VÄRMEFORSK
STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Teknik för framställning av ultrarent vatten

Ivan Falk

Folke Persson

Bo Ramsebäck

KEMITEKNIK 342

Teknik för framställning av ultrarent vatten

Ivan Falk, Studsvik AB

Folke Persson, ÅF Energikonsult AB

Bo Ramsbäck, ÅF Energikonsult AB

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 6405 • 113 82 STOCKHOLM • TEL. 08/34 09 80
Juli 1989
ISSN 0282-3772

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Projekt K7-804

TEKNIK FÖR FRAMSTÄLLNING AV ULTRARENT VATTEN

1989-04-11

Ivan Falk, Studsvik AB
Folke Persson, ÅF-Energikonsult AB
Bo Ramsbäck, ÅF-Energikonsult AB

SUMMARY

The current project comprises a market survey in the USA, pilot plant tests at the Ringhals nuclear power plant, development of a method to thermally break down organic substances and analysis of the resulting species, as well as control from the pilot plant using these methods.

The market survey was a collaborative project between the Swedish State Power Board and Stockholm Energi Produktion AB. The survey consisted of detailed discussions with consultants, manufacturers and users of equipment for the production of ultra pure water in the US.

During the market survey three possible techniques were identified. These were ultra-filtration (UF), reverse osmosis (RO) and the use of an extremely macro-porous anion exchange resin.

Tests with the pilot plant were started in April 1988. Equipment to test these techniques was installed for the use of units 1 and 2. The water supply to the plant is de-ionised water which has a conductivity of < 0,01 mS/m (25°C). The concentration of colloidal material, as measured using the filtration index, was however relatively high in the de-ionised water. The TOC content in the water supply was approximately 150 ppb.

The colloidal removal was effective and equally good for UF, RO and the ion exchanger at the beginning of the ion exchange cycle. The ion exchange capacity was limited. After 7-8 m^3 water per liter ion exchange the separation worsened quickly.

The removal of organic material was best using RO. The amount of TOC was reduced to 10-40 ppb using RO, 30-60 ppb using UF and 30-80 ppb using the ion exchanger. The TOC concentration rose rapidly after the same amount of water as above.

Analysis of the thermally treated water showed that the sulphate concentration was reduced from 7,2 to 2,5-2,8 ppb ion exchange and RO filtration, and somewhat worse using UF. The chloride concentration was reduced from 1,5 to 0,5 ppb using ion exchange filtration and to 1,1-1,2 ppb using RO and UF.

The Ringhals RO equipment has functioned well. A tendency to blockage occurred when the membrane was loaded very hard. Under normal conditions, a flux of less than 0,15, there were no signs of blockage. The flux is the relationship between the permeating flow (water produced) and the feed flow (flow in onto the membrane). The membrane chosen was wound spirally.

In the UF equipment a hollow-fibre membrane and a spirally wound membrane were tested. Both membranes gave a successive reduction in the water production. In order to maintain it was necessary to clean them after relatively short intervals.

The ion exchanger, because of its low capacity, is not competitive either technically or econmically.

Key words: Ultra pure water
Pilot plant
Ultra-filtration
Reverse osmosis
Organic material
Chemical analysis

INNEHÅLLSFÖRTECKNING Sida

1. BAKGRUND 3

2. INLEDNING 4

3. MARKNADSUNDERSÖKNING 5

3.1 Jonbytesteknik 5
3.2 Ultrafiltrering (UF) 6
3.3 Omvänd osmos (RO) 6
3.4 Uppbyggnad av anläggningar 7
3.5 Polerande krets 7
3.6 Membraner 8
3.7 Diskussion 9

4. ANALYSMETOD FÖR ULTRARENT VATTEN 10

4.1 Bakgrund 10
4.2 Provtagning av vatten 10
4.3 Termisk vattenbehandling 10
4.4 Metodprovning och analys 11

5. PILOT PLANT FÖRSÖK I RINGHALS 12

5.1 Beskrivning av utrustningen 12
5.2 Uppläggning av försöken 14
5.3 Filtreringsindex 15
5.4 Resultat av försöken 15
5.5 Slutsatser 20

6. TERMISK BEHANDLING AV VATTEN FRÅN PILOT PLANT FÖRSÖKEN 22

6.1 Vattenanalyser 22
6.2 Sammanfattande analysresultat och slutsatser 23

SAMMANFATTNING

Projektet omfattar en marknadsundersökning i USA, pilot plant försök vid Ringhals kärnkraftverk, framtagning av metod för termisk nedbrytning av organisk substans och analys av nedbrytningsprodukterna samt uppföljning av vattnet från pilot plant anläggningarna med den framtagna metoden.

Marknadsundersökningen var ett samarbetsprojekt mellan Statens Vattenfallsverk och Stockholm Energi Produktion AB. Undersökningen i USA omfattade diskussioner med konsulter, tillverkare och användare av utrustningar för framställning av ultrarent vatten.

Vid marknadsundersökningen framkom att tre olika tekniker var tänkbara. Dessa var ultrafiltrering (UF) och omvänd osmos (RO) samt användning av extremt makroporös anjonbytare.

Pilot plant försöken startades i april 1988. En utrustning för vardera av ovannämnda tekniker installerades vid block 1 och 2. Vattnet till anläggningarna utgjordes av totalavsaltat vatten med en konduktivitet < 0,01 mS/m (25°C). Halten kolloider uppmätt med filtreringsindex var dock relativt hög i det totalavsaltade vattnet. TOC-halten i vattnet till anläggningarna var ca 150 ppb.

Avskiljningen av kolloider var god och likvärdig för UF, RO och för jonbytaren i början på jonbytescykeln. Jonbytarens kapacitet var begränsad. Efter 7-8 m^3 vatten per liter jonbytare försämrades avskiljningen snabbt.

Avskiljningen av organisk substans var bäst för RO-anläggningen. TOC-halten reducerades till 10-40 ppb vid RO-anläggningen, till 30-60 ppb vid UF-anläggningen och till 30-80 ppb vid jonbytesanläggningen. Efter ovannämnda mängd vatten steg TOC-halten snabbt.

Analyser av termiskt behandlat vatten visade att sulfathalten reducerades från 7,2 till 2,5-2,8 ppb genom jonbytes- och RO-filtrering medan effekten var något sämre vid UF-filtre-

ring. Kloridhalten reducerades från 1,5 till 0,5 ppb vid jonbytesfiltrering och till 1,1-1,2 ppb vid RO- och UF-filtrering.

Driftmässigt har RO-anläggningen fungerat bra. Tendenser till igensättning framkom först när membranet belastades mycket hårt. Vid normal belastning, dvs vid en flux mindre än 0,15 framkom inga tendenser till igensättning. Flux är förhållandet mellan permeatflöde (producerat vatten) och feedflöde (flöde in på membranet). Det använda membranet var av spirallindad typ.

I UF-anläggningen provades ett hålfibermembran och ett spirallindat membran. Vid båda membranerna erhölls hela tiden en successiv nedgång i produktionen. För att hålla uppe produktionen erfordrades tvättningar med relativt täta intervall.

Jonbytaren är på grund av den låga kapaciteten ett alternativ som ej kan konkurrera med RO och UF ur teknisk och ekonomisk synpunkt.

1. BAKGRUND

Förluster av ånga och kondensat vid ångproducerande anläggningar ersätts med totalavsaltat vatten. Detta vatten har i de flesta fall framställts genom flockning och jonbytesfiltrering av tillgängligt råvatten. Reningen är ej fullständig. I det totalavsaltade vattnet finns bl a kvar kolloider och humusämnen som sönderdelas i reaktor- och pannvatten till sura organiska föreningar. Dessa föreningar höjer korrosionsnivån i ång- och kondensatsystemen och kan även förorsaka spänningskorrosion hos legerade material som austenitiska överhettare. Som exempel på kemiförändringar i vatten till följd av humusämnen visas nedanstående tabell. Halten TOC (Total Organic Carbon) i makeup water är ett mått på dessa kolloidala humusämnen.

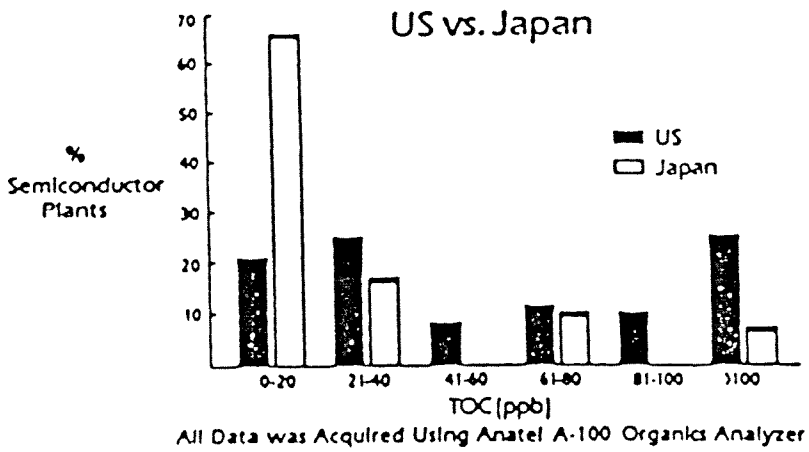
Table A
Impact of Makeup Water TOC Excursions on Condensate Water Quality

	CONDENSATE (PWR REACTOR)		
MAKEUP WATER TOC	Cation Conductivity (Micromhos)	Chloride Ion (ppb)	pH
< 100 ppb	0.4	0.2	9.1
> 200 ppb	1.2	3.0	6.9

2. INLEDNING

Den reningsteknik som används vid kärnkraftverk och högtrycksanläggningar med genomströmningspannor uppfyller vad gäller kolloider och humusämnden ofta ej de kvalitetskrav som bör ställas på spädvatten vid denna typ av anläggningar. Spädvattnets halt av kolloider och humusämnen med bundna sulfater och klorider är i de flesta fall alltför hög.

Under senare år har i USA och Japan utvecklats ny teknik för framställning av ultrarent spädvatten. Härmed menas vatten som inte bara har renats från jonogena ämnen utan också från de flesta kolloider och humusämnen. Inom halvledarindustrin där tekniken med ultrarent vatten utvecklats och tillämpats är en önskvärd TOC-halt < 20 ppb. En acceptabel halt är < 50 ppb. Nedanstående diagram ger en uppfattning om vilka TOC-halter som uppnås i spädvatten inom halvledarindustrin i USA och Japan.



Målsättningen med föreliggande projekt är att introducera nya behandlingsmetoder för effektivare spädvattenrening, speciellt med avseende på organiska ämnen samt klorid- och sulfatjoner.

3. MARKNADSUNDERSÖKNING

Markningsundersökningen utfördes under tiden 1987-11-23--12-05 och finansierades till lika delar av Statens Vattenfallsverk och Stockholm Energi Produktion AB.

De företag och personer som projektgruppen besökte och diskuterade problemställningen med är sammanställda i bilaga 3A.

De metoder som används för framställning av ultrarent vatten är jonbytesteknik och membranteknik, dvs ultrafiltrering (UF) och omvänd osmos (RO).

3.1 Jonbytesteknik

Inga nya jonbytesmassor för borttagning av kolloidala ämnen har utvecklats under senare år. Den enda jonbytare som är utvecklad för detta ändamål är Amberlite IRA 938. Användningen av denna jonbytare är idag av liten omfattning beroende på att den har låg kapacitet, den är mekaniskt ganska svag och den är dyrbar då den är svår att framställa. Försök med denna jonbytare för reduktion av kolloidala ämnen har dock givit mycket positiva resultat varför denna jonbytare bör ingå i projektets Etapp 2, pilot plant försök. Komplicerad regenerering av jonbytaren och att den är mekaniskt svag gör att den eventuellt får användas som engångsmassa, dvs slängas efter försmutsning. Jonbytaren används då som ett singelfilter eller i en blandbädd efter en totalavsaltning.

