



**Linnéuniversitetet**  
Sjöfartshögskolan

Sjöingenjörsprogrammet  
Självständigt arbete

## Kylvattenbehandling

*En studie av olika korrosionsskydd för kylvattensystem till marina dieselmotorer*

Anton Tranvik och Jonathan Wewel  
2019-08-25  
Sjöingenjörsprogrammet  
Självständigt arbete  
15hp  
1SJ51L

Linnéuniversitetet

Sjöfartshögskolan i Kalmar

Utbildningsprogram:	Sjöingenjörsprogrammet
Arbetets omfattning:	Självständigt arbete om 15hp
Titel:	Kylvattenbehandling
Författare:	Jonathan Wewel och Anton Tranvik
Handledare:	Joakim Heimdahl

### Abstrakt

Kylvatten används för att kyla framdrivningsmaskineri och övrig utrustning med kylbehov ombord på fartyg. För att förhindra rost i den utrustning som skall kylas, måste kylvattnet behandlas. Som rostskydd används idag kemikalier. I samband med byte av kylvattnet, hamnar dessa kemikalier ofta i havet, vilket leder till negativ miljöpåverkan.

I detta examensarbete har möjligheten att använda kemikaliefri vattenbehandling istället för kemikalier som rostskydd i system med vattenburen värmeöverföring undersökts. Kontakt med olika företag och en intervju med personal på ett fartyg med installerad elektromagnetisk vattenbehandlingsutrustning har gett information för undersökningen. Vi har också gjort egna mätningar på vatten i värmesystem med avjoniseringsutrustning och på tekniskt vatten behandlat med kemikalier. Mätningarna har använts för att undersöka hur vattnet påverkas av dessa behandlingsmetoder.

Denna undersökning har inte resulterat i något entydigt svar på om kemikaliefri vattenbehandling kan ersätta kemikalier i kylvattnet till ett fartygs framdrivningsmaskineri, men visat att det är ett möjligt alternativ för mindre slutna system.

Nyckelord:

Tekniskt vatten, Kylvatten, Elektromagnetisk vattenbehandling, Korrosionsskydd, Kylvattenkemikalier.

Linnaeus University

Kalmar Maritime Academy

Degree course: Marine Engineering  
Level: Diploma Thesis, 15 ETC  
Title: Cooling water treatment  
Author: Jonathan Wewel and Anton Tranvik  
Supervisor: Joakim Heimdahl

### Abstract

Cooling water is used to cool the main engines and other equipment that require cooling on the ship. The cooling water must be treated to prevent corrosion in the equipment being cooled by it. This is done using chemicals. The chemicals often end up in the sea with the cooling-water as it is changed, which impacts the environment negatively.

In this paper we have researched the possibility of using chemical free water treatment instead of chemicals to prevent corrosion in systems that use water to transfer heat. By contacting various companies and interviewing crew members on a ship which uses de-ionizing equipment we gathered information for this study. We have also done our own measurements on water from heating systems with electromagnetic chemical free water treatment equipment and on industrial water treated with chemicals, which we then used to study how the treatment methods impact the water.

The study has not resulted in a conclusive answer as to whether chemical free water treatment can replace the chemicals in cooling-water used in ships main engines or not, but that it is a viable alternative for smaller enclosed systems.

### Keywords:

Industrial-Water, Cooling-water, Electromagnetic water treatment, Corrosion prevention, Cooling-water-chemicals.

## Förord

Detta arbete hade inte kunnat utföras utan hjälp av Bauer Watertechnology AB som har varit mycket tillmötesgående. Bauer Watertechnology AB har omfattande dokumentation som visar att deras teknologi förhindrar korrosion där den installerats, och denna dokumentation utgör grunden för detta arbete. Ett tack riktas till AS Tallink Grupp och Henn Roos som visat och förklarat hur elektromagnetisk vattenbehandlingsutrustning ser ut ombord på ett fartyg, samt Ernest Ogorodnikovs som översatte denna förklaring till engelska. Vi tackar även BRF Holmgård 1 Huddinge, som erbjudit tillgång till ett värmesystem utrustat med en pipejet från Bauer Watertechnology AB. Tack vare dem har arbetet kunnat kompletteras med egna mätningar för att kontrollera funktionen hos en pipejet. Ett tack riktas också till Nynas AB för tillgång till laboratorium med utrustning för att utföra noggranna konduktivitetmätningar.

## Definitioner och förkortningar

**Tekniskt vatten:** Färskvatten som används för att kyla ned en maskin, och som vätska i ångsystem eller annan teknisk utrustning.

**Kylvattenkemikalier:** Kemikalier som tillsätts i kylvatten för att motverka korrosion och beläggningar i kylvattensystemet.

**Jon:** Atom med för få eller för många elektroner i sitt yttre elektronskal.

**Avjonisering av vatten:** Behandling som minskar förekomsten av joner i vatten och som därigenom tar bort dess ledande förmåga och korrosiva egenskaper.

