species i vattnet. Ritning på en korrosionsmätsond finns i bilaga A.3

I konceptet med robust instrumentering så är tanken att korrosionsmätsonden skall hanteras som en digital signal, antingen har man korrosion eller så inte. Eftersom korrosionssonden är betydligt billigare än konventionell syremätare och dessutom inte kräver något underhåll kan man i många anläggningar overse med att sväva i okunnighet om den exakta syrehalten. Det indirekta svar som erhålls från korrosionssonden räcker som information och ger upphov till lämpliga åtgärder.

Korrosionsmätsonder är inte allmänt accepterat som ett fullgott alternativ till syremätning och kommer nog inte att bli det i större kraftverk eller industrianläggningar med höga ångdata. I sådana anläggningar kommer alltjämt syremätare att krävas. Anledningen till detta är att kraven blir högre på att särskilja vad eventuell korrosion beror av för att korrigera avvikelser från normaldrift. Som komplement till syremätare kan korrosionsmätsonder vara ett bra hjälpmedel för övervakningen av ång- och matarvattenkemin. Det finns däremot en rad mindre ång- och värmeanläggningar där korrosionsmätsonder kan vara ett intressant alternativ.

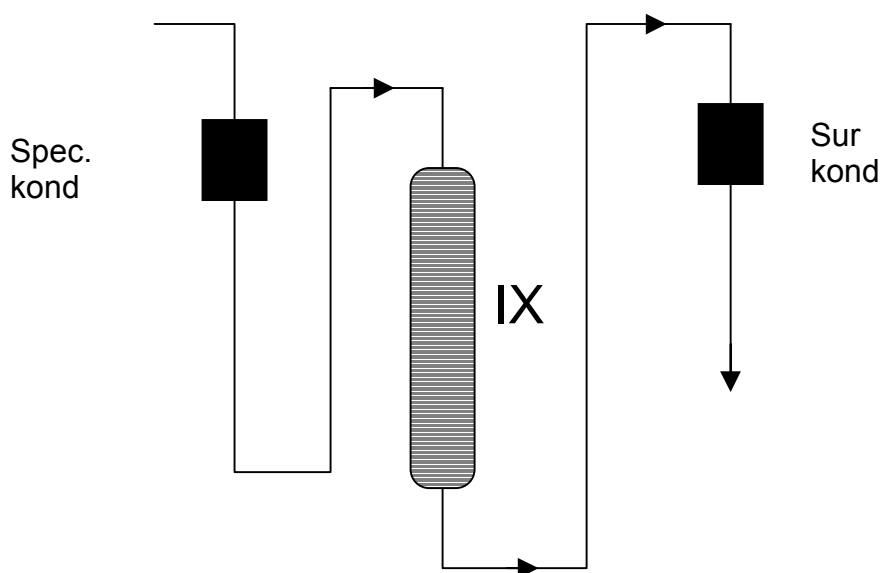
Drifterfarenheterna av korrosionsmätningarna i Cementa Slite visar att de ger utslag när syrehalterna är höga. På grund av de dåliga driftbetingelserna och att trendkurvor ej kunnat erhållas är det svårt, för att inte säga omöjligt, verifiera och validera korrosionsmätsonderna mot syrehalt. Andra anläggningar som testat detta visar dock entydiga samband, t ex i Igelstaverket [8]. Se bilaga A.4.

## 4.2 Differentiell pH-mätning

Den differentiella pH-mätningen bygger på principen att mäta först specifik konduktivitet och sedan sur konduktivitet. Se figur 3. I rena vatten representerar då skillnaden mellan specifik och sur konduktivitet alkaliseringsmedlets bidrag, i Cementas fall ammoniak. Se ekvation 1.



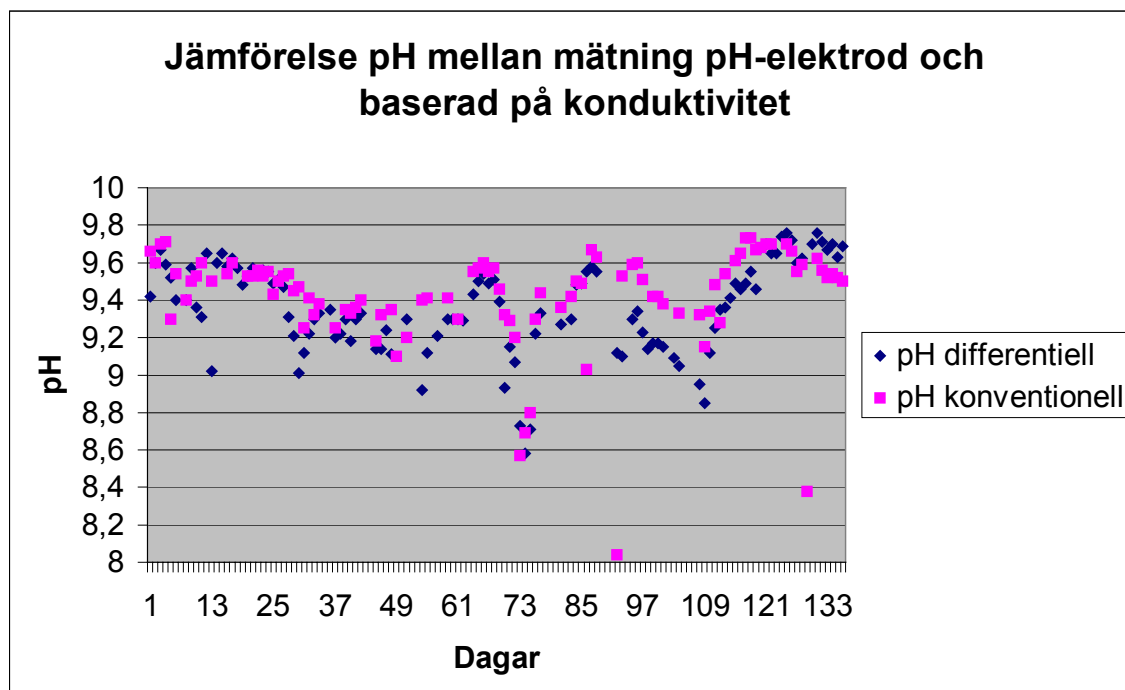
Detta kan översättas till en halt ammoniak som i sin tur motsvarar ett visst pH-värde. Denna mätmetod har använts under många år genom att man manuellt går in i diagram och avläser värden på specifik och sur konduktivitet och få fram aktuellt pH. SWAN har byggt in dessa beräkningar mjukvarumässigt så att instrumentet direkt visar pH, vilket underlättar för driftpersonalen. SWAN har också validerat sin teknik i bl a i ett schweiziskt kärnkraftverk [9].



Figur 3. Principen för differentiell pH-mätning

Figure 3. Principle of differential pH monitoring

Under projektets gång har funnits farhågor om att mätningarna kommer att störas i stor omfattning av den ryckiga drift som varit. Förvånansvärt nog så har instrumentet visat sig vara just vad vi önskat, nämligen robust och stabilt i sin funktion. Se figur 4. En jämförelse mellan en konventionell pH-mätare med elektrod och den differentiella visar relativt god överensstämmelse trots att det är tveksamt hur väl kalibrering av pH-elektroden utförts. Ytterligare en felkälla är att dessa värden är manuellt avlästa på panelinstrumenten och sedan nedskrivna i loggbok eftersom inga trendkurvor fungerat under perioden. Referens 9 visar dock betydligt bättre överensstämmelse då det försöket kördes under kontrollerade betingelser.