Av flera experter påpekades vikten av att anpassa driften vid totalavsaltning så att optimal reduktion av kolloidala ämnen erhålles. Detta är en synpunkt som normalt ej beaktas vid konstruktion och drift av totalavsaltningsanläggningar i Europa. De faktorer som påpekades var följande:

- Ett i möjligaste mån jämnt flöde genom anläggningen.

- En låg specifik belastning på jonbytaren, dvs en låg linjär hastighet, dock ej så låg att kanalbildning uppstår.

- Up-flow regenerering av anjonbytarna.

- Ej drift till genombrott. I slutet av jonbytescykeln finns stor risk för att organisk substans elueras ut från jonbytarna. Hur tidigt jonbytescykeln skall brytas får provas i det enskilda fallet. Uppskattningsvis bör cykeln brytas 10-20 % före genombrott.

- Stor vikt bör läggas vid fördelningssystem för vatten och kemikalier i filtren.

- Akrylatmassa rekommenderades, speciellt som svag anjonbytare.

En allmän uppfattning synes vara att jonbytare skall användas för att ta bort jonogena ämnen. Vid besvär med kolloidala ämnen används andra metoder.

3.2 Ultrafiltrering

Ultrafiltrering används i mindre omfattning för framställning ultrarent vatten. Orsaken är att kostnaden för UF-membraner är nästan lika hög som för membraner för omvänd osmos. Energikostnaden blir något lägre vid ultrafiltrering men totalt blir skillnad i kostnad mellan ultrafiltrering och omvänd osmos så liten att omvänd osmos med högre avskiljningsgrad väljes i de flesta fall.

3.3 Omvänd osmos (RO)

De flesta koncept som presenterades för framställning av ultrarent vatten innehöll RO-anläggningar. I övrigt varierade uppbyggnaden mycket. RO-anläggningen kompletteras med jonbytare, UV- och ozonbehandling samt mikrofiltrering.

3.4 Uppbyggnad av anläggningar

Anläggningar för ultrarent vatten är normalt uppbyggda i tre delar. Den första delen utgöres av en förbehandling och beroende på råvattnets kvalitet består förbehandlingen av flockning, sandfilter och/eller patronfilter. Vikten av en god förbehandling poängterades.

Den andra delen utgöres av en reningsanläggning för det behandlade råvattnet. Denna består av enbart en RO-anläggning eller RO-anläggning i kombination med jonbytare. Den vanligaste kombinationen var RO-anläggning med efterföljande blandbäddfilter. I en del fall var RO-anläggningen också placerad efter en totalavsaltningsanläggning. Det nyaste konceptet var två RO-anläggningar i serie med pH-justering före den sista RO-anläggningen. pH-justering utfördes för att erhålla en maximal avskiljning i den andra anläggningen. Vid denna typ av anläggning erhölls en avskiljning för salter på 99,96 %.

Den tredje delen består av en förrådstank med en slutrenande (polerande) krets. Från den polerande kretsen togs vatten till processen. För poleringen användes blandbäddfilter, RO, UV och mikrofiltrering.

3.5 Polerande krets

Betydelsen av en rätt uppbyggd polerande krets för spädvatten i förrådstanken betonades starkt. Vid felaktig uppbyggnad erhålles tillväxt av organiskt material i systemet. Följande bör iakttagas:

- Polering bör ske kontinuerligt, dvs 24 timmar per dygn.
- Hastigheten på vattnet i systemet skall väljas så att turbulent strömning erhålles i rörsystemet.
- Röranslutningar och "dead ends" skall undvikas. Ej tvära dimensionsförändringar.

- Materialet i systemet skall vara korrosionsbeständigt.

3.6 Membraner

De membraner som huvudsakligen användes var spirallindade och av typ Composit. Uppbyggnad av dessa framgår av bilaga 3B.

Compositmembranerna arbetar inom ett stort pH-område, 2-12. Den största kapaciteten har membranen vid pH 8-9. Genom att arbeta vid detta pH-värde kan halten kolsyra hållas på en låg nivå i permeatet och någon kolsyraavdrivare erfordras ej som vid t ex membraner av cellulosaacetat. Här måste pH-värdet justeras till 5,5-6,0 vilket gör att större delen av bikarbonaterna omvandlas till kolsyra som går igenom membranerna.

Compositmembranerna kan tvättas med syra och lut och är stabila mot de flesta kemikalier. Undantaget är klor. Klorhalten får vara 0,1 ppm. I vatten med högre klorhalter insättes endera kolfilter eller doseras bisulfit.

Avskiljningsgraden för de flesta joner är ca 98 %. Se bilaga 3C. Organisk substans och kolloider avskiljes så gott som fullständigt.

Max arbetstemperatur för membraner är 45°C. Den bästa optimala arbetstemperaturen är ca 20°C.

För att undvika fouling av membranerna är det viktigt att ha ett stort förhållande mellan feedflödet, dvs flödet in på membranet och permeatflödet, dvs producerat vatten in i membranet. Önskvärt är att permeatflödet är < 10 % av feedflödet. 15 % nämndes som ett maximalt värde.

För alla vatten rekommenderades pilot plant försök för att fastställa hur mycket vatten ett membran kan producera utan fouling.

3.7 Diskussion

För framställning av ultrarent vatten för kraftverksindustrin är en komplettering av nuvarande teknik, flockning och totalavsaltning, med en RO- eller UF-anläggning eller med filter med Amberlite IRA 938 de aktuella alternativen. Vid planering av en ny anläggning kan diskuteras om RO-anläggningen skall placeras före eller efter jonbytesanläggningen. Genom att placera RO-anläggningen efter en totalavsaltningsanläggning kan även föroreningar från jonbytarna avlägsnas.

I USA är tekniken med ultrarent vatten redan accepterad och införd inom kraftverksindustrin. För t ex FilmTec Corporation (en av de största membrantillverkarna) var vid besöket marknadsandelen för kraftverksindustrin nästan lika stor som för halvledarindustrin, 20 respektive 15 %.

Som pilot plant anläggning för UF och RO väljes en utrustning med ett membran med förslagsvis dimensionerna 4"x40". För att erhålla ett tillräckligt feedflöde anordnas med en loop över membranet. För RO väljes ett spirallindat membran medan för UF kan väljas ett spirallindat membran eller hålfibermembran.

För jonbytaren Amberlite IRA 938 väljes ett filter, förslagsvis för 10 liter jonbytare och med diametern ca 100 mm.

4. ANALYSMETOD FÖR ULTRARENT VATTEN

4.1 Bakgrund

Som kontroll och uppföljning av kvaliteten på avsaltat spädvatten mäts vanligen konduktivitet och kiselsyrahalt. En ökad koncentration av joner ger en förhöjd konduktivitet medan organiska ämnen i kolloidal form ej påverkar mätvärdet. Konduktivitetsmätning är därför ej tillfredsställande speciellt med hänsyn till att kolloider kan innehålla t ex sulfat och klorid. Inom projektet har en metod framtagits och utprovats för termisk sönderdelning av organisk substans och kolloider. De föroreningar som frigjorts vid sönderdelningen har därefter varit möjliga att bestämma med konventionella analysmetoder. Metoden avses främst vara användbar för kvalitetskontroll av ultrarent spädvatten.

4.2 Provtagning av vatten

Prov av aktuellt vatten fylls i en flaska av pyrexglas och får brädda över under en timmes tid. Flaskan har en volym på 5 liter och är försluten med slipad glaspropp. Den relativt stora provmängden medför att förhållandet mellan vattenvolymen och flaskans yta blir stor. Felet som följd av ytadsorption blir därmed mindre.

4.3 Termisk vattenbehandling

Under den termiska behandlingen förvaras vattenprovet i smala cylindriska behållare av syrafast stål (SS 2343). Behållarna har en volym på 500 ml och är anslutna till syrafasta rör (6 · 1 mm) i topp och botten. Rören till behållarna är fastsatta med kopplingar i locket på en autoklav. En skiss över autoklavsystemet visas i bilaga 4A och 4B.

Stålbehållarna renspolas först med aktuellt provvatten. Härvid trycks vattnet med kvävgas från prövflaskan uppströms via stålbehållarna och ut till avlopp. Därefter stängs in- och utloppsventilerna och temperaturen i autoklavvattnet höjs till 250°C och hålls kvar vid denna temperatur under ca 8 timmar. Under uppvärmning expanderar vattenvolymen och överskottsvatten trängs ut genom konstanttrycksventiler. Då autoklaven svalnat uttas de värmebehandlade vattenproven genom att kvävgas trycker vattnet nedströms genom behållarna och ut genom inloppsventilerna. Vid tömningen kastas 50 ml av det första och det sista vattnet som kommer ut eftersom dessa delar av provet utgjort dödvolymer i in- och utloppsledningarna.

4.4 Metodprovning och analys

Den framtagna utrustningen provades dels med dejonat framställt genom jonbytesfiltrering och dels med RO-filtrerat dejonat. Två prov av vardera vattenkvaliteten ingick i varje försök. Efter värmebehandling analyserades vattenproven med jonkromatografi och med avseende på TOC.

Efter den första provningen innehöll värmebehandlat vatten mer än 1 ppm TOC och mer än 100 ppb sulfat. De följande två autoklaveringarna gav som resultat endast en halvering av värdena trots att behållarna renspolades med kallt dejonat mellan försöken. För att förbättra renheten dekontaminerades varje behållare och anslutande ledningar med 5 %-ig HNO_3. Därefter utfördes nio försök och analysresultaten visas i bilaga 4. I dejonat framställt med jonbytare erhölls i de flesta fall högre värden i en av behållarna. Vid efterföljande kontroll visade sig detta orsakas av läckage i en koppling. I RO-filtrerat dejonat avtar TOC- och sulfathalten under de första försöken som följd av reningseffekter under temperaturväxlingarna. Enstaka avvikande högre värden i sulfathalten i slutet av försöksserien orsakades sannolikt av kontamination av analysprovkärlen.

5. PILOT PLANT FÖRSÖK VID RINGHALSVERKET

Vid etapp 1 som var en marknadsundersökning framkom tre alternativ för framställning av ultrarent vatten. Dessa var:

* Ultrafiltrering (UF)
* Omvänd osmos (RO)
* Högporös jonbytare, Amberlite IRA 938

Etapp 2 omfattar försökskörningar med de tre nämnda teknikerna. Tre pilot plant-utrustningar har byggts, en för vardera UF, RO och jonbytare. Försöksanläggningarna har varit installerade vid Ringhals Kärnkraftverk, block 1 och 2. Det vatten som filtrerats är totalavsaltat vatten efter ordinarie totalavsaltningsutrustning, som består av katjon-, anjon- och blandbäddfilter.

5.1 Beskrivning av utrustningar

5.1.1 Omvänd osmos - RO

Utrustningen är uppbyggd kring ett 4 tums spirallindat membran, modell FilmTec BW30-4040. En principskiss för uppbyggnaden redovisas i bilaga 5A. Skissen är förenklad och innehåller enbart väsentliga detaljer.

För att minska tendenserna till igensättning av membranet upprätthålls en hög hastighet över membranytan via en loop (cirkulation). Det finns också två spolningsfunktioner för att motverka igensättning.

1. Ytspolning - trycket mot membranytan släpps genom att en magnetventil öppnas och hela vattenflödet tappas ut i avlopp.

2. Returspolning - från en spoltank trycks permeat bakvägen genom membranet och ut i avlopp. Under returspolningen är cirkulationspumpen stoppad.