**μS:** Microsiemens, enhet med vilken en vätskas ledningsförmåga kan mätas.

## Innehållsförteckning

1. Inledning .....	1
1.1. Bakgrund .....	1
1.2. Syfte .....	3
1.3. Frågeställning .....	3
1.4. Avgränsning.....	3
2. Kylvattenbehandlingsmetoder .....	3
2.1. Elektronisk vattenrening .....	3
2.2. Kemiskt rostskydd .....	4
2.3. Galvaniskt rostskydd .....	4
3. Metod.....	4
3.1. Metod för insamling av bakgrundsfakta .....	4
3.2. Metod för insamling av data .....	5
3.3. System som mätningar utförts på.....	5
3.4. Genomförande av egna mätningar.....	5
3.5. Etik .....	10
4. Resultat .....	11
4.1. Konduktivitet.....	11
5. Diskussion.....	12
5.1. Metoddiskussion.....	12
5.2. Resultatdiskussion .....	12
6. Slutsatser .....	15
6.1. Miljö .....	15
6.2. Ekonomi.....	16
7. Referenser .....	17

# 1. Inledning

## 1.1. Bakgrund

På sjön betyder korrosionsskydd i allmänhet skydd av fartygets skrov, eftersom korrosionsangrepp på fartygens utsida är ett problem inom sjöfarten. Risk för korrosion förekommer dock överallt, där metall kommer i kontakt med vatten. Ett ställe där vatten och metall möter varandra är i fartygs kylsystem.

Idag behandlas kylvatten ombord på fartyg med kostsamma, giftiga kemikalier. Under senare tid har flera företag börjat utveckla metoder för behandling av tekniskt vatten med kemikaliefria vattenbehandlingssystem. Dessa system använder elektrokemisk avjonisering eller elektromagnetisk behandling av vattnet, vilken förhindrar beläggningar och avlagringar där de installeras.

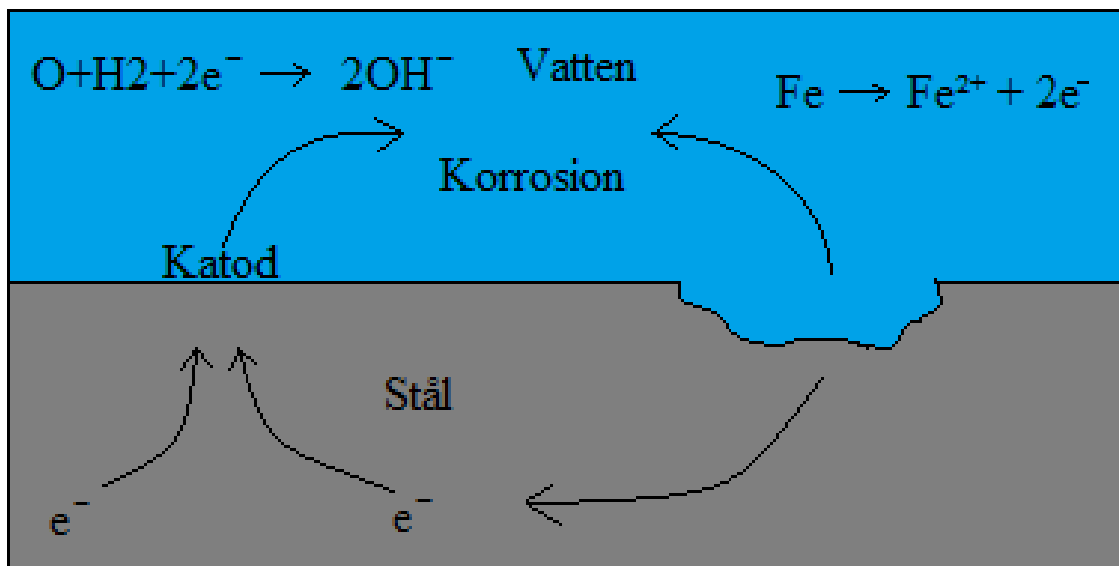
Tekniskt vatten används bland annat för att kyla ned en maskin, i värmesystem, eller som energibärare i ett ångsystem. Det är renat färskvatten för annat syfte än att dricka, som oftast produceras ombord på fartyget. Tekniskt vatten ska vara så rent som möjligt, till skillnad från det vatten som används till dryck och matlagning, som måste innehålla mineraler och salter för att undvika att besättningen får mineralbrist. Dricksvatten tillgodoser ca tre procent av det dagliga behovet av kalcium och två procent av behovet av magnesium för en människa. (Wulf Becker, 2016-04-11) Tekniskt vatten används oftast för att utföra värmetransport i rör och i utrustning av stål. För att förhindra korrosion och beläggningar måste tekniskt vatten därför behandlas, vilket i nuläget framför allt sker med kemikalier. (Karl Moe, 2015) Dessa kemikalier hanteras av de personer som håller anläggningen i drift, vilket medför att de riskerar att exponeras för hälsovådliga ämnen. Kemikalier är dessutom en löpande kostnad för rederierna.

Bauer - Watertechnology AB är ett av de företag som erbjuder alternativ till kemikalier för att motverka korrosion och beläggningar i värmesystem. De har konstruerat en metod för fysikalisk elektromagnetisk vattenbehandling. (<http://www.bauer-wt.com/swe/losningar/#>, <http://elysator.com/sv/>, <http://www.avjonisering.se/>)

En teoretisk jämförelse med avseende på vattenkvalitet och driftskostnad i förhållande till vattenmängd i system som använder kemikalier och i system som använder elektromagnetisk

vattenbehandling skulle ge sjöfarten vägledning i hur tekniskt vatten på fartyg skulle kunna behandlas i framtiden. Strukturerad information skulle kunna hjälpa rederier att fatta beslut i frågan om möjligheter och fördelar med att ersätta kostsamma och giftiga kemikalier med renare teknologi. Den skulle även kunna visa om denna teknologi kan uppfylla kraven på vattenkvalitet i den krävande miljön ombord på ett fartyg. Det tekniska vattnet på ett fartyg måste innehålla tillräckligt med kemikalier eller vara så avjoniserat att korrosion och beläggningar motverkas. Samtidigt skall vattenkvaliteten kunna bibehållas över tid. Temperaturväxlingarna i ett kylvattensystem gör att vattnet tar upp korrosivt syre, vilket försämrar vattenkvaliteten och leder till korrosion. När vatten kyls ner, ökar dess förmåga att ta upp gaser, vilket gör att vatten som går från varmt till kallt suger åt sig syre från luften. (Elysator engineering water, 2018)