Figur 4. Jämförelse mellan pH med konventionell pH-elektrod och differentiell pH-mätning

Figure 4. Comparison of traditional pH-measurement and differential pH device

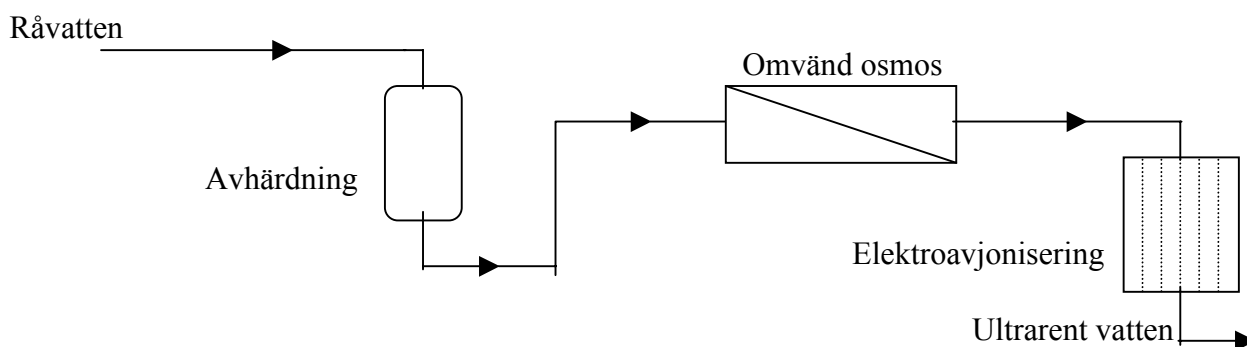
## 5 Kemikaliefri vattenrening

### 5.1 Överväganden vid projektering

Vattenfall beslöt att endast begära in offerter på en avsaltningsanläggning av kemikaliefri typ enligt figur 5. Valet att installera en kemikaliefri vattenrening baserades främst på att inget lämpligt utrymme fanns tillgängligt för att installera en konventionell jonbytaranläggning, framför allt med avseende på syra och lut [10]. I övervägandet togs också stor hänsyn till arbetsmiljön. Till detta skall också läggas att saltsyra och natriumhydroxid klassas som farligt gods och kan bara transporteras till Gotland en dag i veckan med färja.

Det alternativ som den kemikaliefria vattenreningen jämfördes med var en anläggning baserad på avhärdning, omvänd osmos och polerande blandbäddfilter (nymassefilter). Denna typ av anläggning har blivit nära nog standard på mindre värmeanläggningar i Sverige. Inköpspriset för en sådan anläggning är lägre än alternativet med elektroavjonisering, (härefter benämnd CDI efter leverantörens beteckning) dock är driftkostnaderna högre. Vattenfall gjorde en förenklad LCC-bedömning och fann att återbetalningstiden för en CDI-installation låg inom 2-3 år. Erfarenheter från driften med den köpta kemikaliefria vattenreningen visar snarare på återbetalningstider under 2 år.

Slutligen fanns också ett intresse från Vattenfall att testa en ny teknik som bedömdes som ett miljömässigt starkare alternativ än de idag vanligen använda teknikerna.



Figur 5. Syra- och lutfritt system för avsaltning av vatten.

Figure 5. A chemical free water treatment plant for deionisation.



## 6 Förutsättningar för avsaltningsanläggning

Inkommande vatten är ett infiltrerat ytvatten som till sin karaktär är som ett grundvatten med låga halter av organisk substans. Eftersom berggrunden är mestadels kalksten har vattnet höga halter av hårdhet (Ca + Mg) och bikarbonat.

### 6.1 Designanalys

Hårdhet	13°dH
pH	7,7
Konduktivitet	52 mS/m
COD Mn	2 mg/kg
Na	22 mg/kg
K	3 mg/kg
Alkalitet	270 mg HCO <sub>3</sub> /kg
Klorid	10 mg/kg
Sulfat	24 mg/kg
SiO <sub>2</sub>	6 mg/kg
Järn	<0,01 mg/kg
Aluminium	<0,01 mg/kg

### 6.2 Garantier

Na	< 10 ppb
SiO <sub>2</sub>	< 10 ppb
Konduktivitet	< 0,02 mS/m (0,2 µS/cm) vid 25 °C

RO-membranens livslängd 3 år.

Elektroavjoniseringsenhetens membran och elektroder 3 år.

### 6.3 Upphandling

Offerter kom in från tre stycken leverantörer. De tekniska lösningarna som presenterades bedömdes som relativt likvärdiga. Efter förhandlingar så upphandlades anläggningen från USF Vivendi. Leverantören var inte helt säker på att anläggningen skulle klara konduktiviteten i alla driftlägen med endast CDI som slutsteg och kompletterade därför leveransen med ett blandbäddfilter som installerades efter renvattentanken.

Erfarenheterna av den upphandlade anläggningen har visat att anläggningen klarat av garantivärden som angivits av USF Vivendi. Vattenkvaliteten efter CDI-enheten har dock inte klarat av de garantikrav som ställdes. Kontraktsmässigt finns dock inget att anmärka då USF Vivendi levererat ett blandbäddfilter som polerande filter efter dejonattanken. Rent tekniskt kan dock frågan lösas med att antingen installera en

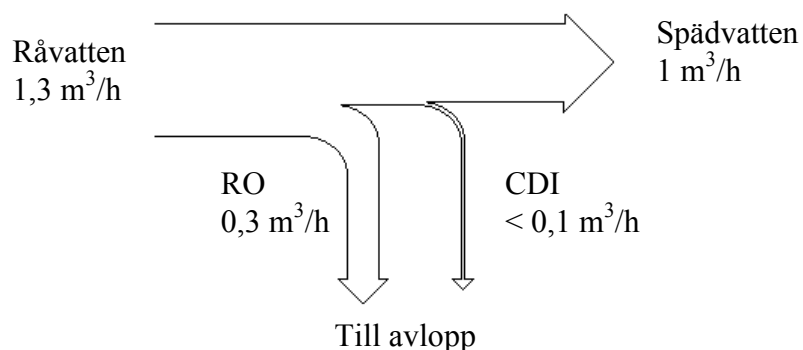
kolsyreavdrivare efter RO-enheten eller med att dosera in lut för att höja pH-värdet och därmed driva kolsyrajämvikten mot bikarbonat/karbonat och på så vis öka avskiljningen av kolsyra [11].

Anläggningen har under de år som den varit i drift visat en hög tillgänglighet. Sedan starten 2001 har anläggningen producerat mer än 10 000 m<sup>3</sup> dejonat. Inga oplanerade stopp som medfört några driftstörningar har rapporterats. En ökning av saltmängden vid regenerering har vidtagits för att säkerställa att ingen hårdhet läcker igenom.

Ungefärliga driftkostnader för 2002 i form av kemikalier och service för vattenreningsutrustningen är 20 000 SEK. Driftinsatserna har varit begränsade till saltberedning för avhärdning samt tvättning av membran inom serviceavtal. Inga underhållsåtgärder har vidtagits under 2002 [12].

## 6.4 Kvantitet

Anläggningen levererar den garanterade mängden vatten, 1 m<sup>3</sup>/h. Denna mängd har också levererats vid inkommande vattentemperaturer under 7 °C som är designtemperaturen. Massflödet genom avsaltningsanläggningen visas i figur 2.