Tiden för en spolfunktion kan väljas från 1-10 sek eller 1-10 min och frekvensen mellan spolningarna 1-10 min eller 1-10 timmar.

Utrustningen för kemisk rengöring av membranet finns. I en kemikalietank kan lämplig kemikalie lösas upp i permeat och pumpas runt med en kemikaliepump. Rengöringen sker på koncentratsidan.

5.1.2 Ultrafiltrering - UF

En första modell av UF-utrustningen utrustades med ett hålfibermembran av fabrikat Romicon HF 25.43 PM10. En principskiss över utrustningen redovisas i bilaga 5B.

Detta UF-membran hade väsentligt lägre kapacitet är RO-membranet. För att få bättre kapacitet gjordes en ombyggnad av utrustningen och ett annat membran monterades.

Den ombyggda UF-utrustningen utrustades med ett spirallindat membran av fabrikat NITTO NTR 7410-S4. Med detta membran kan ett tryckfall på upp till 10 bar accepteras. Vid det första membranet var tillåtet tryckfall max 1,8 bar. I bilaga 5C redovisas en principskiss över utrustningen.

Driftprincip och spolfunktioner för UF-utrustningen är lika som för RO-utrustningen. Skillnaden mellan RO och UF är att man arbetar med ett lägre tryck på UF-membranen.

5.1.3 Jonbytare

Utrustningen är uppbyggd kring en behållare för jonbytesmassa med diametern 100 mm och höjden 1200 mm. En principskiss över utrustningen redovisas i bilaga 5D.

Utformningen är sådan att returspolning och regenerering av jonbytesmassan kan utföras.

5.2 Uppläggning av försöken

Alla tre utrustningarna (RO, UF och jonbytare), har matats med totalavsaltat vatten från gemensamt uttag och parallellt producerat filtrerat vatten. Utrustningarna installerades under veckorna 818 och 819.

Försöken startades 1988-05-11. Den sista provtagningen genomfördes 1988-12-16 och därmed avslutades också försöken.

Under försöksperioden har driftförhållandena varierats. RO- och UF-utrustningarna har körts med stegvis varierande tryck och flöden. Vid två tillfällen har kemisk rengöring av membranen utförts.

Med jonbytesutrustningen har tre provserier genomförts med olika jonbytesmassor.

1. Enbart anjonmassa, SUPREX SBOH/SC, 8 liter.

2. Samma anjonjassa blandad med katjonmassa SUPREX SBH, 5,5 liter anjonmassa 2,5 liter katjonmassa.

3. Blandbäddmassa SUPREX SBM11/SC, 8 liter.

Under första provserien varierades flödet genom jonbytaren.

Under provkörningarna har driftdata noterats. Ett antal prov har uttagits för bestämning av filtreringsindex. Därutöver har en serie TOC-analyser och analyser av söderdelningsprodukter efter termisk nedbrytning av organisk substans utförts av Ivan Falk, Studsvik Energiteknik AB. Analysresultaten vad gäller sönderdelningsprodukter efter termisk nedbrytning redovisas under punkt 6 i denna rapport.

5.3 Filtreringsindex

Metoden avser att ge ett relativt mått på fasta och kolloidala partiklar i provet.

Vid bestämning av filtreringsindex har 1 liter prov filtrerats genom ett milliporpapper med porositeten 0,45 µm och diametern 25 mm. Vakuumpump har använts och konstant undertryck har upprätthållits. Filtreringstiden har mätts för varje 100 ml som passerat samma filterpapper. Finns det partiklar större än 0,45 µm i vattnet blir det en successiv igensättning av filterpapperet. Filtreringstiden ökar då efterhand.

Vid beräkning av indextalet används tiden för de första 100 ml-rarna som referens. De efterföljande tiderna divideras med den första.

Är filtreringsindex 1,00 innebär det att ingen igensättning av filterpapperet erhållits. Alla indextal över 1,00 visar att ett visst partikelinnehåll finns i vattnet.

5.4 Resultat av försöken

5.4.1 Omvänd osmos - RO

Försöken startade 1988-05-11. RO-utrustningen har sedan varit i drift kontinuerligt fram till 1988-12-16 då försöken avslutades. Under dessa 7 månader har driftparametrarna ändrats. Syftet var att undersöka vattenkvaliteten vid olika belastningar samt att observera vilka kapaciteter som uppnåddes vid olika belastningar. Totalt tillfördes ca 1700 m^3 vatten till RO-utrustningen.

I bilaga 5E redovisas de driftdata som noterades under försöken. Det tryck som anges är övertrycket omedelbart före membranet. På permeatsidan var det atmosfärstryck. Flöden har angivits i liter per timme för:

Permeat - producerat "filtrat"
Koncentrat - vatten i avlopp
Loop - cirkulationskretsen

Tryck och koncentratflöden i % av inkommande vatten har varierats under försöken. De belastningsnivåer som provats är följande:

	Tryck bar	Koncentrat %
1.	14	ca 25
2.	18	ca 20
3.	21	ca 12
4.	24	10-15
5.	20	4-6
6.	20	10-14

Av dessa har provserierna 1-3 gått helt utan kapacitetsförändringar vid respektive belastning. Med det högsta trycket (4) och den lägsta koncentratmängden (5) sjönk permeatflödet successivt. Det sista driftläget (6), som var tänkt att motsvara nr. 3, gav också en något sjunkande permeatproduktion. Inställningen av koncentratflödet var instabil vid detta tillfälle och kan under vissa perioder ha varit mindre än 10 %.

Ytspolningen var i drift under provserierna 4-6. Några returspolningar har inte genomförts.

Tvättning av membranet har genomförts vid två tillfällen. Den första tvättningen gjordes efter perioden med den hårdaste belastningen (4). Tvättning nummer två genomfördes under slutet av provserie 5. I båda fallen föregicks tvättningarna av en period med tendens till igensättning av membranet (sjunkande permeatproduktion). De kemikalier som använts är:

Citronsyra 1 %
Oxalsyra 0,2 %
Natronlut 0,15 %

Citronsyra och oxalsyra har ensamma inte haft någon påvisbar effekt på membranet annat än att kemikalien blivit svagt färgad. Tvätt med natronlut har däremot direkt givit en tydlig kapacitetsförbättring. I det här specifika fallet förefaller natronlut ha varit fullt tillräckligt som tvättkemikalie. Antalet tvätttillfällen har dock varit för få för att påvisa eventuella kombinationseffekter mellan olika kemikalier.

Under hela försöksperioden har en rad prover uttagits för bestämning av filtreringsindex. I bilaga 5F redovisas några exempel på de tider som uppmätts vid filtreringarna. De uträknade filtreringsindexen för RO är samlade i bilaga 5G. En jämförelse kan göras med filtreringsindexen för inkommande vatten, bilaga 5H.

I bilaga 5I redovisas TOC-halterna före och efter anläggningarna.

Permeatet från RO-utrustningen uppvisar en jämn kvalitet oberoende av belastningen. Vid bestämning av filtreringsindex är indextalet genomgående detsamma i början och slutet på filtreringen. Detta visar att inga partiklar finns kvar i permeatet. TOC-halten har reducerats från i storleksordningen 150 ppb före anläggningen till 10-40 ppb efter anläggningen.

5.4.2 Ultrafiltrering - UF

5.4.2.1 Hålfibermembran

Vid starten av försöken 1988-05-11 användes ett hålfibermembran. Detta membran hade ett maximalt tillåtet differenstryck, dvs skillnaden mellan trycken in på membranet och på permeatsidan, på 1,8 bar.

I bilaga 5J redovisas de driftdata för UF som noterats under försöken. Sida 1 representerar hålfibermembranet. Angivet tryck är i detta fall differenstrycket över membranet. De angivna flödena motsvarar vad som beskrivits under RO, punkt 5.1, ovan.

Två nivåer på differenstrycket provades, 1,3 bar och 1,8 bar. Vid starten av det nya membranet är permeatproduktionen hög alldeles i början men sjunker mycket snabbt de första dagarna. Därefter noterades bara en svagt sjunkande kapacitet. Enligt leverantören av membranet är detta normalt. En dimensionering skall göras efter den lägre kapacitet som uppnåddes. Koncentratflödet motsvarade vid båda trycknivåerna ca 45 % av tillfört vatten.

De bestämningar av filtreringsindex som utfördes redovisas i bilaga 5K. Resultaten visar att permeatkvaliteten efter UF-membranet var lika god som efter RO-membranet med avseende på filtreringsindex.

Med det låga utbytet som erhölls för hålfibermembranet jämfört med RO-membranet bedömdes att detta UF-membran inte var ett intressant alternativ i denna applicering. Därmed byttes hålfibermembranet ut mot ett spirallindat UF-membran.

5.4.2.2 Spirallindat membran

Bytet av membran medförde betydande ombyggnad av utrustningen. Det nya membranet kan köras vid tryck upp till 10 bar. Försöken med denna utrustning startades 1988-08-26 och avslutades 1988-12-16.

De driftdata som noterades redovisas i bilaga 5J, sid 2-3. Det tryck som anges är ingående tryck på membranet. På permeatsidan har trycket varit <0,2 bar.

För det spirallindade membranet observerades samma tendens till snabb minskning av permeatproduktionen i början av försöken. Dels gäller detta då membranet är helt nytt och dels efter tvättning av membranet. Minskning av permeatproduktionen sker successivt under normal drift men långsammare än i början. Dessa igensättningstendenser är oberoende av vilka tryck som membranet belastas med.

Koncentratflödet har varit ca 100 l/h. Detta motsvarar en avtappning på 20-50 % av tillfört vatten beroende på när under driftförloppen detta beräknas.

Tvättning av membranet har utförts vid två tillfällen. De kemikalier som använts är:

Citronsyra 1 %
Oxalsyra 0,2 %
Natronlut 0,15 %

Liksom vid tvättningen av RO-membranet var det natronluten som hade påtaglig effekt på UF-membranet.

I bilaga 5K redovisas de filtreringsindex som utförts. Permeatkvaliteten med avseende på filtreringsindex är för det spirallindade UF-membranet likvärdigt med hålfibermembranet och RO-membranet. Indextalet är detsamma i början och i slutet på filtreringarna.

TOC-halten har reducerats något mindre än vid RO-anläggningen. TOC-halten efter båda typerna av UF-membran ligger mellan 30 och 60 ppb.

5.4.3 Jonbytare

Försöken med jonbytare startades 1988-05-11 och har pågått fram till 1988-12-01. Tre olika provserier genomfördes.

1. Enbart anjonmassa
2. Blandad katjon och anjon
3. Färdig blandbädd

De driftdata som noterats redovisas i bilaga 5L. Den första provserien kördes med olika flöden under längre perioder. Motsvarande flödesvariationer gjordes även under provserie 2 men då bara några timmar på varje nivå.

Belastning av en jonbytare anges ofta som specifik belastning uttryckt i m^3/m^3h eller l/l h. Det innebär liter producerat vatten per liter jonbytare och timme. De olika flöden som provades och de specifika belastningar som dessa motsvarade var följande:

40	l/h	5	l/l h
80	"	10	"
120	"	15	"
160	"	20	"

I bilaga 5M redovisas de filtreringsindex som erhållits efter jonbytaren. Filtreringsindexen efter jonbytaren ligger i början på jonbytescyklerna på samma nivå som för RO och UF. Olika belastningsnivåer hade ingen märkbar effekt på vattenkvaliteten. Kapaciteten är dock begränsad. I slutet på driftcykeln försämras kvaliteten. Eftersom det är anjonmassan som tar upp humusämnen bör kapaciteten beräknas efter mängden anjonmassa. Med utgångspunkt från utförda filtreringsindex är kapaciteten 7-8 m^3 vatten per liter anjonmassa.