Korrosion uppstår när det på molekylnivå bildas små anoder i metallens yta som avger  $Fe^{2+}$ -joner, samtidigt som löst syre i vattnet bildar  $OH^-$ -joner med hjälp av vattnet och de elektroner metallen avger. Dessa joner bildar tillsammans  $Fe(OH)_2$ , det vill säga rost. (Ahmad, 2006) (Francis, 2000) Sänkt ledningsförmåga hos vattnet avbryter korrosionsprocessen, genom att hindra elektroner från att binda sig till syret och vattnet. Korrosion uppstår alltså i en så kallad korrosionscell med en katod där metallen avger elektroner till en ledande elektrolyt och en anod där positiva joner lossnar från metallen. (Bertil Sandberg, 2015)



Figur 1.1.1 visar korrosionsförloppet hos en bit stål i vatten.



## 1.2. Syfte

I detta examensarbete har undersökningar gjorts för att ta reda på om elektromagnetisk vattenbehandling ger lika gott korrosionsskydd som kemisk vattenbehandling.

Undersökningar för att ta reda på om avjonisering är möjlig att tillämpa för sjöfarten, samt om det är en rimlig investering med avseende på ekonomi och miljö har också gjorts.

## 1.3. Frågeställning

Ger elektromagnetisk vattenbehandling lika god vattenkvalitet med avseende på korrosionsskydd som kemikaliebehandling av tekniskt vatten?

## 1.4. Avgränsning

Avgränsning har gjorts till företagen Bauer - Watertechnology AB, Elysator Engineering AG och Drew Marine, vilka tillhandahåller produkterna Pipejet, Elysator Trio, Amerzine®, Drewplex AT och Liquidewt, vilka varit föremål för undersökningen. Hänsyn har tagits till miljöaspekter både vad gäller användning av kemikalier och den ström som avjoniseringen förbrukar. Undersökningens fokus har legat på de olika produkternas prestation.

Examensarbetets omfattning är för liten för att motivera resurskrävande experiment och därför har vi främst sökt fakta i litteratur. De egna mätningarna har genomförts utan att ta personliga resurser i anspråk.

## 2. Kylvattenbehandlingsmetoder

### 2.1. Elektronisk vattenrening

I detta arbete har vi tagit reda på vilka egenskaper elektronisk vattenbehandling har; specifikt elektromagnetisk neutralisering av joner i system som använder vatten för att utföra sin uppgift. Elektronisk vattenreningen fungerar genom att joner neutraliseras och partiklar samlas upp i ett delflödesfilter. På sin väg genom systemet slår partiklarna även loss befintliga avlagringar från rörens insida och renar därmed systemet från tidigare beläggningar. Att jonerna i vattnet neutraliseras får som effekt att den elektrolyt som krävs för att korrosion skall uppstå inte längre leder ström, då alla elektronskal redan är mättade. Som redogjorts för i stycke 1.1 bygger korrosionsförloppet på att elektrolyten kan ta upp elektroner från metallen, vilket inte sker om elektrolyten inte längre är ledande.

## 2.2. Kemiskt rotskydd

I vattenburna system är kemiskt rotskydd i allmänhet inhibitorer. En inhibitor är ett ämne som binder sig till andra ämnen och därigenom blockerar deras möjlighet att binda sig. På detta sätt binder sig kemikalier till ytan på metallen i systemet och förhindrar att den reagerar med vattnet. Man tillför alltså joner i systemet som binder sig till metallens anoder och katoder och sedan stannar där. Dessa stabila bindningar är starkare än de som skulle kunna uppstå med de ledande vattenmolekylerna och därigenom bryts det första steget i korrosionsprocessen då  $\text{Fe}^{2+}$  binder sig till molekyler från kemikalierna istället för till syre löst i vattnet. (Francis, 2000)

## 2.3. Galvaniskt rotskydd

En annan metod för att förhindra korrosion är galvaniskt rotskydd. Det är en av de absolut vanligaste metoderna för att skydda metall från korrosionsangrepp. Det vanligaste sättet idag är att använda zink för att galvaniskt skydda stål. Det innebär att man täcker metallen som skall skyddas med zink, vilken sedan reagerar med omgivningen och bildar en korrosionstålig yta över stålet. Om denna yta skulle skadas fungerar zink som en offeranod där korrosionen tvingas angripa lagret av zink innan stålet därunder börjar rosta. Zink används dock sällan i kylsystem. En lämpligare metod vid höga temperaturer för galvaniskt skydd är Elysator Trio. Produkten tillverkas av Elysator Engineering AG och är en anod av magnesium som tvingar syret i vattnet att binda sig till den, istället för att reagera med den övriga metallen i systemet. På detta sätt skapas en rostsäker miljö, där vattnet har låg ledningsförmåga, låg syrehalt och högt pH. Metoden innebär alltså att en så kallad offeranod installeras.

## 3. Metod

### 3.1. Metod för insamling av bakgrundsfakta

Till arbetet har vi samlat in bakgrundsinformation med hjälp av sökorden rost, rotskydd, korrosion, korrosionsskydd, kylvatten, kylvattenbehandling och avjonisering. Även de engelska sökorden: corrosion, cooling water, cooling water treatment, de-ionized water har använts.