Figur 6. Massbalans vatten över avsaltningsanläggningen

Figure 6. Mass balance water in demineraliser

## 6.5 Kvalitet

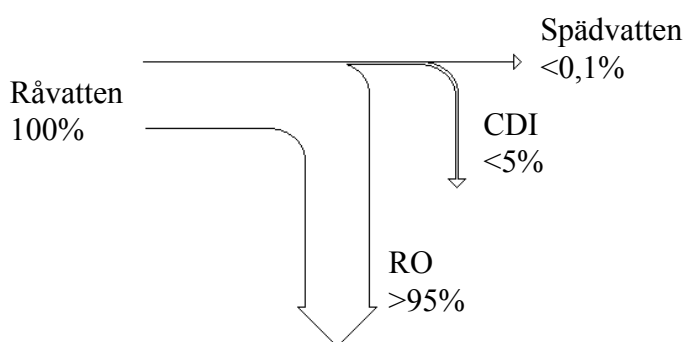
Garantivärden för avsaltningsanläggningen uppnås endast efter det polerande blandbäddfiltret. Av särskilt intresse för branschen är hur pass bra vattenkvalitet som kan erhållas efter CDI-enheten [13].

### 6.5.1 Natrium

En nyckelparameter vid utvärdering av avsaltningsanläggningar är natrium. Natrium i sig är inte en så skadlig parameter men är en bra indikator på hur bra avsaltningsgraden

är. Vanligtvis är natrium den vanligaste envärda katjonen. Detta ger en bra möjlighet att utvärdera såväl jonbytar- som RO-anläggningar.

För den kemikaliefria vattenreningen på Cementa Slite har avskiljningsgraden av natrium klarat standardkravet på 10 ppb. I figur 3 ges en materialbalans över hur natrium transporteras genom anläggningen. I diagrammet kan man se att natrium huvudsakligen tas bort i RO-anläggningen. Resterande natrium tas bort i CDI-enheten. Totalt tas alltså >99,9% av natriumet bort i avsaltningsanläggningen. Inom parentes kan påpekas att efter avhärdningen så är natriumhalten högre än 100% eftersom övriga katjoner, framför allt kalcium och magnesium, byts ut mot natrium.



Figur 7. Massbalans Natrium

Figure 7. Mass balance Sodium

### 6.5.2 Kisel och konduktivitet

För kisel är bilden mer komplicerad jämfört med natrium. Till skillnad mot natrium kan kisel föreligga både som jon,  $\text{HSiO}_3^-$  och som molekyl,  $\text{SiO}_2$  i rena vatten. Som jon tas den upp i anjonbytare i konventionella avsaltningsanläggningar. I en RO-anläggning kommer avskiljningsgraden att styras av vilket pH inkommande vatten till RO-anläggningen håller. Se tabell 1.

Tabell 1. Syra-basjämvikter för kolsyra och kiselsyra.

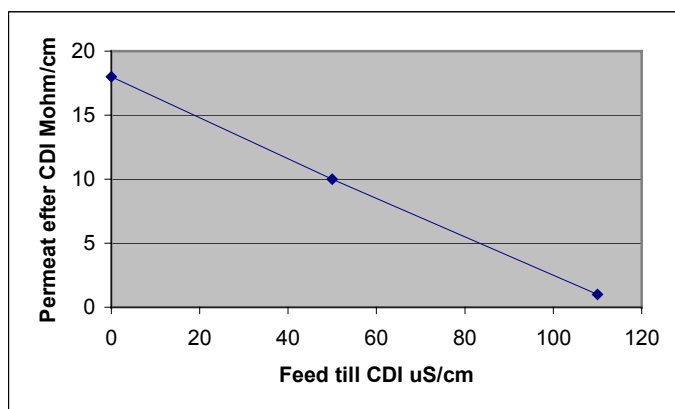
- 1)  $\text{H}_2\text{SiO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2$
- 2)  $\text{H}_2\text{SiO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSiO}_3^-$   $\text{pK}_a = 9,5$
- 3)  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- 4)  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$   $\text{pK}_a = 6,4$
- 5)  $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$   $\text{pK}_a = 10,3$

pH-värdet i permeatet efter RO kommer att till största delen styras av kolsyrjämvikterna. Då avskiljningsgraden för löst koldioxid över RO-membranen är betydligt sämre än för bikarbonat- och karbonatjonerna kommer pH att vara lägre efter RO-membranen jämfört med det inkommande vattnet till RO-enheten. På samma sätt kommer kisel syra i form av  $\text{SiO}_2$  att lättare komma genom membranerna än den jonogena  $\text{HSiO}_3^-$ -jonen.

Det pH som erhålls efter RO kommer sedan att sätta gränser för hur stor avskiljning av kisel syra som är möjlig i CDI-enheten. Beräkningsprogrammet från Filmtec [14] gör antagandet att ingen  $\text{CO}_2$  avskiljs i RO utan halten av kolsyra är lika stor i alla vattenströmmar. Utifrån stegvisa beräkningar i Filmtecs program kan sedan de förväntade konduktiviteter efter RO och CDI prognostiseras.

För att undersöka utgående konduktivitet efter RO som funktion av varierande pH-värde så utfördes en känslighetsanalys. Råvattenanalysen enligt 6.1 (sidan 11) användes där alla värden var konstanta utom pH. I princip så är halterna av natrium, klorider och sulfater efter RO konstanta när pH varierar medan däremot halten kolsyra ökar när pH sjunker. Detta är helt enligt jämvikterna för kolsyra i tabell 1. Denna ökande halt av kolsyra medför givetvis ökande konduktivitet men även att betingelserna för att ta bort kisel försämrats.

Konduktiviteten efter RO fungerar då som inkommande värde (feed) till CDI-enheten. Resistiviteten, den inversa konduktiviteten, i permeatet efter CDI-enheten är linjärt mot inkommande vattens konduktivitet. Se figur 8.

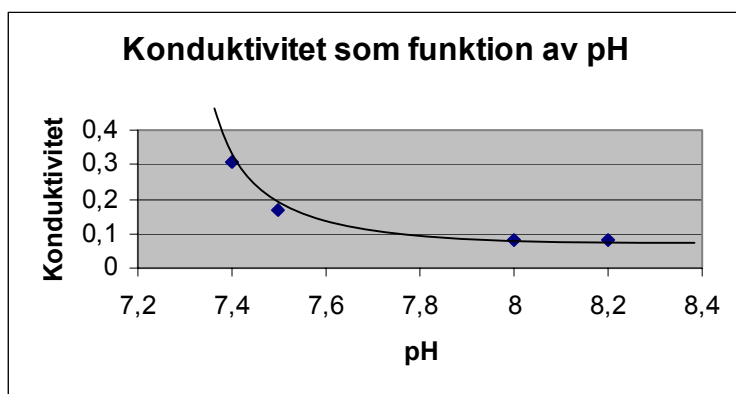


Figur 8. Samband mellan konduktiviteten i inkommande vatten och permeatets resistivitet

Figure 8. Relationship between conductivity in feed and resistivity in permeate

Sammantaget innebär detta att konduktiviteten på utgående vatten efter CDI kan beräknas utifrån en råvattenanalys. Känslighetsanalysen med varierande pH används för att se vilka förväntade värden på konduktivitet som erhålls vid varierande vattenkvalitet. Beräkningsprogrammet ger dock inte svar på vilka kiselhalter som förväntas.