TOC-halten efter jonbytaren låg i början på jonbytescyklerna på samma nivå som efter UF-anläggningen. En stegring av TOC-halten erhölls i samband med att filtreringsindexen försämrades.

5.5 Slutsatser

Vid filtrering av totalavsaltat vatten med RO, UF och jonbytare kan kolloider avskiljas med mycket god effekt. Vattenkvaliteten efter respektive utrustning har, uppmätt med filtreringsindex, varit helt likvärdig. Jonbytarens kapacitet var dock så låg att den ur ekonomisk synpunkt ej torde vara aktuell.

Avskiljningen av organisk substans uppmätt som TOC har varit bäst för RO-anläggningen. TOC-halten har här reducerats från ca 150 ppb till 10-40 ppb. UF och

jonbytaren har haft något sämre reduktion. Vid UF har TOC-halten reducerats till 30-60 ppb och vid jonbytaren till 30-80 ppb.

Driftmässigt har RO-utrustningen givit de bästa resultaten. Permeatproduktionen har kunnat hållas konstant upp till ett tryck av ca 20 bar med en avtappning av koncentrat på 10-12 %. Ett högre tryck eller mindre koncentratflöde gav tendenser till igensättning.

UF-membranen har inte givit samma jämna produktion. Regelbundna tvättar av UF-membranen torde behövas för att hålla en god produktionskapacitet.

Med jonbytare erhålles ett cykliskt förlopp som innebär att när massans kapacitet är förbrukad måste regenerering eller massabyte ske för att återfå kapaciteten. Vid dessa försök har, innan reduktionen av organisk substans försämrats, 7-8 m^3 totalavsaltat vatten kunnat filtreras per liter anjonbytare.

6. TERMISK BEHANDLING AV VATTEN FRÅN PILOT PLANT FÖRSÖKEN

Värmebehandlingen av vattenproven utfördes genom autoklavering under 8 timmar vid 250°C enligt metodbeskrivningen i avsnitt 4. Under upphettningen sker en termisk sönderdelning av kolloider och organisk substans vilket medför att bundna föroreningar frigörs och analytiskt kan bestämmas.

6.1 Vattenanalyser

6.1.1 TOC

Analyserna utfördes med ett instrument av fabrikat Dohrmann DC80. Före analysen surgörs vattenproven och avgasas. Kolsyran i vattnet försvinner vid avgasningen och ingår inte i analysvärdet för totalt organiskt kol (TOC). Vid den termiska behandlingen av vattnet bildas huvudsakligen kolsyra av den organiska substansen som sönderdelas. Eftersom kolsyran avgasas före analysen erhålles generellt lägre TOC-halter i värmebehandlat vatten än i obehandlat vatten.

Erhållna värden har införts i bilaga 6A1 i den ordningsföljd provtagning skett under försöken. TOC-halten är lägst i RO-och UF-filtrerat vatten och något högre i vatten efter jonbytaren.

6.1.2 Klorid och sulfat

Klorid och sulfat bestämdes med en jonkromatograf av fabrikat Dionex (2010). Vid analyserna användes koncentrationskolonn (AG4), separationskolonn (AS4) och supressorkolonn (AFS). För eluering användes vätekarbonatlösning. Erhållna resultat är införda i bilaga 6A2 och 6A3. Värden från prov, som inte värmebehand-

lats, har införts i parallella kolumner för dejonat och för respektive försöksutrustning. Halterna är högst i värmebehandlat dejonat. Av värdena i övrigt framgår att halterna är högre i UF-filtrerat vatten än i RO- och jonbytesfiltrerat vatten.

6.1.3 Acetat och formiat

Analyserna utfördes med jonkromatograf och samma kolonner som användes vid bestämning av klorid och sulfat. Som eluent användes boratlösning. Erhållna resultat är införda i bilaga 6A4. Värdena har stor variationsbredd vilket sannolikt orsakas av förluster under provhanteringen som följd av syrornas flyktighet. Halterna är lägst i UF- och RO-filtrerat dejonat och högre i jonbytesfiltrerat dejonat.

6.2 Sammanfattande analysresultat och slutsatser

Sammanfattande analysvärden uttryckta som representativa medelvärden visas i bilaga 6A5. Vid beräkningen av värdena har resultaten från de två första provomgångarna utelämnats med hänsyn till att vissa föroreningar från utrustningarna kan ha inverkat under den första filtreringstiden. Även enstaka värden, som uppenbart avviker från övriga värden och kan bedömas vara orsakade av kontamination vid provtagning och provhantering, har utelämnats.

Filtreringen av dejonat genom makroporös jonbytare, UF- och RO-membran ger en reduktion av vattnets TOC-halt ned till 30-40 ppb.

Dejonatets sulfathalt reduceras från 7,2 till 2,5-2,8 ppb genom jonbytes- och RO-filtrering medan effekten är något sämre vid UF-filtrering.

Kloridhalten reduceras från 1,5 till 0,5 vid jonbytesfiltrering och till 1,1-1,2 vid RO- och UF-filtrering.

De olika betingelser, som tillämpades för försöksutrustningarna orsakade inga märkbara effekter på reduktionen av organisk substans eller reduktionen av klorid och sulfat.

TEKNIK FÖR FRAMSTÄLLNING AV ULTRARENT VATTEN

Etapp 1 Marknadsundersökning

Personer och företag besökta i USA 1987-11-23--1987-12-05

BAL-LAB Balazs Analytical Laboratory
2284 Old Middlefield Way ☐ Mountain View, CA 94043

Marjorie K. Balazs
President

Telex 262251 (415) 965-0423

Crescent Project Management

Meredith Joan Angwin
PARTNER

1066 Fife Avenue
Palo Alto, California 94301
(415) 328-1720
Residence (415) 321-7115

Thomas O. Passell
Project Manager
Nuclear Engineering and Operations
(415) 855-2070

EPRI
Electric Power
Research Institute

3412 Hillview Avenue
Post Office Box 10412, Palo Alto, CA 94303

BAL-LAB Balazs Analytical Laboratory
2284 Old Middlefield Way ☐ Mountain View, CA 94043

Irving M. Abrams, Ph.D.
Consultant

(415) 965-0423

SUE A. HOBART, PE

PRESIDENT
ADAMS & HOBART
CONSULTING ENGINEERS

50 AIRPORT PARKWAY, SUITE 64
SAN JOSE, CALIFORNIA 95110
(408) 947-4689

BAL-LAB
Balazs Analytical Laboratory
2284 Old Middlefield Way □ Mountain View, CA 94043

Clarine Anderson
Laboratory Director

Telex 262251

(415) 965-0423

Beatrice

ARROWHEAD

Gregory A. Pittner, P.E.
Process Manager

Arrowhead Industrial Water, Inc
Subsidiary of Beatrice Companies, Inc
1566 E. Washington Blvd
Los Angeles, CA 90021
213 748 8511

FilmTec Corporation
A subsidiary of The Dow Chemical Company

Corporate Headquarters
7200 Ohms Lane
Minneapolis, MN 55435 USA

Peter K. Eriksson, PhD
Senior Development Specialist
Advanced Development Department

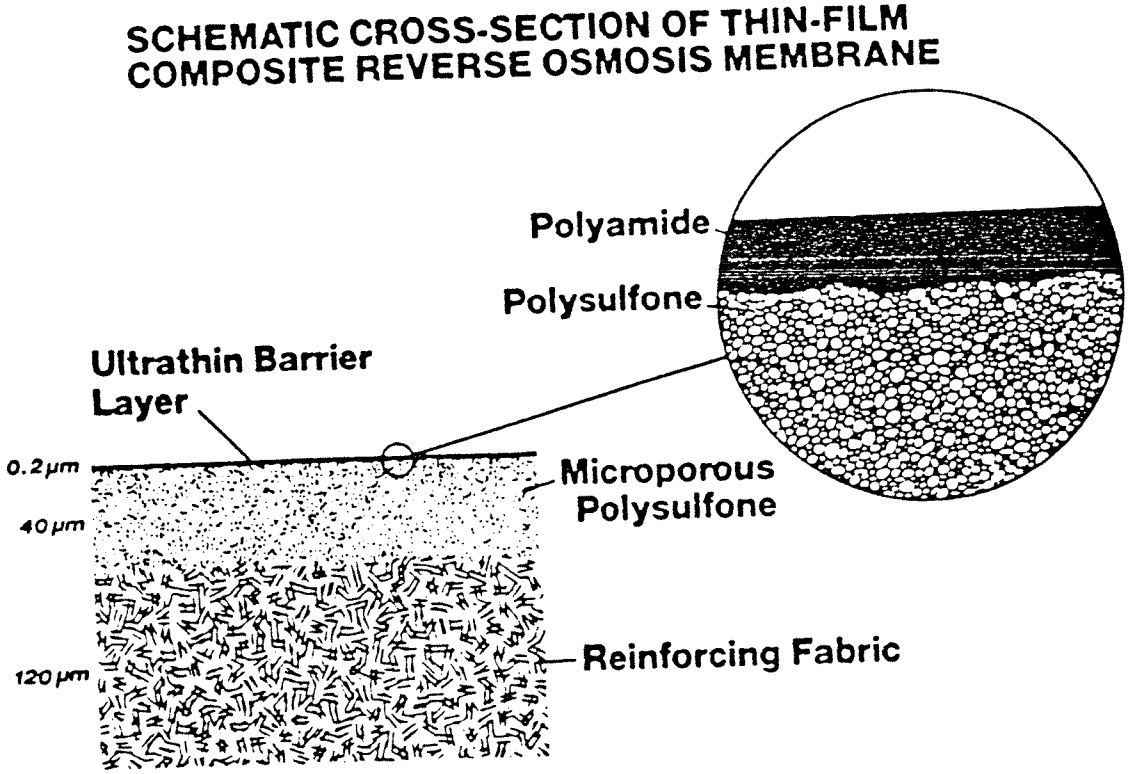
Telephone 612-835-5475
Telex 290899 FILMTEC EDNA
Telefax 612-835-4996

GEORGE A. PALMER, JR.
TECHNICAL REPRESENTATIVE
INDUSTRIAL CHEMICALS NORTH AMERICA

ROHM AND HAAS COMPANY
II EXECUTIVE CAMPUS
SUITE 320
CHERRY HILL, NJ 08002
(609) 488-9711

436 LAREDO DRIVE
BIRMINGHAM, AL 35226
(205) 822-1984

TEKNIK FÖR FRAMSTÄLLNING AV ULTRARENT VATTEN



TEKNIK FÖR FRAMSTÄLLNING AV ULTRARENT VATTEN

FT-30 RO MEMBRANE REJECTION DATA

The FT-30 reverse osmosis membrane gives excellent performance for a wide variety of applications, including low pressure tapwater purification, single pass seawater desalination chemical processing and waste treatment. This membrane exhibits high rejection at low pressures with very stable long-term operation.