### 3.2. Metod för insamling av data

Vi har kontaktat olika leverantörer, samt hämtat information från deras hemsidor. Vidare har doseringsinstruktioner för kemikalier studerats, samt flödeskapacitet hos avjoniseringsmaskiner. För arbetet har konduktivitetmätning genomförts på vatten behandlat med fysikalisk elektromagnetisk vattenbehandling och vatten behandlat med kemikalier. Vi har också besökt ett fartyg med installerad elektromagnetisk vattenbehandling och intervjuat besättningen.

### 3.3. System som mätningar utförts på

#### System 1

System 1 är ett vattenburet system som används för att värma upp 43 lägenheter i bostadsrättsföreningen Holmgård 1. I en värmeväxlare överförs värme från områdets fjärrvärmenät till systemets eget vatten. Vattnet i systemet pumpas sedan runt till radiatorer vilka värmer upp de olika lägenheterna.

#### System 2

System 2 är en tank med tekniskt vatten från ett fartyg, där vattnet i tanken är havsvatten som passerat igenom en evaporator.

#### System 3

System 3 är reheat-systemet ombord på M/S Romantika. En värmeväxlare överför värme från fartygets ångsystem till vattnet i reheat-systemet, vilket pumpas till en mängd olika värmeväxlare. Det används för att värma upp luften som cirkulerar i fartygets inredning som en del av fartygets luftkonditionering.

### 3.4. Genomförande av egna mätningar

Här presenteras vald beräkningsgrund för egna konduktivitetmätningar. De anläggningar som mätningar utfördes på var i drift då proverna togs. För att inte orsaka alltför stora störningar valdes att endast byta en mindre mängd vatten i system 1, så att dess funktion inte skulle störas. Från de andra två systemen togs endast ett vattenprov.

System 1, där prover togs, är utrustat med en pipejet från Bauer Watertechnology AB. För att kontrollera förmågan att behandla vatten tappades 5% av vattenvolymen ut ur systemet och ersattes med obehandlat vatten. Sedan kontrollerades konduktiviteten med jämna mellanrum under en timme och ett resultat på hur utrustningen presterar togs fram. Detta gjordes för att kontrollera hur en pipejet sänker konduktiviteten i realtid.

Till grund för beräkningarna användes *Flamco Kärberäkning för värmesystem*. (Flamco, 2015) Flamco erbjuder i detta dokument hjälp för att beräkna hur stort ett expansionskärl måste vara i förhållande till övriga parametrar i systemet. Då expansionskärlens volym är känd användes den i kombination med pannans effekt, temperaturförändringen och typen av radiatorer för att uppskatta systemets volym.

#### **Värden innan första experimentets början:**

- Obehandlat vatten 128,9  $\mu\text{S}$
- Behandlat vatten från värmesystemet 74,5  $\mu\text{S}$

#### **Beräkningar:**

Kända och uppskattade värden för beräkning av värmesystemets vattenvolym.

$P_{\text{max}}$  (fjärrvärmepannans maximala effekt enligt märkplåten) = 212,8 kw

Konstant för Kolonn-Radiatorer (vattenelement) = 8,8 (den beräknas vara något högre för äldre system därför användes 10 för att utföra beräkningarna)

- Genomsnittstemperatur beräknad på vatten ut från pannan och det kalla returvattnet från radiatorerna =  $(60^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C})/2 = 70^{\circ}\text{C}$
- Expansion vid given medeltemperatur enligt Flamco = 2,25% (25% extra expansionsutrymme skall användas som marginal)
- Anläggningens maxhöjd (hur högt toppen på det översta elementet befinner sig över pannan och dess pump och expansionskärl) = ca 15m = 1,5 bar statiskt övertryck vilket är rimligt, då trycket i expansionskärl skall vara minst det statiska trycket + 1,5 bar det vill säga 3 bar. (Flamco, 2015)

- Tryck vid expansionskärl avläst på expansionskärls manometer = 3 Bar övertryck

Dessa parametrar och konstanter ger oss följande beräkningar:

- Pmax \* Konstanten från vattenradiatorer = 2128 liter 212,8 kw \* 10 = 2128 L
- 2128 liter \* 2,25% = 47,88 liter  
(2,25 % av 2128) 2128 L \* 0,0225 = 47,88 L
- Den ökade volymen på grund av expansion (47,88 liter) + 25% = ca 60 liter 47,88 \* 1,25 ≈ 60 L

Nyttoeffekt från trycket (beräknas med absoluttryck, atmosfärstryck 1 bar används)

$$\text{Nyttoeffekt från trycket} = \frac{\text{Aktuellt tryck i kärlet} - \text{förtrycket från höjden av anläggningen}}{\text{aktuellt tryck i kärlet}}$$

$$\frac{(3+1)\text{bar} - (1,5+1)\text{bar}}{(3+1)\text{bar}} = 0,375$$

Därefter delas volymökningen (47,88 liter + säkerhetsmarginal) med faktorn som motsvarar nyttoeffekten av trycket.

$$60\text{L} / 0,375 = 160\text{ L vilket kräver } 200\text{ L expansionskärl}$$

Det installerade expansionskärlet är på 200 liter vilket betyder att de antagna värdena för beräkningarna stämmer. För att underlätta beräkningarna antas systemet innehåller 2100 liter vatten. Denna vattenmängd är bara en uppskattning, men då vi inte har tillgång till något noggrannare värde, så kommer detta värde användas för att kunna gå vidare med forskningen.