Den osäkerhet som finns i pH-mätningarna på inkommande vatten gör det vanskligt att säga vilken vattenkvalitet som kan uppnås efter CDI-enheten. Se figur 9. Vid  $\text{pH} > 7,7$  ligger utgående konduktivitet under garantivärdet  $0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Då det finns en stor osäkerhet om vilket pH-värde som råvattnet kommer att hålla under en längre valde leverantören att installera ett blandbäddfilter efter spädvattentanken och därmed säkerställs en utmärkt spädvattenkvalitet i alla driftlägen.



Figur 9. Beräknad konduktivitet efter CDI som funktion av pH i råvattnet

Figure 9. Calculated conductivity after CDI as a function of pH in the raw water

Drifterfarenheterna från Cementa Slite ger visar på en konduktivitet på  $0,5-1,2 \mu\text{S}/\text{cm}$  och en kiselhalt på  $50-100 \text{ ppb}$  där avskiljningen över CDI är ca  $50\%$ . För att lyckas med att eliminera kisel fullständigt krävs ett högre pH än vad som kombinationen RO och CDI ger. Ett konventionellt blandbäddfilter ger en bättre avskiljning av kolsyra än CDI i detta fall. Mer information om elektroavjonisering återfinns i bilaga B2

De jämvikter som sker i jonbytarkornen inuti CDI-enheten är svåra att simulera men troligen är vattensplittingen ej tillräckligt omfattande till att omhänderta kiselnsyra. En mer genomgående studie av detta kommer troligen att genomföras på Ringhals.

## 7 Övriga drifterfarenheter

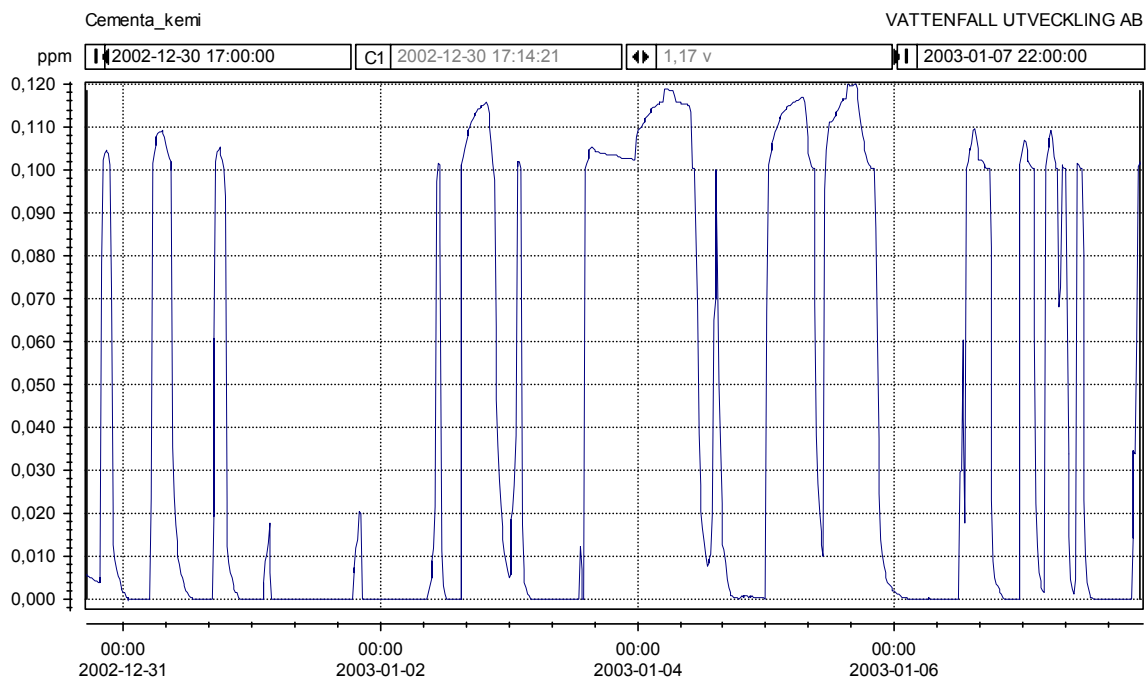
Tidplanen för driftsättning av återupprustningsprojektet blev kraftigt försenad. Orsakerna till detta var flera, allt ifrån sena leveranser till störningar i Cementas drift. När väl driftsättningen startade vidtog nya problem, även dessa av olika karaktär. Den enskilt viktigaste orsaken till störningar i driftsättningen var de stora problem att få en kontinuerlig värmeförsel från Cementa. Eftersom inget reservbränsle finns är ångproduktionen helt beroende på att heta avgaser från Cementa kommer till pannorna. Cementas ojämna drift medförde att utprovningen av system drog ut på tiden.

Några av de större problemen i leveransen förtjänar att nämnas, framför allt den utlovade effekten från pannorna och styrsystemet. Den beräknade panneffekten var 30 MW<sub>v</sub> medan det i den drift som varit inte överskridit 22-23 MW<sub>v</sub>. Detta har medfört att den förväntade eleffekten på 8 MW<sub>e</sub> vanligen pendlar kring 4-6 MW<sub>e</sub>. Detta är ett garantiärende mellan Vattenfall och Kvaerner som förhoppningsvis kommer att lösas under 2003. När det gäller problemen med styrsystemet har dessa visat sig framför allt i det att inga trendkurvor är möjliga att ta fram. Styrsystemet, levererat av ABB, är ett Advant-system på NT-plattform. Lösningen på detta problem har blivit installation av ytterligare en station som sköter trendkurvshantering.

Anläggningen i Cementa Slite har upplevt svåra driftförhållanden sedan första provdriften 2001. Detta gäller i allra högsta grad också de matarvattenkemiska erfarenheterna. Problemen som uppstått har i stor grad berott på den ryckiga drift som anläggningen uppvisat under hela tiden.

Anläggningen är helt beroende av att heta rökgaser från klinkerkylare och cyklontorn, dvs att Cementas produktion är igång. Detta innebär att elgenereringsanläggningen trippar varje gång som Cementas produktion faller ut vilket kan ske flera gånger per dygn. Ännu tre år efter första infasning så har anläggningen inte varit i fortfarig drift en hel vecka.

I sammanhanget så skiljer vi mellan varmstarter och kallstarter. En varmstart efter en tripp innebär att ångsystemet håller nöjaktigt uppe tryck och temperatur så att anläggningen snabbt kan komma igång när Cementa återupptar produktionen. En varmstart kan ske inom 4-5 timmar efter en tripp. En kallstart sker när ånganläggningen ej klarar att hålla uppe trycket och all ångproduktion till matarvattentanken upphör. När detta sker så kommer temperaturen i matarvattentanken att sjunka under 100 °C och syre läcker in. Figur 10 visar syrehalten i matarvattentanken under en vecka. De många syreinläckagen ger alltså bilden av hur ofta kallstarter sker i Cementa Slite. Ur kemisympunkt är detta mycket olyckligt då de frekventa syreinläckagen ger upphov till korrosion i matarvatten- och pannsystemen. Vid revisionsavställningar under 2002 och 2003 har begynnande korrosionsangrepp iakttagits i pannorna till följd av syreinläckage. Se figur 11.