Solute	MW	Rejection (%)
Sodium fluoride NaF[1]	42	98
Sodium cyanide NaCN	49	95
Sodium chloride NaCl	58	98
Silica SiO_2 (50 PPM)	60	98
Sodium bicarbonate $NaHCO_3$	84	98
Sodium nitrate $NaNO_3$	85	93
Magnesium chloride $MgCl_2$	95	98
Calcium chloride $CaCl_2$	111	99
Magnesium sulfate $MgSO_4$	120	99
Nickel sulfate $NiSO_4$	155	99
Copper sulfate $CuSO_4$	160	99
Formaldehyde	30	35
Methanol	32	25
Ethanol	46	70
Isopropanol	60	90
Urea	60	70
Lactic acid pH 2	90	94
Lactic acid pH 5	90	99
Glucose	180	98
Sucrose	342	99
Chlorinated pesticides	–	99

Operating Conditions

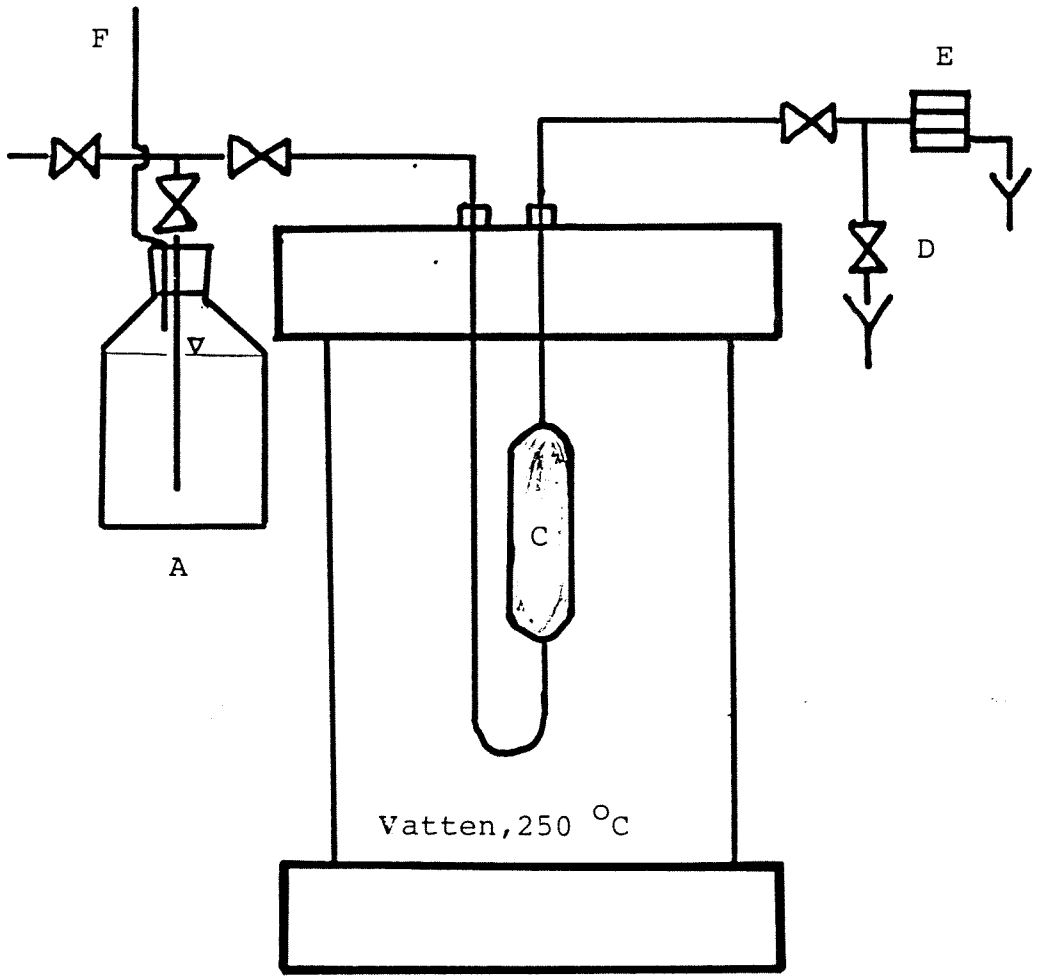
Membrane Type	Thin-Film Composite Polyamide
Maximum Operating Pressure	1000 PSI (6.8 M Pa)
Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)
Free Chlorine Tolerance	0.1 PPM
pH Range:	
Continuous operation	2-11
Short-term (30 min.), cleaning	1-12

Solute Rejection (Approximate) 2000 PPM Solute 225 PSI (1.6 M Pa) 77°F (25°C), pH7 (unless otherwise noted)

1. Fluoride rejection is strongly pH dependent (about 75% at pH 5, 50% at pH 4, 30% at pH 3.5, and 0% below pH 3)

TERMISK VATTENBEHANDLING

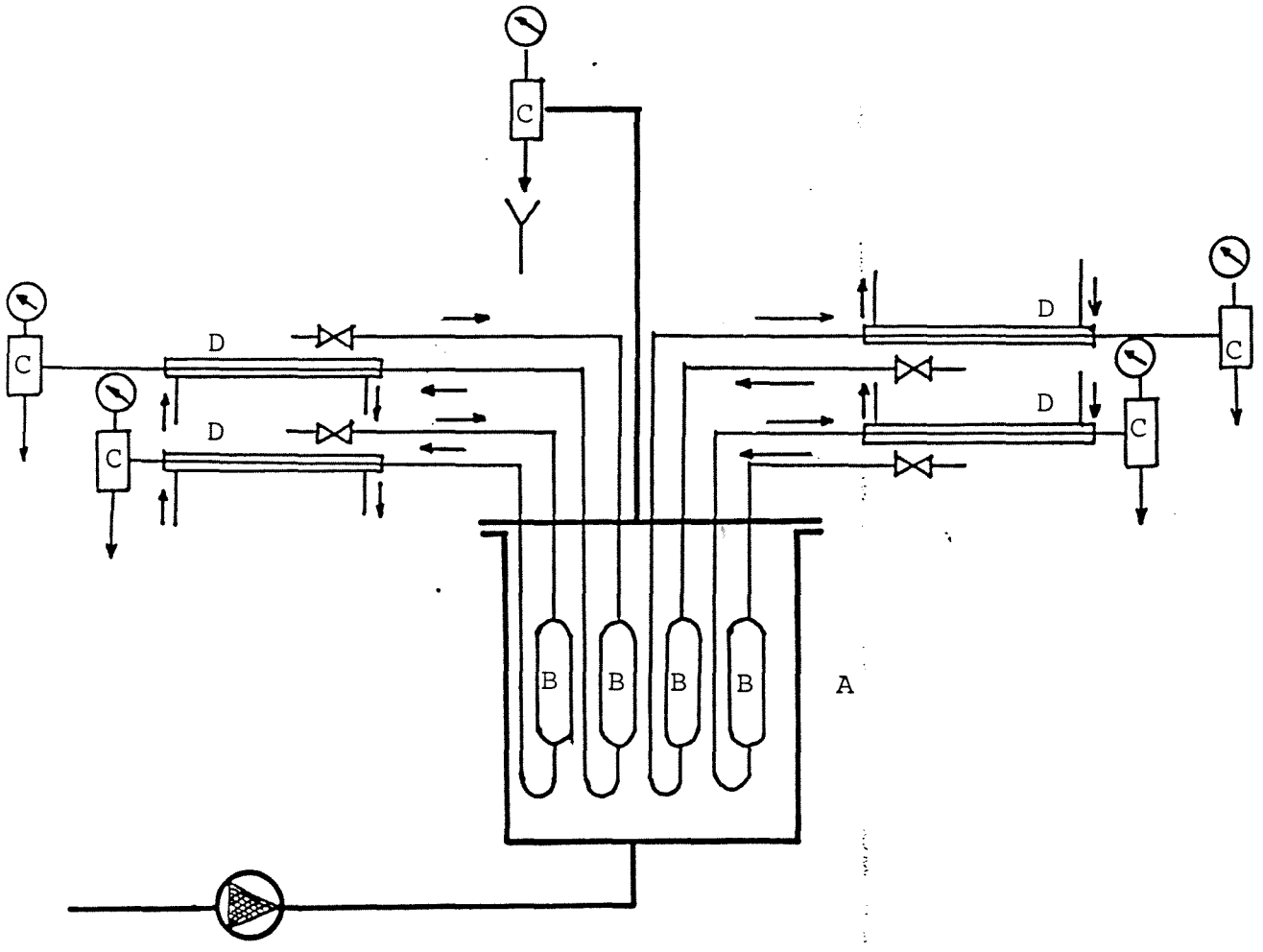
Skiss över autoklav och stålbehållare.



A. Vattenprovflaska
B. Autoklav, vattenfylld
C. Helsvetsad stålbehållare, SS 2343
D. Avloppsledning för renspolning
E. Mottrycksventil, släpper ut vatten vid temperaturuppgång och förhindrar ångbildning.
F. Kvävgas

TERMISK VATTENBEHANDLING

Autoklavsystem



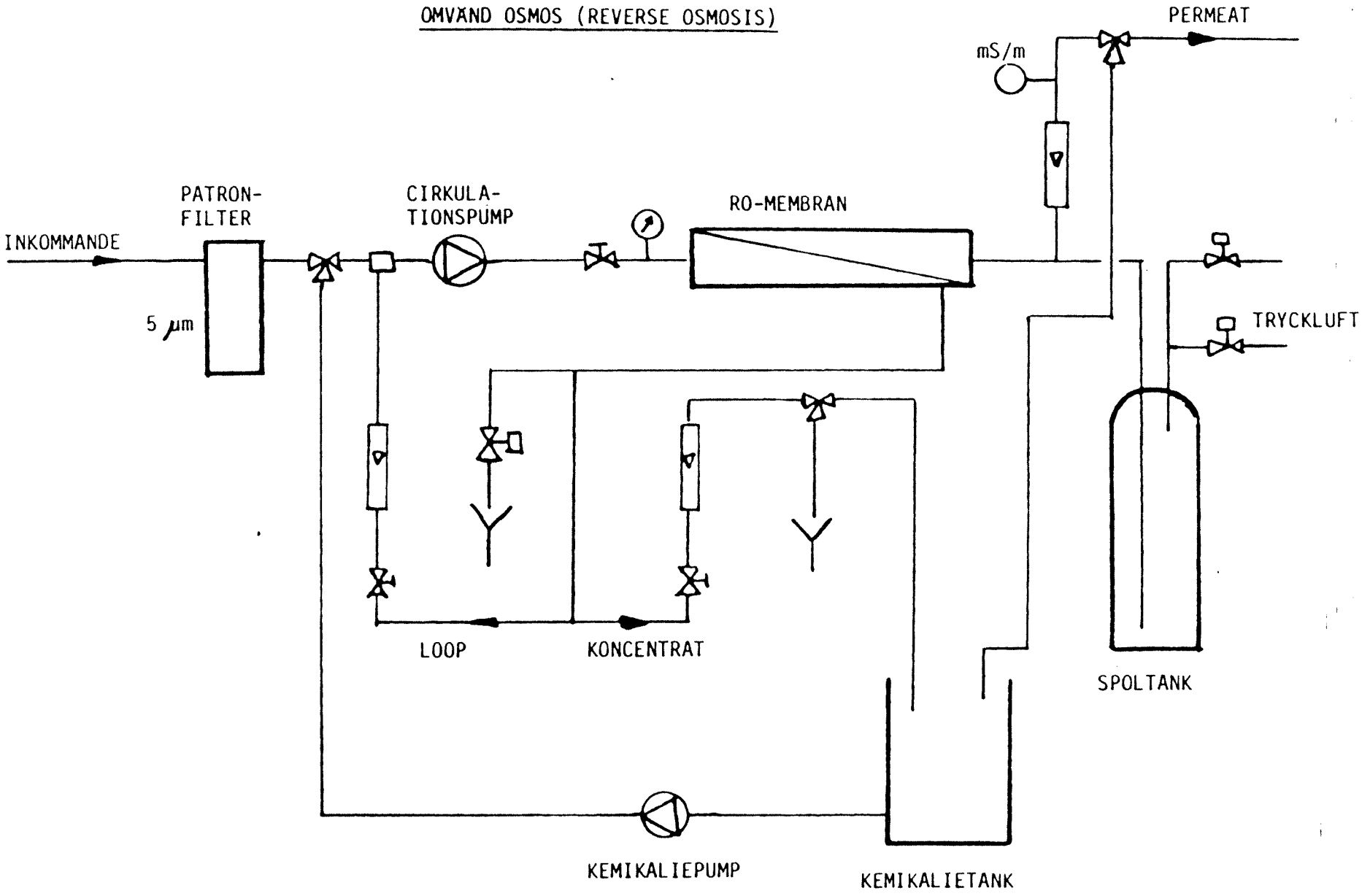
A. Autoklav
B. Stålbehållare
C. Mottrycksventiler
D. Kylare

TERMISK VATTENBEHANDLING

TOC- klorid- och sulfathalter i värmebehandlade vattenprov.