### **Konduktivitetmätningar på system 1 med installerad pipejet:**

Som en ytterligare kontroll av vår antagna volym i systemet beräknas här vad konduktiviteten borde bli efter tillförsel av obehandlat vatten. Konduktiviteten motsvarar koncentrationen av joner i vattnet, så beräkningen för vad konduktiviteten borde vara efter tillförseln av obehandlat vatten, utförs på samma sätt som när man beräknar koncentrationen av ett ämne efter blandning av två vätskor med olika koncentration. Beräkningarna sker enligt principen av denna formel:  $C = n/V = ((C1 \times V1) + (C2 \times V2)/(V1 + V2))$  där C= koncentrationen av n i den blandade vätskan, V=totala volymen efter blandning och C1=koncentrationen i den första vätskan V1= volymen av den första vätskan och C2 och V2 är koncentrationen och volymen

av den andra vätskan. Mängd vatten som byttes ut mot obehandlat kranvatten är 5% av 2100 Liter det vill säga 105 Liter.

- $0,05 * 2100 = 105$  (V1)
- $2100 - 105 = 1995$  (V2)
- $105 \text{ Liter} * 128,9 \mu\text{S} = 13\,534,5$  (V1\*C1)
- $1995 \text{ Liter} * 74,5 \mu\text{S} = 148\,627,5$  (V2\*C2)
- $13\,534,5 + 148\,627,5 = 162\,162$  (C1 x V1) + (C2 x V2)
- $162\,162 / 2100 = 77,2 \mu\text{S}$  ((C1 x V1) + (C2 x V2)/(V1 + V2)) = C
- $77,2 \mu\text{S} =$  Beräknad konduktivitet efter tillförsel av obehandlat vatten.

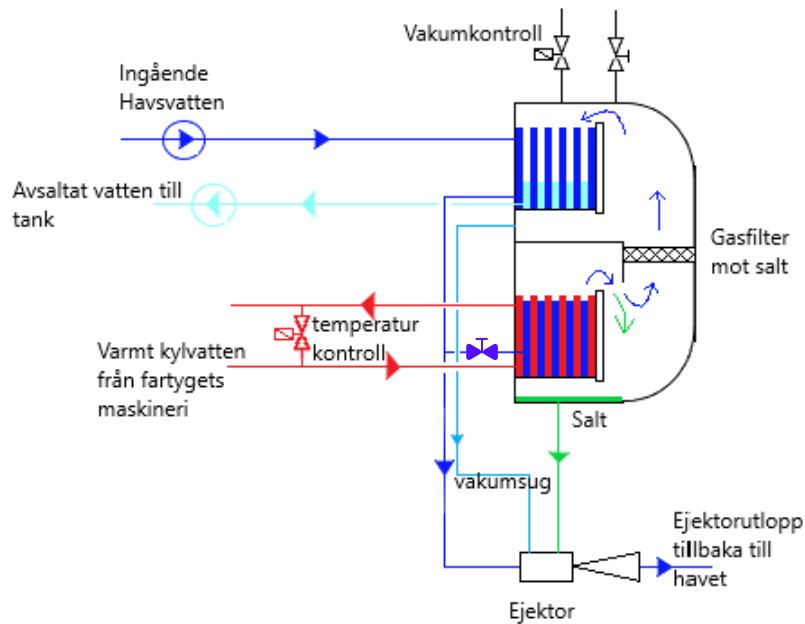
Pumpen i systemet gav vid provtillfället ett flöde på 5,2 m<sup>3</sup>/h, vilket betyder att vattenmängden i systemet passerar genom systemets komponenter ca 2,5 gånger under en timme. En timme anses därför vara tillräckligt med tid för vattnet i systemet att blandas runt och för pipejeten att börja verka. Det motiverar vårt val av att sätta mättiden för vattenprover till en timme.

### **Konduktivitetmätningar på kemikaliebehandlat tekniskt vatten, system 2:**

För att kunna utföra dessa mätningar fick vi tillgång till tekniskt vatten från ett fartyg samt tre av de kemikalier som används för vattenbehandling ombord på detta. Utan tillgång till någon avancerad forskningsutrustning har undersökningen av kemikalierna begränsats till hur kemikalierna påverkar pH-värdet och ledningsförmågan på fartygets tekniska vatten vid korrekt dosering.

Under mätningarna utfördes prov på tekniskt vatten, samt tekniskt vatten där vi tillsatt kemikalier. Detta gjordes för att utreda kompatibilitet med avjonisering och för att ta reda på om det tekniska vattnet har tillräckligt låg ledningsförmåga för att inte orsaka korrosion vid påfyllning av ett system. Det tekniska vattnet är producerat av havsvatten med hjälp av en konventionell evaporator, ett vakuumbärl, där vattnet kokas med hjälp av fartygets kylvatten. Tack vare vakuomet sjunker havsvattnets kokpunkt till en temperatur där kylvattnet, som är under 100°C, kan få det att koka. Ångan som då bildas kondenseras med en kylare i toppen av kärlet och pumpas till fartygets vattentankar.

Nedan visas en bild på hur en vanlig evaporator fungerar.