Figur 10. Syremätningar i matarvatten under en vecka

Figure 10. Oxygen content in Feedwater under one week



Figur 11. Slam och olja i fördelningslådan i economizerpannan

Figure 11. Sludge and oil in economizer/boiler

Ytterligare några kemirelaterade problem förtjänas att påpeka. Anläggningen har haft en tubläcka i en av pannorna, vid undersökningar så fastslogs dock detta bero på tillverkningsfel. En tubläcka har också erhållits i kondensorn. Denna gav upphov till mycket höga halter hårdhet i pannvattnet, 32 °dH, men inga skador har kunnat upptäckas vid inspektion i pannorna efter denna incident. En leverantörsmiss gav ett oväntat problem, i stället för att leverera en blandning av dinatrium- och trinatriumfosfat levererades fosforsyra. Detta hade till följd att när driftpersonalen försökte höja pH i pannvattnet med mer fosfat så sjönk pH i stället. Under denna fadäs sjönk pH under kort tid ner till pH 8.

Det mest långlivade och ur kemisympunkt mycket irriterande felet gäller inläckage av turbinolja in till matarvattencykeln. Detta är ett problem som kommit och gått under driftperioden. Två gånger har Alstom sagt sig ha åtgärdat problemet men oljan har återkommit. Vid den senaste revisionen gjordes ett större ingrepp och förhoppningsvis skall problemet nog försvinna även om det kan ta lite tid innan all olja försvinner då det var en avsevärd mängd, se figur 11.



## 8 Diskussion

Upprustningsprojektet Cementa Slite har drabbats av exceptionellt många motgångar. Än idag har anläggningen inte kunnat köras i en hel vecka utan driftstopp. Av detta skäl kan ej anläggningen ses som en typisk anläggning som är lämpad för konceptet med robust instrumentering. Kemiparametrarna hinner aldrig svänga in till ett steady-state innan anläggningen löser ut.

En överoptimism när det gäller förmågan att klara av en automatiserad kemiövervakning har kanske infunnit sig i projektet. Denna har inte alls infriats. I en så besvärlig driftsituation som anläggningen befunnits i krävs ett stort mått av handpåläggning. Med den magra bemanningen på kraftstationen har ej personalen kunnat hantera matarvattenkemin. Personalen har gått en grundläggande kurs i matarvattenkemi samt fått utbildning på instrument och vattenrening. Någon mer djupgående kunskap i form av drifterfarenheter om hur anläggningen beter sig vid normal drift har ej kunnat erhållas. Ett sätt att hantera bristen på kemister är att utse en kemiansvarig i driftpersonalen. Den kemiansvarige får lite mer utbildning i matarvattenkemi än övriga samt har att tillse att kemisystemen fungerar.

Konceptet med robust instrumentering har inte kunnat utvärderas fullt ut i detta projekt. Den viktigaste anledningen till detta står att finna i den synnerligen besvärliga driftsituation som anläggningen befunnit sig i sedan driftsättningen för snart två år sedan. Inte någon gång har anläggning varit i drift så länge så att fortfarighet infunnit sig. Därmed har också ett av de viktigaste målen med detta Värmeforskprojekt ej kunnat uppfyllas, nämligen det med att utvärdera erfarenheterna med robust instrumentering. Utvärderingen av differentiell pH-mätning kan kvalitetsmässigt sägas vara genomförd. Det kommersiella instrument som användes har visat en stabilitet trots de besvärliga driftförhållanden som rått. Den grundläggande tanken med att mer lita på konduktivitet som nyckelparameter kan ej sägas visats fullt ut i Cementa Slite.

Den kemikaliefria vattenreningen har visat sig fungera utmärkt. Problemet med den dåliga kiselavskiljningen vid höga CO<sub>2</sub>-halter var knappast allmänt känt vid upphandlingen av vattenreningsanläggningen. Under hand så har detta rapporterats från flera anläggningar internationellt. Den lösning som leverantören föreslog var installation av kolsyreavdrivare efter RO alternativt lutdosering för att höja pH. De senaste åren har det blivit alltmer vanligt att installera kontaktmembran (typ Liqui-Cel) för att eliminera kolsyran och därmed få en bättre avskiljningsgrad av kisel. Med dessa åtgärder så sjunker konduktiviteten till nivåer under 0,01 mS/m (0,1 µS/cm) vilket nära nog är ett standardkrav vid upphandlingar av avsaltningsanläggningar.

Det ursprungliga målet att styra doseringskemikalier efter värden från de kontinuerliga mätinstrumenten har ej kunnat provas då driftförhållanden varit allt för besvärliga.

## 9 Slutsatser

Det fullständiga konceptet med robust instrumentering, kemikaliefri vattenrening och mager bemanning har inte kunnat testas fullt ut på grund av de stora driftproblem som elgenereringsprojektet erfarit. Det finns dock många slutsatser som kan dras från detta Värmeforskprojekt. Den viktigaste är att denna typ av verifierings- och valideringsprojekt helst bör göras i anläggningar som varit i drift ett tag så att projekt- och driftpersonal har rätt fokus. Som det nu har varit i Cementa har så många andra uppgifter pockat på uppmärksamhet.

Den nivå som valts för instrumenteringen till anläggningen är riktig. Med den omfattningen så kan en säkerställd drift erhållas. De goda drifterfarenheterna från den differentiella pH-mätningen visar att detta instrument är ett fullgott alternativ ifall en väl definierad alkaliseringskemikalie (ammoniak, morfolin etc) väljs. Om blandningar av alkaliseringsmedel används kan den differentiella pH-mätaren ej användas. Det skall dock påpekas att de ej kan användas i pannvatten ännu så länge då det finns alltför många andra salter som stör analysen.

De begränsade data som erhållits från korrosionsmätsonderna gör det omöjligt att med säkerhet kunna säga att de är ett fullgott alternativ till syremätare. Det finns dock indikationer från andra tester att detta borde gå bra i anläggningar med moderata ångdata.

Den kemikaliefria avsaltninganläggningen som levererades till Cementa Slite har visat sig vara en driftsäker anläggning. Drift- och underhållskostnader har visat sig vara låga i jämförelse med de alternativ som utvärderades i samband med projekteringen.

Vattenkvaliteten efter CDI klarar natriumkravet på <10 ppb men däremot inte kiselsyra <10 ppb. Typiska kiselhalter har varit 50-100 ppb. Konduktiviteten har varit över 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  efter CDI i många driftfall utan att natriumhalten överstigit 10 ppb. Då leveransen också innefattade ett polerande blandbäddfilter klarades de garantier på kisel och konduktivitet som utlovades av leverantören.

Då ånganläggningen ej har så höga krav kan den kvalitet som erhålls efter CDI-enheten vara tillräcklig även med avseende på kiselsyra. I de fall matarvatten används för ångtemperaturreglering måste kiselhalten ner. Detta kan åstadkommas genom dosering av lut eller med installation av en kolsyreavgasare eller med ett polerande blandbäddfilter. För anläggningen i Cementa Slite finns ett polerande blandbäddfilter och ytterligare åtgärder planeras ej.

Slutligen kan väl konstateras att en kemiverksamhet helt utan kemister är svår att uppnå. I fallet Cementa så sparade Vattenfall in för mycket på genomföranderesurser i samband med driftsättning. Resultatet blev att vattenkemin aldrig prioriterades då driftpersonalen haft fullt upp med mer akuta frågeställningar. En väl genomtänkt utbildning i grundläggande matarvattenkemi behövs och en fördel är också om en eller två personer tar särskilt ansvar för kemin och ges möjlighet att få en djupare kunskap i kemi.