Försök, nr	Dejonat från jonbytare		RO-filtrerat dejonat	
		TOC, ppb		
1	150	260	280	270
2	1 190	315	350	1 860
3	270	110	80	180
4	350	182	92	67
5	250	85	50	180
6	240	180	81	65
7	235	160	110	50
8	245	170	44	60
9	190	140	46	40
		Cl^-, ppb		
1	2.0	1.8	1.1	4.3
2	3.0	5.1	4.7	5.3
3	2.6	2.3	0.4	1.9
4	6.4	3.3	0.6	0.7
5	6.5	1.6	6.7	0.7
6	3.6	7.7	1.1	3.6
7	13.6	4.0	1.5	0.8
8	2.1	1.7	1.3	2.5
9	1.8	2.0	0.7	2.2
		SO_4^{2-}, ppb		
1	7.6	11	254	31
2	149	26	39	33
3	29	10	8.5	6.1
4	14	7.5	3.0	2.4
5	16	4.6	5.2	1.5
6	5.7	13	4.2	28
7	24	12	5.9	2.1
8	24	6.0	3.8	10.2
9	18	7.5	6.5	4.7

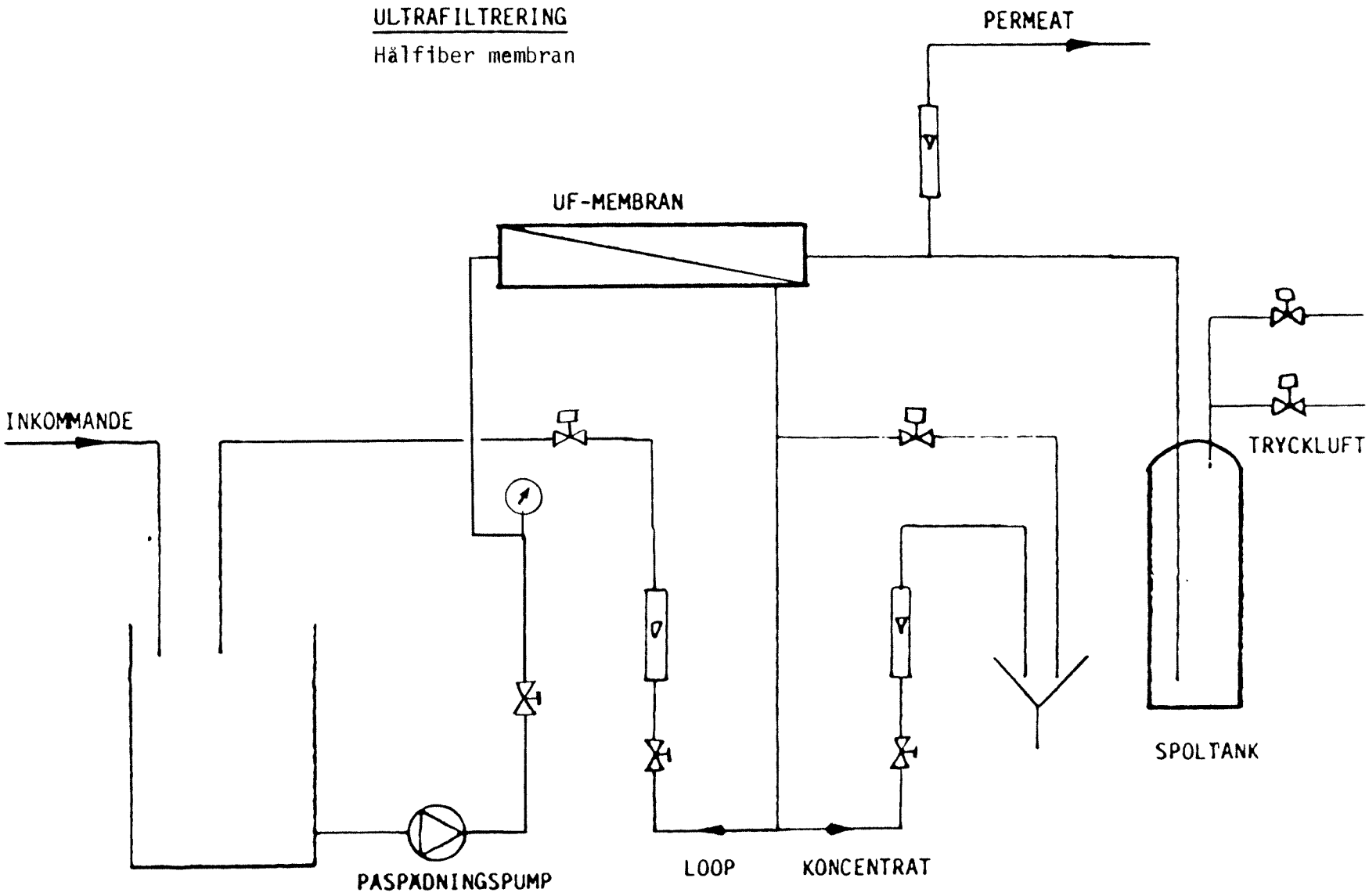
OMVÄND OSMOS (REVERSE OSMOSIS)