Figur 3.3.1 visar hur en typisk evaporator ombord på ett fartyg fungerar

### Dosering av kemikalier i provet från system 2:

#### Dosering av Amerzine®

- Amerzine® = 0,15 liter per ton vatten
- 1 ton vatten = 1 m<sup>3</sup>
- 1 m<sup>3</sup> = 1000 liter
- 1000 liter = 10 000 dl
- 0,15 liter = 150 ml
- $\frac{150ml}{10000dl} = 0,015 \text{ ml/dl}$
- Initial dosering av Amerzine® är alltså 0,015 ml per dl  
 $0,015 * 6,66 = 0,0999$  vilket ger ca 0,1 ml per 6,66 dl

#### Dosering av Drewplex AT

- Drewplex AT doseras 2,5 till 5 liter per ton och används ihop med Amerzine®, mätningen utförs på en koncentration motsvarande 3 liter per ton.
- 1 ton vatten = 1 m<sup>3</sup>

- $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter}$
- $1000 \text{ liter} = 10\,000 \text{ dl}$
- $3 \text{ liter} = 3000 \text{ ml}$
- $\frac{3000}{10000} = 0,3 \text{ ml/dl}$
- $0,3 \text{ ml per dl ger } 6,66 * 0,3 = 1,998$  vilket betyder att 2 ml kan doseras i vattenprovet med Amerzine® som fortfarande är 6,66 dl

#### Dosering av Liquidewt

- Liquidewt doseras 8 liter per ton
- $1 \text{ ton vatten} = 1 \text{ m}^3$
- $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter}$
- $1000 \text{ liter} = 10\,000 \text{ dl}$
- $8 \text{ liter} = 8000 \text{ ml}$
- $\frac{8000}{10000} = 0,8 \text{ ml/dl}$
- $\frac{1}{0,8} = 1,25$
- Detta ger 1 ml per 1,25 dl eller 2 ml per 2,5 dl

Med hjälp av dessa beräkningar kunde kemikalierna doseras i en hanterbar mängd vatten, för att kunna mäta konduktiviteten och pH-värdet, samt den påverkan som kemikalierna har på dessa värden.

Från system 3 togs ett vattenprov enbart för att kontrollera systemets aktuella status.

### 3.5. Etik

Företag har kontaktats enligt god forskningssed, vilket innebär att forskningens övergripande mål presenterats och en redogörelse lämnats om var informationen kommer publiceras.

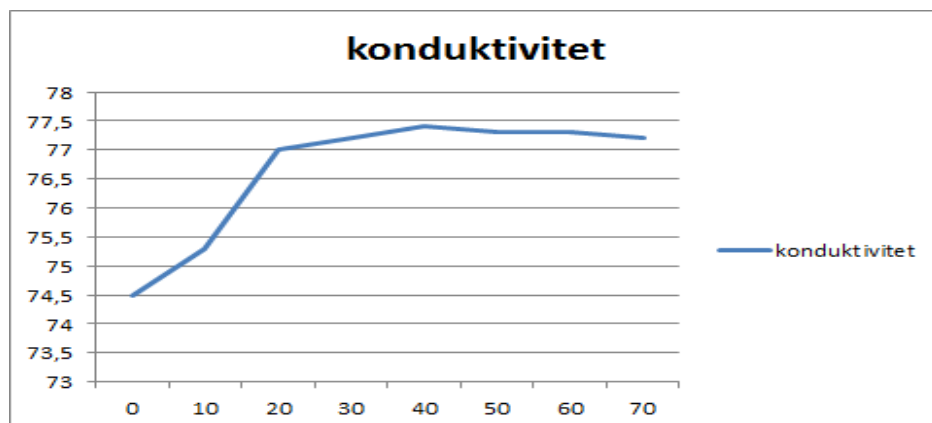
Allmänt tillgängliga produktbeskrivningar har använts och information som redan finns tillgänglig för allmänheten har betraktats som fri att använda. Aktuella priser publiceras inte då de snabbt blir inaktuella och missvisande, istället publiceras information om olika vattenbehandlingsmetoders för- och nackdelar, vilket kan vara till hjälp för alla som behöver investera i någon form av kylvattenbehandlingssystem.



## 4. Resultat

### 4.1. Konduktivitet

Grafen nedan visar konduktiviteten i  $\mu\text{S}$  (micro Simens) i förhållande till tiden i minuter utifrån att 5% av vattnet i system 1 dränerats och ersatts med obehandlat kranvatten. Y-axeln visar  $\mu\text{S}$  och X-axeln minuter.



Figur 4.1.1 är en graf som visar konduktiviteten vid olika tidpunkter efter tillförelse av obehandlat vatten i system 1

Mätningarna på kylvattenproverna system 2 gav följande resultat:

Prov	Ledningsförmåga	pH
Tekniskt vatten	35,8 $\mu\text{S}$	7,67
Amerzine® + Drewplex AT	2630 $\mu\text{S}$	11,32
Liquidewt	765 $\mu\text{S}$	11,61

Mätningar på vattenprovet från M/S Romantika system 3:

Prov	Ledningsförmåga	pH
Reheat vatten	65 $\mu\text{S}$	6,46

## 5. Diskussion

### 5.1. Metoddiskussion

Underlaget från konduktivitetmätningarna som genomfördes på system 1 med ett elektromagnetiskt vattenbehandlingssystem gav inte tillräckligt tydliga resultat för att kunna dra slutsatser om dess effektivitet. Mätningarna skulle ha behövt utföras under en längre tidperiod för att ge tydliga resultat, men vi vet inte under hur lång tid man skulle behövt ta prover.

Resultatet av mätningarna som gjordes på vattenprover med kemikalier system 2 visar att dessa är mycket effektiva för att göra vatten basiskt. De analyser som har utförts är dock alltför grundläggande, för att ge någon djupare förståelse för kemikaliernas prestation.

Vattenprovet från M/S Romantika system 3 togs i en stor flaska, vilken inte fylldes helt. Detta har möjligtvis förorsakat försurning av provet, eftersom vatten tar upp syre när det svalnar. Resultatet av vattenprovet visar att en pipejet kan användas för att förhindra korrosion. Enligt *refrigeration engineer* Henn Roos fungerar metoden även för att lösa problem med igensättningar i vattenburna värmesystem.