## 10 Rekommendationer och användning

Projektets resultat ger att den bärande tanken med robust instrumentering är sund för anläggningar med moderata ångdata som inte har kemister på plats. De praktiska problem som uppstått i detta specifika driftsättningsprojekt motsäger inte på något vis detta. I en mer konventionell anläggning så försvinner en stor del av de stötestenar som detta Värmeforskprojekt drabbats av. Jag ser dock inte att de problemen motiverar någon mer forskningsinsats, däremot behövs ett anläggningsanpassat utvecklingsarbete vid implementering av konceptet.

Alternativet till robust instrumentering är i dagsläget ofta ingen övervakning alls eller att manuella prov tas ut och skickas för analys. Dessa analyser görs kanske en gång per skift, en gång per dag eller en gång i veckan och ger endast en ögonblicksbild av anläggningen. Robust instrumentering erbjuder då en billigare lösning än konventionell on-lineinstrumentering. Dessutom så krävs mindre drift- och underhållsinsatser vilket inte är oväsentligt i dagens slimmade organisationer.

Den kemikaliefria anläggningen har definitivt kommit för att stanna. Flera kraft- och värmeanläggningar är på gång att införskaffa en sådan. Sveriges första riktigt storskaliga anläggning  $2 \times 30 \text{ m}^3/\text{h}$  kommer att installeras i Värtan under hösten 2003. De miljöfördelar som den kemikaliefria vattenreningsanläggningen erbjuder gör att den kommer att bli ett slagkraftigt alternativ trots den högre investeringskostnaden.

## **11 Förslag till fortsatt forskningsarbete**

Produktivitetshöjande åtgärder inom kraftindustrin kommer att vara intressanta även i fortsättningen. Företagen kommer ständigt att söka nya vägar att klara av balansgången mellan rationaliseringar och bibehållande av kvalitet. Ett led i detta när det gäller kemiverksamheten är att gå över allt mer till kontinuerliga mätinstrument. För att säkerställa dess funktion måste en högre grad av ”intelligens” inkorporeras i analysinstrumenten. Önskvärt är också fler enkla och robusta in-situ mätmetoder som klarar att mäta direkt i pannvatten, ånga etc.

Den tekniska utvecklingen när det gäller hårdvaran, analysinstrumenten, kan endast till en mindre del genomföras inom Värmeforsks verksamhet. Inriktningen bör därför ligga inom verifiering och validering av mätsignaler samt stödfunktioner till driftoperatörer. Detta kan innefatta sådant som ”self-check” av analysatorer, statistisk behandling av mätdata, expertsystem och liknande hjälpmedel.

---

## 12 Litteraturreferenser

- [1] Wik A; ”Kraftverkskemi i Sverige under 25 år” Matarvattensektionen, Stockholm. November 2000.
- [2] Ny Teknik; ”Svensk industri toppar produktivitetligan”. September 2001
- [3] VGB Richtlinie für Kesselspeisewasser, Kesselwasser und Dampf von Dampferzeugern über 68 bar zulässigen Betriebsdruck. VGB Kraftwerkstechnik GmbH. Essen. 1988.
- [4] Samtal med Karol Daucik, ELSAM.
- [5] Thorén A; ”Övervakning av vattnets korrosionsbenägenhet” Matarvattensymposium 1992, Stockholm. November 1992.
- [6] Lyberg A., Nygren J.: ”Cogeneration”, World Cement, April 2002.
- [7] Samtal med Anders Thorén.
- [8] Samtal med Mats Hellman.
- [9] Maurer H: “On-line pH-measurement by differential cation and specific conductivity”. Int. Chemistry On-line Process Instrumentation Seminar. November 1997.
- [10] Wik A: ”Kemisystem Cementa Slite kraftverk”. Intern rapport Vattenfall UE 98/22. November 1998.
- [11] Samtal med Lars Bäcklund.
- [12] Samtal med Gunnar Klintström.
- [13] Wik A; ”Uppbyggnad av kemiverksamhet utan kemister”. Matarvattensymposium 2001, Stockholm. November 2001.
- [14] Beräkningsprogram för membranläggningar Filmtec version 4.00.



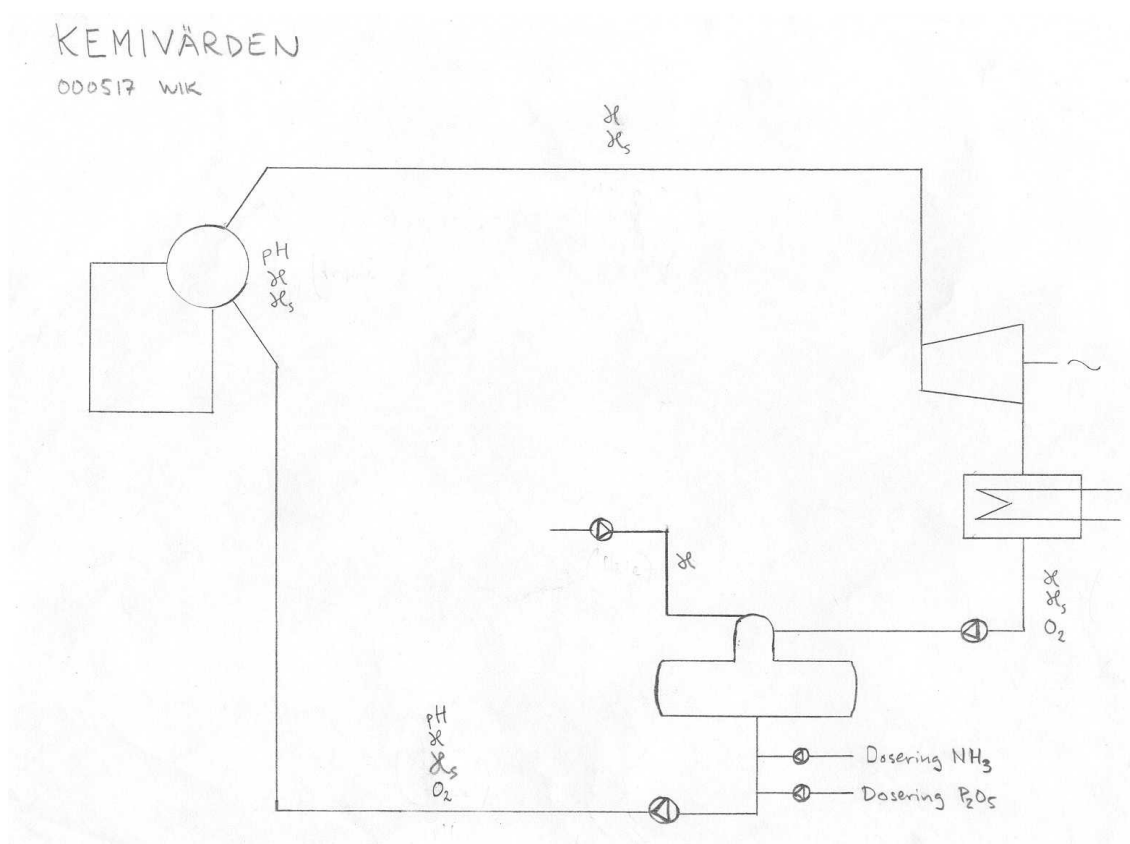
## Bilagor

- A Analysinstrument Cementa Slite
- A.1 Översikt av processinstrument Cementa Slite
- A.2 Differentiella pH-mätaren DeltaCon (SWAN Instruments)
- A.3 Korrosionsmätsond av Corromatmodell
  
- B Kemikaliefri vattenrening
- B.1 Fotografier avsaltningsanläggningen
- B.2 Princip för CDI

## A Analysinstrument Cementa Slite

### A.1 Översikt av processinstrument Cementa Slite

Nedan visas en processbilden över Cementa Slite med doseringspunkter. Samtliga processinstrument är placerade i Slite kraftstation (Vattenfalls byggnad) förutom instrumenten vid pannan som är på Cementas tomt. De instrument som inte finns inritade i bilden är de två korrosionsgivarna som är placerade i kondensatledningen och i matarvattenledningen.