BILAGA 5A

ULTRAFILTRERING

Hälfiber membran

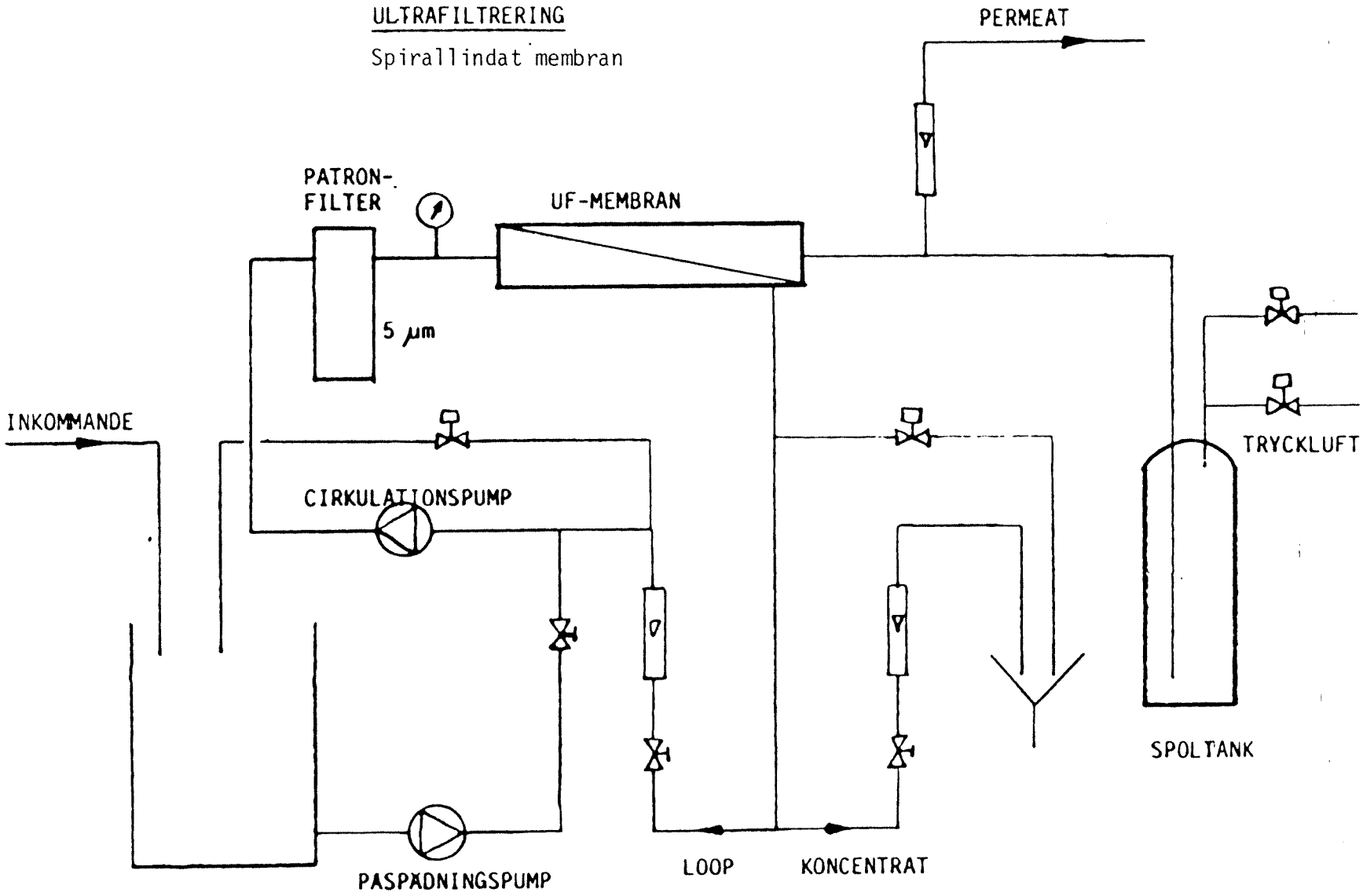


ÅF-ENERGIKONSULT

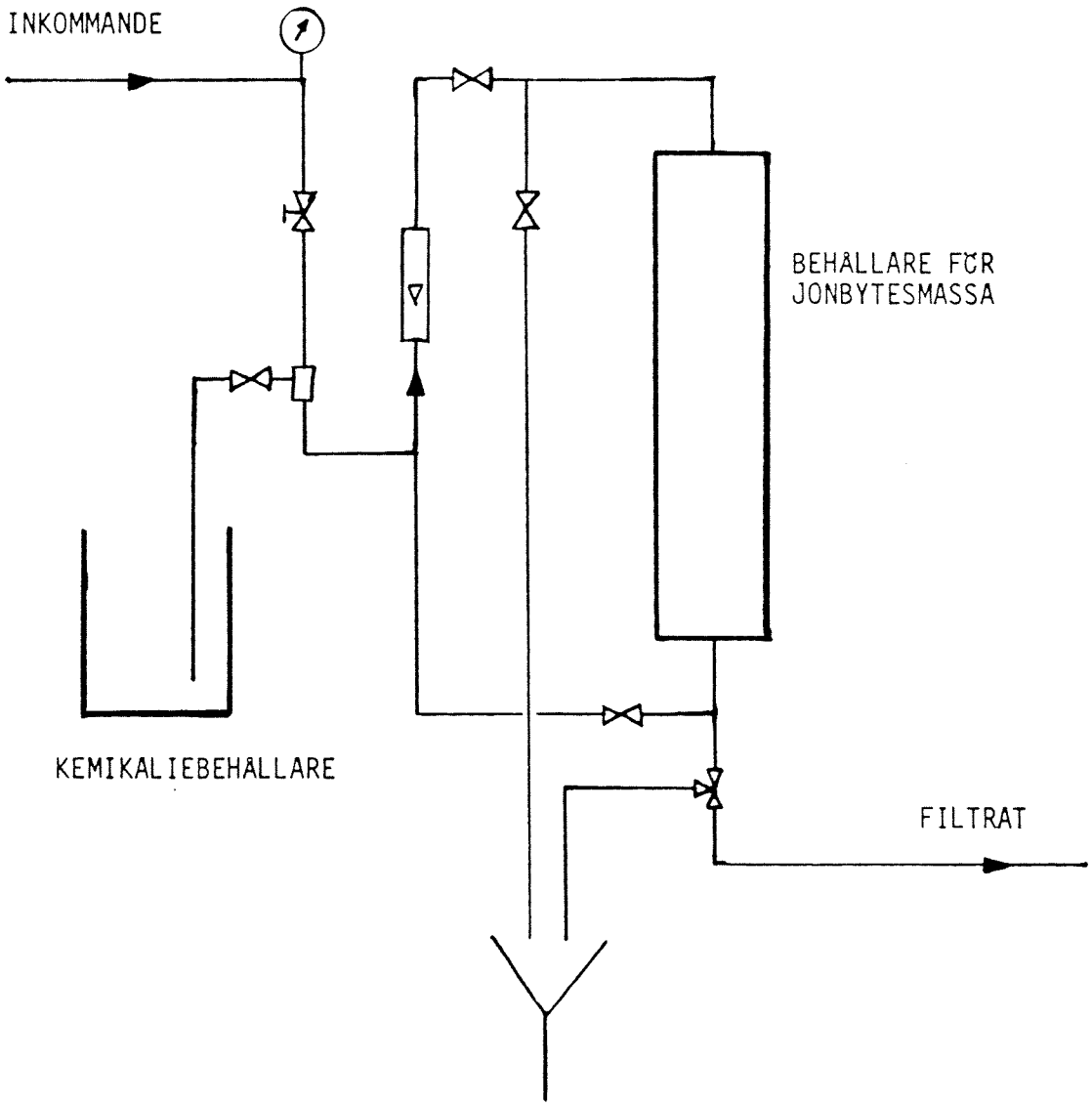
BILAGA 5C

ULTRAFILTRERING

Spirallindat membran



JONBYTARE


INKOMMANDE
BEHÅLLARE FÖR
JONBYTESMASSA
KEMIKALIEBEHÅLLARE
FILTRAT

OMVÄND OSMOS - DRIFTDATA

Ringhals

Datum	Inkommande m^3	Tryck bar	Temp. °C	Flöde l/h			Spolning
				Permeat	Konc.	Loop	
880511	0	14	19	160	55	790	Ingen
880517	28	13,5	20	170	51	780	"
880520	44	14,5	19	170	51	800	"
880526	66	14	19	170	52	800	"
880531	102	13,5	20	160	60	790	"
880531	0	18	19	210	52	790	"
880601	6	18	19	220	50	780	"
880607	43	18	19	210	50	870	"
880610	60	18	18	200	50	870	"
880614	85	17,5	18	200	48	860	"
880622	141	17,5	22	230	50	860	"
880622	0	21	22	280	50	900	"
880629	53	21	22	270	43	900	"
880702	78	21	23	275	40	900	"
880705	102	21	23	280	40	900	"
880708	125	21	23	280	38	900	"
880713	168	21	24	290	40	900	"
880713	0	24	23	320	40	1000	Ytspolning 5 sek/10 min
880721	69	24	22	310	38	1000	"
880812	266	24	21	300	40	1000	"
880818	317	24	23	290	40	1000	"
880825	372	25	23	290	45	1075	1 sek/10 min
880831	419	25	22	280	45	1050	"
880905	459	25	23	280	45	1050	"
880907	473	24,5	23	280	50	1050	"
880914	528	25	23	280	40	1050	"
880922	589	24	22	260	45	1040	"
880923	596	24,5	22	260	45	1040	"
880930	649	24	22	250	45	1000	"

OMVÄND OSMOS - DRIFTDATA

Ringhals

Datum	Inkommande m^3	Tryck bar	Temp. °C	Flöde l/h			Spolning
				Permeat	Konc.	Loop	
880930		TVÄTTNING AV MEMBRANET UTFÖRD.					
880930	0	20	22	280	12*	1050	*Enbart ytspoln.
881003	20	21	22	250	12*	1050	2 sek/5 min
881014	89	20	21	230	12*	1050	"
			DRIFTSTOPP 16 DAGAR				
881103	113	20	20	230	12*	1050	*Enbart ytspoln.
881123	224	20	20	200	12*	1050	2 sek/5 min
881201	265	20	15	190	12*	1100	"
881201		TVÄTTNING AV MEMBRANET UTFÖRD.					
881201	266	20	13	240	12*	1050	*Enbart ytspoln.
881201	266	25	13	280	40	1200	2 sek/5 min
881201	0	20	13	230	40	1050	Ytspolning
881209	54	20	17	220	35	1050	2 sek/5 min
881214	86	20	18	220	35	1050	"
881216	98	19,5	18	200	35	1030	"

FILTRERINGSINDEX - RÅDATA

Ringhals

Exempel på uppmätta tider i minuter och sekunder för respektive prover.

Filtrerat ml/ml	Ink. 880517	RO 880517	UF 880517	Jonb. 880517	Ink. 880601	RO 880601	UF 880601	Jonb. 880601	Ink. 880713	RO 880713	Jonb. 880713	Ink. 880922	RO 880922	UF 880922	Jonb. 880922
100	1.10	0.45	0.46	0.47	1.10	0.47	0.42	0.50	1.02	0.40	1.01	1.15	0.45	0.45	1.06
200	1.35	0.45	0.46	0.47	1.26	0.47	0.42	0.51	1.18	0.40	1.18	1.54	0.45	0.45	1.30
300	2.05	0.45	0.47	0.47	1.44	0.48	0.42	0.52	1.30	0.40	1.23	2.49	0.45	0.45	1.45
400	2.35	0.45	0.47	0.47	2.03	0.48	0.43	0.52	1.41	0.40	1.39	5.14	0.45	0.46	2.02
500	3.40	0.47	0.48	0.48	2.29	0.48	0.43	0.52	1.55	0.40	1.51		0.45	0.46	2.17
600	5.50	0.47	0.47	0.48	3.05	0.48	0.44	0.53	2.05	0.40	2.07		0.46	0.46	2.36
700	11.45	0.47	0.47	0.50	4.01	0.48	0.43	0.53	2.20	0.40	2.22		0.46	0.46	2.58
800	>20	0.47	0.47	0.51	5.46	0.48	0.44	0.54	2.36	0.40	2.38		0.46	0.46	3.27
900		0.47	0.47	0.53	9.19	0.49	0.44	0.55	2.53	0.40	2.59		0.46	0.46	4.13
1000		0.47	0.47	0.54		0.49	0.44	0.56	3.13	0.40	3.22		0.46	0.46	5.17

FILTRERINGSINDEX

OMVÄND OSMOS

Ringhals

Filtrerat ml/ml	880517	880526	880601	880616	880622	880622	880629	880702	880713	880721	880825	880826	880907	880914	880922	881103	881214
200/100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	1,02	1,00	1,02	1,00	1,00	1,02	1,02
300/100	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,00	1,02	1,00	1,00	1,04	1,04
400/100	1,00	1,00	1,02	1,02	1,00	1,00	1,03	1,00	1,00	1,03	1,05	1,00	1,02	1,00	1,00	1,07	1,07
500/100	1,04	1,00	1,02	1,02	1,00	1,00	1,03	1,00	1,00	1,00	1,07	1,00	1,02	1,00	1,00	1,07	1,07
600/100	1,04	1,00	1,02	1,02	1,00	1,00	1,03	1,00	1,00	1,00	1,07	1,00	1,02	1,00	1,02	1,07	1,04
700/100	1,04	1,00	1,02	1,04	1,00	1,00	1,05	1,00	1,00	1,00	1,10	1,02	1,02	1,02	1,02	1,09	1,07
800/100	1,04	1,00	1,02	1,04	1,00	1,00	1,05	1,00	1,00	1,03	1,12	1,02	1,02	1,05	1,02	1,09	1,09
900/100	1,04	1,00	1,04	1,04	1,00	1,00	1,08	1,00	1,00	1,03	1,14	1,05	1,02	1,05	1,02	1,11	1,09
1000/100	1,04	1,00	1,04	1,04	1,00	1,00	1,08	1,00	1,00	1,05	1,14	1,02	1,02	1,05	1,02	1,11	1,11

FILTRERINGSINDEX

INKOMMANDE VATTEN (Gemensamt för samtliga utrustningar)

Ringhals

Filtrerat ml/ml	880517	880526	880527	880601	880616	880622	880622	880629	880702	880713	880721	880825	880826	880922	881103	881215
200/100	1,36	1,29	1,23	1,23	1,22	1,34	1,33	1,10	1,24	1,26	1,17	1.32	1,41	1,52	1,87	1,40
300/100	1,79	1,56	1,71	1,49	1,53	1,55	1,62	1,23	1,45	1,45	1,37	1,57	1,76	2,25	4,42	1,90
400/100	2,21	1,89	1,88	1,76	1,89	1,78	1,83	1,39	1,64	1,63	1,59	1,89	2,19	4,19		2,51
500/100	3,14	2,13	2,12	2,13	2,33	2,05	2,08	1,52	1,81	1,85	1,81	2,19	2,78			3,77
600/100	5,00	2,42	2,41	2,64	3,03	2,26	2,33	1,70	2,02	2,02	2,02	2,65				6,42
700/100	10,07	2,61	2,61	3,44	4,25	2,55	2,55	1,85	2,16	2,26	2,29	3,40	4,62			
800/100		2,90	3,65	4,94		2,84		2,02	2,36	2,52	2,59	4,65	6,24			
900/100		3,14		7,99		3,21	3,03	2,15	2,55	2,79	3,05	6,73	9,03			
1000/100		3,63				3,66	3,37	2,34	2,79	3,11	3,67	10,40				

TOC-halt i vattenprov uttagna från dejonattanken och efter försöksutrustningarna

	TOC, ppb			
Datum	Dejonat	Jonbytare	UF	RO
880520	165	87	54	42
880610	140	65	64	34
880705	135	98	-	34
880818	163	67[1])	-	46
880818	161	84	-	49
880905	140	60	42	21
880905	130	63	47	19
880923	168	117	54	22
880923	158	114	55	18
881003	149	26[1])	31	5
881003	152	28	34	7
881123	153	135	44	20
881123	165	138	45	16
881216	138	-	41	13
881216	159	-	36	11

Jonbytarens kapacitet är överskriden 880923.
Jonbytesfiltret innehåller ny massa 881003.

UF- och RO-membranen är syratvättade 881003.