Sammanfattningsvis kan konstateras att resultaten av de undersökningar som utförts inom ramen för detta arbete inte är omfattande nog att besvara vår frågeställning. Dessutom ger den information vi haft tillgång till från olika företag och andra skriftliga källor ger inte någon exakt information om hur de olika produkterna presterar.

### 5.2. Resultatdiskussion

Det kan efter vår undersökning om avjonisering konstateras att även om experimentet på system 1 som resulterade i grafen (*Figur 4.1.1*) ovan inte gav några entydiga svar på hur bra systemet presterar, så lyckades spolröret sänka konduktiviteten till 74,5  $\mu\text{S}$ . Den utrustning första undersökningen genomfördes på, installerades på ett tio år gammalt värmesystem, som från början var utan korrosionsskydd. Det installerades även ett delflödesfilter från samma tillverkare, som sedan dess har samlat upp alla rostpartiklar från vattnet. Systemet har dessutom enbart fyllts på med obehandlat kranvatten. Vattenproverna visar att vattnet som innan pipejeten installerades var svart av rostpartiklar numera är lika klart som rent kranvatten

och har avsevärt lägre konduktivitet. Man ser tydligt i början av grafen konduktivitet att konduktiviteten stiger allteftersom kranvattnet blandas med det övriga vattnet i systemet, dock syns ingen tydlig nedgång av konduktiviteten under mätperioden, så effektiviteten hos avjoniseringen kan inte avgöras. Frågan om hur effektivt avjoniseringsutrustningen arbetar får vi alltså inget svar på.

Även pipejeten ombord på fartyget M/S Romantika system 3 är från Bauer Watertechnology AB. Den är installerad på det vattenburna reheat-systemet till fartygets luftkonditionering. Detta system innehåller ca 40 kubikmeter vatten som värms med ånga till mellan 70°C och 80°C och sedan pumpas till fartygets olika luftvärmare. M/S Romantika har 21 luftbehandlingsenheter med ca 100 tillhörande värmeväxlare för kylning och värmning av luft. Värmeväxlarna, som fortfarande används i reheat-systemet, hade tidigare stora problem med beläggningar och partiklar. Dessa minskade värmeöverföringsförmågan och satte igen de silar som är monterade i anslutning till dem. Enligt fartygets *refrigeration engineer* Henn Roos har den installerade pipejeten minskat problemen med igensättningar avsevärt. Under en inledande period, då pipejeten rensade ut många partiklar från systemet, fick delflödesfiltret bytas mycket ofta. Sedan dess har partikelnivåerna sjunkit till så låga nivåer att delflödesfiltret endast behöver bytas halvårsvis. Problem med igensättning i värmeväxlarnas silar har också minskat betydligt, och dessa behöver endast rengöras då en värmeväxels värmeöverföringsförmåga minskar märkbart. En pipejet klarar alltså att skydda stora system som detta. Systemet är mycket tätt och välskött och behöver endast fyllas på om något skulle gå sönder. Enligt Henn Roos har systemet endast behövt fyllas på, då en tub havererat i tubvärmeväxlaren där systemet värms med ånga. Ångans tryck i värmaren är ca 1 bar lägre än systemets vatten i värmaren, vilket får vattnet att läcka in i ångsystemet vid läckage. Henn Roos tror att Bauer Watertechnology AB:s vattenbehandlingssystem skulle kunna användas på fler vattenburna system ombord på fartyg, men att det inte kan användas ihop med kemikalier.

Utifrån de data som samlats in under denna undersökning, kan vi visa att ett elektromagnetiskt vattenbehandlingssystem sänker ledningsförmågan hos vattnet i de system våra mätningar har utförts på. Vår information ger även belägg för att avjonisering kan användas för att lösa

problem med partiklar och igensättningar i slutna system ombord på fartyg. Hur effektivt avjoniseringsutrustningen fungerar och om den kan användas för kylvatten till marina dieselmotorer ger resultaten från vår undersökning inte tillräckligt med underlag för att avgöra. För att få tillräckligt med underlag för att besvara vår frågeställning menar vi att en pilotstudie där en pipejet installeras på ett fartygs kylsystem skulle behöva göras. Vidare forskning skulle också kunna inkludera fartygs ångsystem, vilka också är vattenburna värmeöverföringssystem, som behandlas med kemikalier. Ångsystem måste bottenblåsas, det vill säga att man tappar ur en del av vattnet i ångdomen med jämna mellanrum för att få ut de utfällningar som blir kvar när vattnet förångas. Denna rening är en energiförlust då varmt vatten redo att bli ånga blåses ut i avloppet. Elektromagnetisk vattenbehandling skulle eventuellt kunna minska behovet av bottenblåsning, vilket skulle spara på ekonomi och miljö.

Resultaten av våra mätningar av tekniskt vatten med kemikalier, system 2, visar att dessa ger tydlig påverkan på pH-värde och konduktivitet. Resultatet visar på kraftigt ökad konduktivitet och kraftigt höjt pH-värde. Konduktiviteten blir mycket hög tack vare alla de joner som tillförs för att bilda ett passivt skikt på metallytorna i kylvattensystem. Hur effektivt detta fungerar som korrosionsskydd kräver mer avancerade studier. Man kan dock anta att det förhöjda pH-värdet är bra för rostskyddet då en sur miljö med lågt pH-värde är känd för att orsaka rost och kemikalierna gjorde vattnet basiskt. Vi kan också anta att kemikalier inte bör kombineras med avjonisering då de höjer konduktiviteten avsevärt och alla de värdefulla joner man tillför för att bilda en passiv hinna på systemets metallytor riskerar att neutraliseras av avjoniseringen.