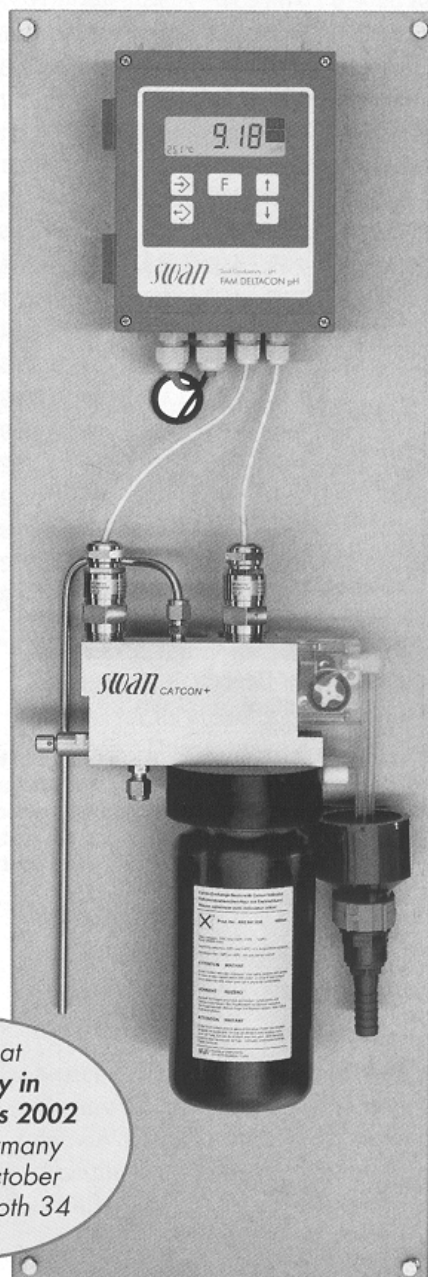
## A.2 Differentiella pH-mätaren DeltaCon (SWAN Instruments)

Nedanstående pH-mätare installerades i Cementa Slite på matarvatten. Parallellt med denna så har en traditionell pH-mätare mätt på samma mätpunkt.

*FAM Deltacon pH -*

*On-line Monitor for Conductivity  
and Calculated pH in Feedwater,  
Steam and Condensate.*

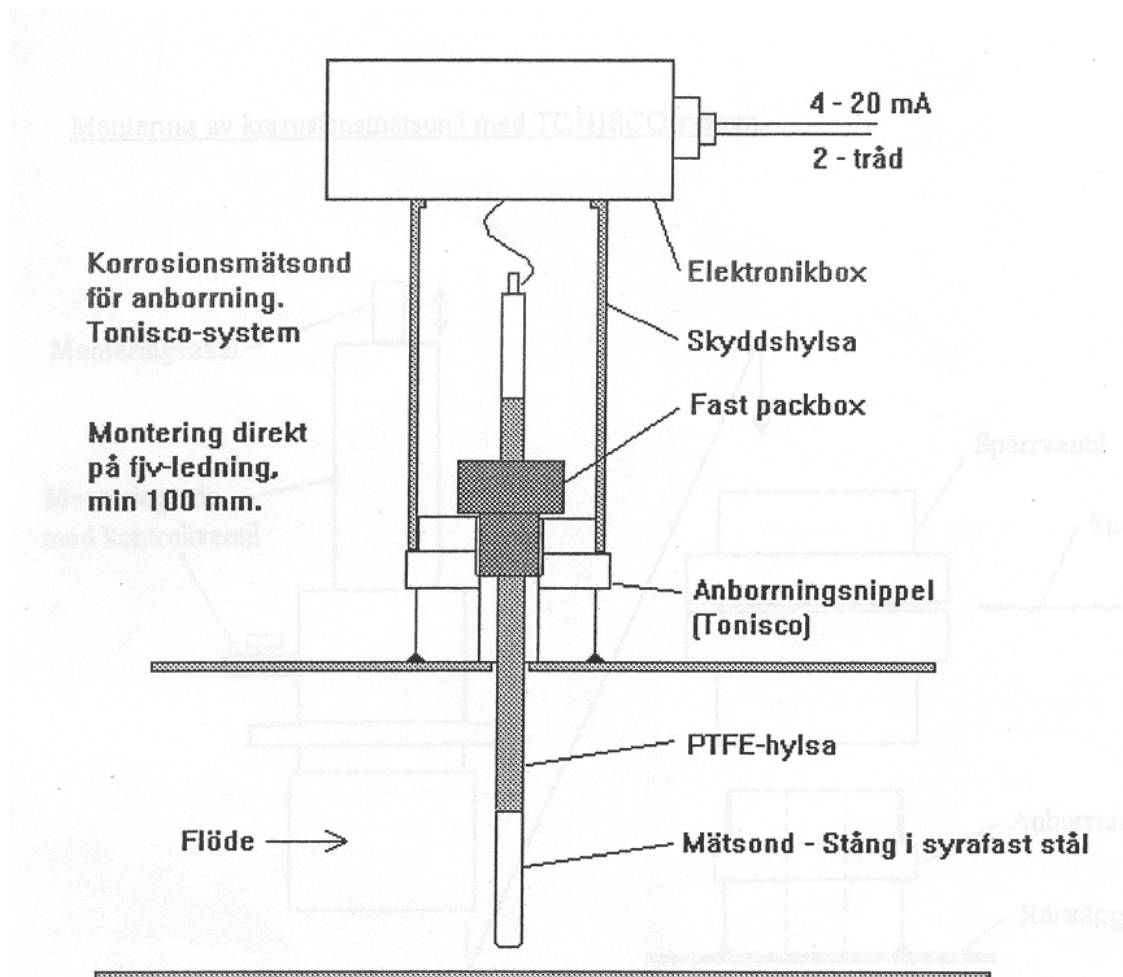
*SWAN sets the standard*



See us at  
**Chemistry in  
Power Plants 2002**  
Essen, Germany  
24/25 October  
Hall 1A Booth 34