1) Byte av jonbytare

4 062

UF - DRIFTDATA

Ringhals

Hålfibermembran

Datum	Inkommande m^3	Diff. tryck bar	Temp. °C	Flöde l/h			Spolning
				Permeat	Konc.	Loop	
880511	0	1,3	14	195	100	510	Ytspolning
880517	55	1,3	16	135	90	500	5 sek/2 min
880520	74	1,3	14	120	90	510	"
880526	109	1,4	15	100	90	530	"
880530	132	1,4	16	100	90	540	"
880531	136	1,7	17	120	100	620	"
880601	142	1,8	17	120	100	640	"
880610	196	1,9	17	100	90	650	"
880616	229	1,9	18	100	90	640	"

UF - DRIFTDATA

Ringhals

Spirallindat membran

Datum	Inkommande m^3	Tryck bar	Temp. °C	Flöde l/h			Spolning
				Permeat	Konc.	Loop	
880826	0	4,0	21	530	100	320	Ytspolning
880831	38	4,3	21	400	100	320	1 sek/10 min
880905	88	4,0	21	240	100	360	"
880907	105	4,3	21	250	110	360	"
880914	160	4,3	21	210	120	360	"
880922	217	2,9	21	130	<100	380	"
880923	222	4,0	20	180	115	360	"
880929	264	3,7	20	155	110	350	"
880930	MEMBRANET TVÄTTAT						
880930	0	4,0	20	375	100	310	Ytspolning
881003	28	4,3	19	240	100	370	2 sek/5 min
881007	59	3,9	19	190	100	370	"
881014	111	4,0	19	150	100	370	"
JUSTERING AV UTRUSTNINGEN							
881021	0	4,7	17	240	300	1160	Ytspolning
881025	31	4,0	18	170	100	1160	2 sek/5 min
881103	89	4,5	18	150	110	1160	"
881108	119	4,0	17	110	100	1180	"
881110	0	6,5	17	170	140	1180	Ytspolning
881118	57	8,0	18	220	100	1100	2 sek/5 min
881123	96	8,8	16	200	<100	1100	"
881124	103	8,2	16	180	100	1100	"
881201	177	8,1	11	160	250	1070	"
881201	MEMBRANET TVÄTTAT						

UF - DRIFTDATA

Ringhals

Spirallindat membran

Datum	Inkommande m^3	Tryck bar	Temp. °C	Flöde l/h			Spolning
				Permeat	Konc.	Loop	
881201	0	8,0	11	550	100	1100	Ytspolning
881202	9	8,8	14	350	<100	1150	2 sek/5 min
881203	20	8,8	15	320	<100	1150	"
881209	82	9,1	15	300	<100	1150	"
881214	129	8,3	15	240	<100	1150	"
881216	145	8,3	15	220	<100	1150	"

FILTRERINGSINDEX

ULTRAFILTRERING

Ringhals

	Hålfibermembran			Spirallindat membran				
Filtrerat ml/ml	880517	880526	880601	880831	880907	880914	880922	881103
200/100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00	1,02	1,02
300/100	1,02	1,00	1,00	1,00	1,02	1,02	1,02	1,02
400/100	1,02	1,00	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
500/100	1,04	1,00	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
600/100	1,02	1,00	1,05	1,04	1,02	1,02	1,02	1,04
700/100	1,02	1,00	1,02	1,04	1,02	1,02	1,02	1,04
800/100	1,02	1,00	1,05	1,04	1,02	1,02	1,02	1,04
900/100	1,02	1,00	1,05	1,07	1,02	1,02	1,02	1,04
1000/100	1,02	1,00	1,05	1,07	1,02	1,02	1,02	1,07

JONBYTARE - DRIFTDATA

Ringhals

Datum	Inkommande m^3	Flöde l/h	Tryck bar	Anm.
880511	0	39	1,8	Enbart anjonmassa,
880517	6	37	1,8	8 liter
885020	9	40	2,1	
880530	18	39	2,1	
880531	19	80	1,6	
880601	20	80	1,5	
880616	49	77	1,6	
880622	61	80	1,8	
880622	62	160	1,9	
880629	88	158	2,2	
880702	100	160	2,1	
880705	111	145	1,9	
880713	141	160	2,2	
880721	166	82	2.1	
880816	0	80	2,0	Blandad anjonmassa
880818	4	80	2,0	5,5 liter och katjonmassa
880825	17	80	2,0	2,5 liter
880825	17	120	2,0	
880825	18	160	2,0	
880826	19	40	1,9	
880831	29	80	1,7	
880905	38	80	2,0	
880907	42	80	1,7	
880914	55	85	1,8	
880922	71	77	1,8	
880923	73	85	1,9	
880930	0	80	2,0	Blandbäddmassa,
881003	5	40	2,0	8 liter
881004	7	84	2,0	
881014	26	80	2,2	
881025	48	80	2,3	
881103	65	75	2,0	
881114	86	84	2,0	
881123	104	80	2,0	

FILTRERINGSINDEX

JONBYTARE - ENBART ANJONMASSA

Ringhals

Filtrerat ml/ml	880517 40 l/h	880601 80 l/h	880616 80 l/h	880622 80 l/h	880622 160 l/h	880629 160 l/h	880702 160 l/h	880713 160 l/h	880721 160 l/h
200/100	1,00	1,02	1,02	1,20	1,15	1,13	1,11	1,28	1,09
300/100	1,00	1,04	1,04	1,35	1,27	1,24	1,21	1,36	1,19
400/100	1,00	1,04	1,07	1,53	1,42	1,30	1,30	1,62	1,30
500/100	1,02	1,04	1,09	1,63	1,52	1,39	1,38	1,82	1,40
600/100	1,02	1,06	1,11	1,69	1,58	1,48	1,45	2,08	1,53
700/100	1,06	1,06	1,13	1,88	1,67	1,50	1,53	2,33	1,70
800/100	1,09	1,08	1,16	2,10	1,73	1,57	1,57	2,59	1,85
900/100	1,13	1,10	1,16	2,24	1,81	1,63	1,62	2,93	2,06
1000/100	1,15	1,12	1,16	2,41	1,88	1,70	1,68	3,31	2,25
m^3 från start	6	20	49	61	62	88	100	141	166

ÅF-ENERGIKONSULT

FILTRERINGSINDEX

JONBYTARE - BLANDBÄDD

Ringhals

Filtrerat ml/ml	880825 80 l/h	880825 120 l/h	880825 160 l/h	880826 40 l/h	880831 80 l/h	880907 80 l/h	880914 80 l/h	880922 80 l/h
200/100	1,02	1,00	1,00	1,00	1,02	1,29	1,29	1,36
300/100	1,05	1,02	1,00	1,00	1,02	1,39	1,50	1,59
400/100	1,05	1,02	1,00	1,00	1,04	1,59	1,66	1,85
500/100	1,02	1,02	1,00	1,00	1,06	1,77	1,81	2,07
600/100	1,05	1,02	1,00	1,00	1,07	1,92	2,00	2,36
700/100	1,02	1,02	1,00	1,00	1,11	2,08	2,17	2,70
800/100	1,02	1,02	1,00	1,00	1,11	2,23	2,38	3,14
900/100	1,02	1,02	1,00	1,00	1,11	2,39	2,55	3,83
1000/100	1,02	1,02	1,00	1,00	1,13	2,69	2,79	4,80
m^3 från start	17	17	18	19	29	42	55	71

VATTENANALYSER

TOC

Pilot plant försök

TOC-halten i värmebehandlade vattenprov uttagna från dejonattanken och efter försöksutrustningarna.

	TOC, ppb			
Datum	Dejonat	Jonbytare	UF	RO
880520	146	58	73	106
880610	120	62	68	49
880705	120	106	-	73
880818	124	33	-	54
880818	115	57	-	43
880905	80	50	32	33
880905	95	58	33	19
880923	49	57	29	18
880923	37	30	18	12
881003	-	22	-	15
881003	-	23	-	13
881123	63	48	27	18
881123	58	40	31	25

VATTENANALYSER

Klorid

Pilot plant försök

Kloridhalten i vattenprov uttagna från dejonattanken och efter försöksutrustningarna.

	Cl^-, ppb							
Datum	Dejonat		Jonbytare		UF		RO	
	A	B	A	B	A	B	A	B
880520	0.6	2.8	<0.2	1.9	4.1	2.4	0.8	2.2
880610	-	11.3	-	2.7	-	3.9	-	0.7
880705	<0.2	0.9	<0.2	0.3	-	-	<0.2	<0.2
880818	<0.2	0.4	<0.2	<0.2	-	-	<0.2	1.9
880818	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	-	-	<0.2	<0.2
880905	<0.2	0.6	<0.2	0.3	<0.2	0.4	<0.2	1.4
880905	0.2	2.7	<0.2	1.5	<0.2	7.4	<0.2	1.8
880923	<0.2	3.2	1.6	1.4	0.6	7.5	<0.2	1.2
880923	<0.2	2.0	0.5	1.8	0.2	2.0	<0.2	1.1
881003	1.7	-	1.3	0.6	0.6	-	0.9	4.1
881003	1.7	-	0.5	0.7	0.6	-	0.3	0.6
881123	0.3	1.3	<0.2	1.3	0.4	1.2	<0.2	1.9
881123	0.6	1.8	<0.2	1.4	0.8	1.0	<0.2	0.7

A = obehandlade prov.
B = värmebehandlade prov.

VATTENANALYSER

Sulfat

Pilot plant försök

Tabell 4

Sulfathalten i vattenprov uttagna från dejonattanken och efter försöksutrustningarna.

	SO_4^{2-}, ppb							
Datum	Dejonat		Jonbytare		UF		RO	
	A	B	A	B	A	B	A	B
880518	1.9	5.4	<0.2	5.0	13.4	11.5	2.0	3.8
880610	-	12.8	-	11.2	-	6.7	-	4.6
880705	1.6	4.3	0.8	3.7	-	-	2.1	5.2
880818	1.8	10.4	1.7	5.3	-	-	0.4	5.4
880818	1.4	7.2	<0.2	5.5	-	-	0.4	7.7
880905	2.5	7.8	1.5	2.2	3.1	6.1	1.8	2.6
880905	3.0	7.1	1.0	2.4	1.0	3.7	<0.2	2.2
880923	2.7	5.2	0.6	2.2	<0.2	5.3	<0.2	2.2
880923	1.0	5.0	1.4	2.3	<0.2	2.6	<0.2	2.5
881003	2.6	-	<0.2	<0.2	0.8	-	0.9	2.6
881003	2.5	-	<0.2	<0.2	<0.2	-	0.3	<0.2
881123	<0.2	10.4	<0.2	6.0	<0.2	2.6	<0.2	5.3
881123	<0.2	7.1	<0.2	6.3	<0.2	2.7	<0.2	8.6

A = obehandlade prov.
B = värmebehandlade prov.

VATTENANALYSER

Acetat och formiat

Pilot plant försök

Acetat- och formiathalten i värmebehandlade vattenprov uttagna från dejonattanken och efter försöksutrustningarna.

	Acetat och formiat, ppb							
Datum	Dejonat		Jonbytare		UF		RO	
	A	B	A	B	A	B	A	B
880610	16.7	4.8	8.5	3.2	9.7	3.4	6.1	2.4
880818	19.7	4.0	6.2	2.3	-	-	5.2	5.5
880818	19.7	6.4	2.6	2.4	-	-	4.8	3.2
880905	28.8	7.0	15.6	4.9	8.8	1.7	13.3	5.2
880905	9.2	4.3	14.0	4.3	15.6	21.2	11.4	5.9
881123	21.3	53.3	29.8	12.2	4.4	2.7	4.3	<1
881123	20.7	17.8	16.3	7.3	6.6	5.5	1.9	<1

A = acetat.
B = formiat.

VATTENANALYSER

Sammanfattande resultat

Pilot plant försök

	Dejonat	Jonbytare	UF	RO
		ppb		
	Obehandlade prov			
TOC	151	54	43	22
Cl^-	0.5	0.4	0.5	0.2
SO_4^{2-}	1.8	0.8	0.7	0.3
	Värmebehandlade prov			
TOC	82	42	28	30
Cl^-	1.5	0.5	1.2	1.1
SO_4^{2-}	7.2	2.8	3.8	2.5

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk Forskning och utveckling. Stiftelsens forskningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Kraftverksföreningens utvecklingsstiftelse, VAST
- Statens Vattenfallsverk
- Studsvik Energiteknik AB
- Svenska Cellulosa- och Pappersbruksföreningen/Ångpanneföreningen
- Svenska Gasföreningen
- Svenska Värmeverksföreningen
- Tillverkande Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Råd för Byggnadsforskning (BFR), Statens Energiverk och Styrelsen för Teknisk Utveckling.

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 6495 · 113 82 STOCKHOLM · TEL: 08 / 34 09 80