Något som inte beaktats under undersökningens gång är hur ett system påverkas då det måste tömmas på vatten. Att tömma ett kylvattensystem delvis eller helt är ofta nödvändigt för att kunna utföra underhåll på ett fartygs maskineri. Vidare forskning krävs för att utreda om elektromagnetisk vattenbehandling skulle leda till ökad korrosion i detta skede då metallytorna utsätts för luft. Detta eftersom ett system skyddat med elektromagnetisk vattenbehandling inte har den skyddande film som kemiskt rostskydd ger.

## 6. Slutsatser

### 6.1. Miljö

BauerWartertechnology's Pipejet vattenbehandlingssystem har en strömförbrukning på mellan 40 W och 80 W vilket motsvarar en kraftigare glödlampa. (Bauer-wt, <http://www.bauer-wt.com/swe/vanliga-fragor/>, u.d.) En större modell anpassad för ett fartyg bör därför inte kräva någon större elförbrukning. Även om elektriciteten ombord på fartyg normalt produceras med dieselgeneratorer eller av en generator driven av fartygets framdrivningsmaskineri, så vore den ökade elanvändningen mycket liten i förhållande till fartygets totala strömförbrukning. En dieselgenerator måste alltid hålla ett visst varvtal och därför kommer endast belastningen av motorn vid det varvtalet påverkas, vilket inte skulle innebära någon större ökning av bränsleförbrukningen. Miljöpåverkan antas därför bli försumbar i förhållande till den miljöpåverkan som fartygets elproduktion redan orsakar.

Kemisk vattenbehandling orsakar viss miljöpåverkan. Ju tätare kylvattensystemet är desto mindre kemikalier behövs. Lite kylvatten hamnar dock alltid i fartygets länstank vid till exempel underhållsarbeten. Länsvatten renas från olja, men det finns inget specifikt lagkrav på tillåtna kemikalierhalter som får släppas ut i havet efter rening av länsvatten. (Karl Moe, 2015) Kylvattenkemikalier är giftiga och negativ miljöpåverkan skulle begränsas om kemikaliefria alternativ för vattenbehandling blev vanligare på marknaden. En annan fördel med mindre mängd kemikalier vore en förbättring av arbetsmiljön för personal som arbetar med de anläggningar vars vatten skall behandlas. Förbränningsmotorers kylsystem är mycket svåra att dränera fullständigt och personalen riskerar att utsättas för kylvattenkemikalier varje gång underhåll på maskineriet utförs.

Elysator trio, som tillverkas av Elysator Engineering AG, är ett elektrokemiskt system där endast offeranoden måste bytas med jämna mellanrum. Offeranoden är alltså inte ansluten till någon kraftkälla utan hela systemet baseras på offeranodens elektrokemiska potential. (Elysator engineering water, 2018) Då offeranoden är det enda som tillförs kan vi konstatera att miljöpåverkan från elysator trio är begränsad, då offeranoden har lång livslängd och måste bytas ytterst sällan.

Huruvida alternativa behandlingsmetoder kan klara av ett kylsystem till ett fartygs maskineri kräver vidare forskning, men kemikaliefria alternativ bör definitivt övervägas för mindre slutna system ombord på fartyg.

## 6.2. Ekonomi

Det som utgör den största påverkan på kostnaden när det gäller driften av kylsystem ombord på fartyg är hur tätt systemet är. Ett tätt system minskar behovet av behandling oavsett metod. Att driva en pipejet från Bauer - Watertechnology AB kostar mycket lite. Kostnaden kommer kunna tjänas in på kort tid, eftersom energiöverföringen blir bättre och energiförbrukningen sänks. (Bauer-wt, BauerWatertechnologyPipeJetProduktblad2014, 2014)

Hur lång tid det skulle ta att tjäna in installationskostnaden av en pipejet i ett kylsystem till en marin dieselmotor genom uteblivna kostnader för inköp av kemikalier, har vi inte underlag nog att avgöra. Det beror på vad en rätt dimensionerad pipejet skulle kosta i inköp och hur mycket ström en sådan förbrukar, samt hur mycket kemikalier det aktuella systemet förbrukat.

Sist kvarstår frågan om något alternativ till kemisk behandling klarar av att upprätthålla en bra miljö i ett kylvattensystem över huvud taget. Det finns dock andra vattenburna system ombord på fartyg i behov av behandling där alternativa behandlingsmetoder skulle kunna användas. Vattenburen kylning på AC-anläggningar och andra små slutna system skulle kunna bli effektivare om vattnet hölls renare.

## 7. Referenser

- Ahmad, Z. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Elsevier.
- Bauer-wt. (2014). BauerWartertechnologyPipeJetProduktblad2014.
- Bauer-wt. (u.d.). <http://www.bauer-wt.com/swe/vanliga-fragor/>. Hämtat från <http://www.bauer-wt.com/swe/vanliga-fragor/>
- Bertil Sandberg, S. K. (2015). *Korrosion av stålkonstruktioner*. Solna: Swerea KIMAB.
- Elysator engineering water. (2018). <http://www.rorprodukter.se/varme/elysator>.
- Flamco. (den 01 01 2015). *Flamco flow of inovation*. Hämtat från <https://flamcogroup.com>
- Francis, D. R. (2000). Bimetallic Corrosion. *Guides to Good Practice in Corrosion Control*.
- Karl Moe, J. K. (2015). *Kylvattenkemikalier i länsvattnet ifrån världshandelsflottan*. Kalmar: Linnéuniversitetet.
- Wulf Becker, I. M. (2016-04-11). *Dricksvattnets betydelse för tillförsel av mineralämnen*. livsmedelsverket.