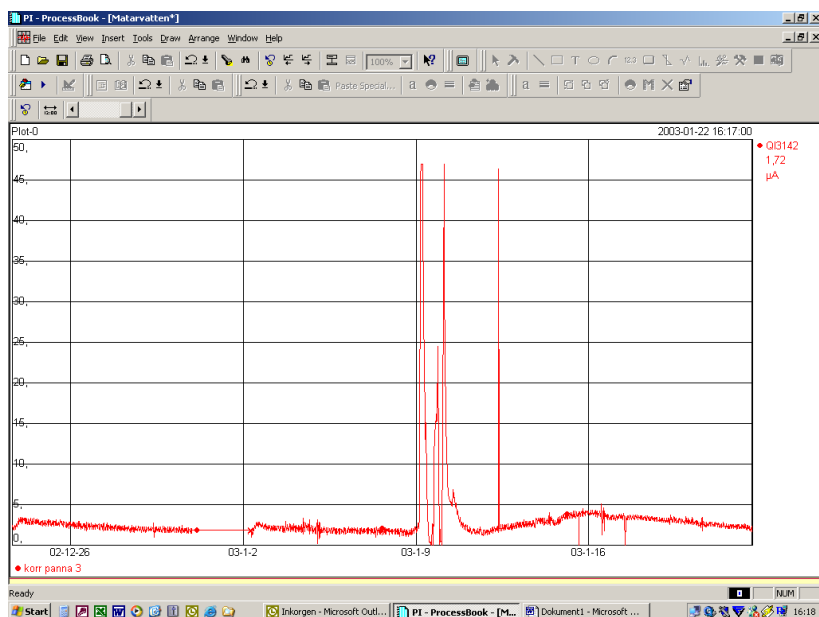
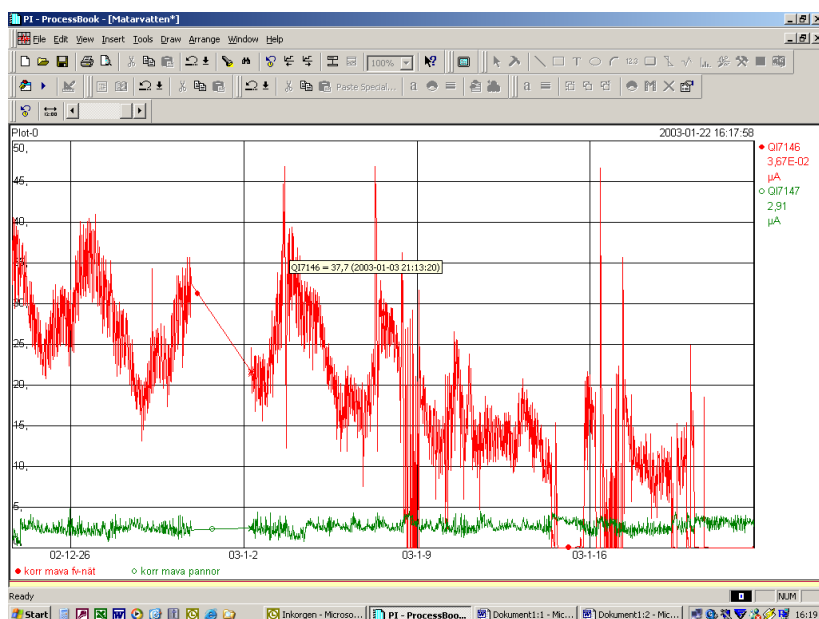
### A.3 Korrosionsmätsond av Corromatmodell

Två av dessa givare placerades i Cementa Slite, en i kondensat och en i matarvatten. I matarvatten finns också en konventionell syremätare som jämförelseobjekt.



## A.4 Korrosionsbilder

Dessa bilder kommer från Söderenergi, i Cementa Slite är trendbildsfunktionen ännu inte i drift för korrosionsgivarna. Den övre bilden visar hur signalen kan se ut när vattenkemin inte är fullgod. Störningarna i detta fall beror på inläckage av pannvatten i matarvattnet. Den nedre bilden ger det typiska utseendet man erhåller vid inläckage av syre till matarvatten med en korrosionsmätsond. Observera att signalerna ej kan översättas till syrehalter i absoluta tal.



## B Kemikaliefri vattenrening

### B.1 Fotografier Avsaltningsanläggningen



Avsaltningsanläggningen, från vänster avhårdning, RO och CDI



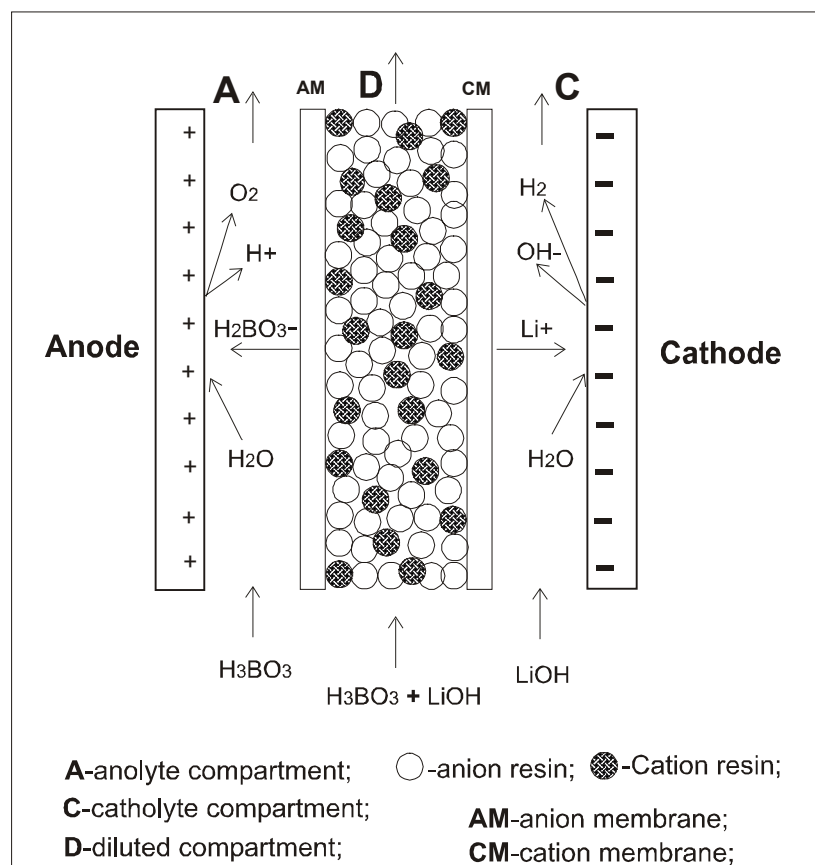
RO-aggregatet

## B.2 Principen för elektroavjonisering (CDI)

Nedanstående bild visar principen för CDI-tekniken. Tekniken är en hybrid mellan elektrodialys och jonbyte. I det elektriska fältet vandrar katjonerna mot katoden och anjonerna mot anoden. Katjonerna kan endast vandra genom katjonselektiva membran (CM) och anjonerna endast genom de anjonselektiva membran (AM). Jonbyttarmassan (blandbäddmassa) i anläggningen hjälper till med jontransporten och möjliggör en kontinuerlig regenerering. Nettoeffekten blir alltså att den mittersta kammare D kommer att utarmas på salter och till sist bestå av rent vatten.

Jonbyttarmassan har en viktig funktion som bärare av laddningar men fungerar också som en konventionell jonbytare och fångar upp joner. När det mesta av jonerna fångats upp och transporterats mot elektroderna inträder fenomenet vattensplitting. Det innebär att vattenmolekyler spaltas upp till hydroxid- och vätejoner. Dessa joner medför att den omgivande jonbyttarmassan regenereras kontinuerligt. Uppskattningsvis är ca 90% av jonbyttarmassan helt regenererad i en CDI-enhet.

I en verklig anläggning består elektroavjoniseringsenheten av upprepade anjon- och katjonselektiva membran, upp till 200 stycken. Detta görs för att kunna möjliggöra större flöden. Anläggningsutformningen av en CDI påminner alltså om en plattvärmeväxlare där fler plattor möjliggör en större överförd värmeeffekt. Analogt så innebär fler upprepade kamrar med anjon- och katjonselektiva membran större flöden med avjoniserat vatten.



Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED  
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB  
101 53 Stockholm  
Tel 08-677 25 80  
Fax 08-677 25 35  
[www.varmeforsk.se](http://www.varmeforsk.se)

Beställning av trycksaker  
Fax 08-677 25 35