

Markku Aunio

MERIVESISUODATTIMEN VAURIOANALYYSI

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Kevät 2008



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka ja Liikenne	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Markku Aunio	
Työn nimi Merivesisuodattimen vaurioanalyysi	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Tietokoneavusteinen tuotanto ja kunnossapito	Ohjaaja(t) Seppo Konttila, Insinööri Toimeksiantaja Maintpartner Oy, Kokkola
Aika Kevät 2007	Sivumäärä ja liitteet 45 + 2
<p>Tämän insinööryön tilaajana oli kunnossapitoyritys Maintpartner Oy:n Kokkolan yksikkö, jonka toimialana ovat teollisuuden kunnossapitopalvelut.</p> <p>Insinööryössä analysoitiin Kokkolan merivesisuodattimen vaurioita. Merivesisuodattimen vaurioituminen on ollut jatkuva ongelma koko suodattimen elinajan. Ongelmana oli erityisesti sidostankojen, sidospulttien ja suodattinsauvojen katkeilu.</p> <p>Tässä insinööryössä ongelmaa lähestyttiin korroosion teorian kautta. Työssä tarkasteltiin austeniittisten terästen korroosio-ominaisuuksia merivesiympäristössä.</p> <p>Työn teoriaosuudessa koottiin korroosion kirjallisuutta ja sen perusteella pohdittiin erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja ongelman poistamiseksi. Vaurioitunutta merivesisuodatinta tutkittiin kesällä 2007 Kokkolassa ja vauriomekanismeja etsittiin mm. erilaisia värähtelyäniä tutkimalla.</p> <p>Tärkeimmäksi vaurion syyksi ehdotetaan jännityskorroosiota ja korroosioväsymistä. Vaurion syyt on perusteltu kenttäkokeiden ja siihen liittyvän teorian tiedon perusteella. Ratkaisuvaihtoehtoja vertailemalla tässä työssä ehdotetaan vaurion estämiseksi rakenteen jäykistämistä ja/tai rakennemateriaalin vaihtamista.</p>	
Kieli	suomi
Asiasanat	korroosio, haponkestävä teräs
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Markku Aunio	
Title A Saltwater Filter Damage Analysis	
Optional Professional Studies Virtual Production and Maintenance	Instructor(s) Seppo Konttila, B.Eng.
	Commissioned by Maintpartner Oy, Kokkola
Date Spring 2008	Total Number of Pages and Appendices 45 plus 2 appendices
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by a maintenance company called Maintpartner Oy, which has the biggest customer group in Kokkola's industrial area. This company's branch of activity is industrial maintenance service.</p> <p>The subject of the thesis were problems connected with a saltwater filter. The biggest problems have been the breakaways of linked bars, linked bolts and filter cartridges. The problems have existed all the time when the saltwater filter has been used in Kokkola since the year 2003.</p> <p>The problems were approached through the corrosion theory. The corrosion durability of the austenitic steel was studied in the saltwater environment.</p> <p>In the theoretical part of the thesis corrosion literature was collected and on the basis of it different solutions to eliminate the problems were considered. The damaged saltwater filter was analyzed in the summer 2007 in Kokkola and the damage factor was explored for example by analyzing different vibration sounds.</p> <p>The most important reason for the damage was proposed stress corrosion and corrosion fatigue. The reasons for the damage were argued with field experiments and theoretical data. By comparing the different solution alternatives, the solution proposed in this thesis is to brace the structure or / and to change the constructional material.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Corrosion, stainless steel
Deposited at	<input type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö tehtiin Maintpartner Oy:lle. Osoitan kiitokseni insinöörityöni ohjaajalle Seppo Konttilalle. Kiitän työn tilaajaa Maintpartner Oy:ta kiinnostavasta ja haastavasta tutkimusaiheesta. Lisäksi haluan kiittää kaikkia tutkimustyössä mukana olleita henkilöitä. Haluan osoittaa kiitokseni myös perheelleni tuesta, jota olen saanut insinöörityöni tekemiseen.

Työn tekemisen aikana uskon kehittyneeni useilla tärkeillä osa-alueilla, ja uskon myös saaneeni tästä työstä paljon hyödyllisiä kokemuksia työelämään siirtymistäni varten.

Kajaanissa 20.2.2008

Markku Aunio

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 AIHEEN ESITTELY	2
2.1 Merivesisuodattimen rakenne	2
2.2 Merivesisuodattimen toimintaperiaate	5
2.3 Merivesisuodattimen vaurio	7
2.4 Laittevalmistajan takuuseen liittyvä problematiikka	9
3 KUNNOSSAPITO	10
3.1 Kunnossapidon perusteet	10
3.2 Kunnossapidon päätyypit	10
3.2.1 Ehkäisevä kunnossapito	10
3.2.2 Korjaava kunnossapito	11
3.2.3 Parantava kunnossapito	11
3.3 Vikaantuminen	12
4 RUOSTUMATON TERÄS	14
4.1 Jaottelu mikrorakenteen mukaan	14
4.2 Passivoituminen	16
5 KORROOSIO	17
5.1 Korroosion kolme päätyyppiä	17
5.1.1 Kemiallinen korroosio	17
5.1.2 Sähkökemiallinen korroosio	18
5.1.3 Korkean lämpötilan korroosio	19
5.2 Jännityskorroosio	19
5.3 Korroosioväsyminen	21
5.4 Rakokorroosio	23
5.5 Hiertymiskorroosio	23
5.6 Korroosio merivedessä	25
5.6.1 Mikrobit	25
5.6.2 Fouling-eliöt	25
5.6.3 Virtausnopeus	26
5.6.4 Rikkivety ja sulfidit	26

5.6.5 Metallit	26
6 TYÖN TOTEUTUS	27
6.1 Suodattimen fyysinen tutkiminen	27
Kolistusäänen kuuntelu	27
Tunkeumaneste	27
Mikroskooppitutkimukset	28
6.2 Kokkolan ja Kotkan merivesisuodattimien käyttöympäristöerot	29
6.3 Johtopäätös tutkimuksen etenemiseksi	29
6.4 Ongelman tarkastelu kirjallisuuden pohjalta	29
6.4.1 Jännityskorroosio	30
6.4.2 Korroosioväsyminen	32
6.5 Sidospulttien katkeilu	33
6.5.1 Ruuviliitoksen mitoitus	33
6.5.2 Jännityskorroosio	34
6.5.3 Sidospulttien parannuskeinot	34
6.6 Ylimääräisen rautaesineen merkitys	35
6.7 Lujuusopillisen tarkastelun tarpeellisuus	36
7 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	37
7.1 Suodattimen parannusehdotukset	37
7.1.1 Merivesisuodattimen puhdistusoperaation säätäminen	37
7.1.2 Rakenteen jäykistäminen	38
7.1.3 Merivesisuodattimen värinän vaimennus	39
7.1.4 Uhrimetallin käyttö	40
7.1.5 Sidostangoiksi duplex-terästä	40
7.1.6 Sidospulteiksi titaaniruuvit	41
7.2 Tulosten tarkastelu	41
8 YHTEENVETO	43
LÄHTEET	45
LIITTEET	

KÄYTETYT TERMIT

Hydrolyysi	Kemiallinen reaktio, jossa yhdiste hajoaa vettä lisättäessä takaisin lähtöaineikseen. Reaktio luovuttaa energiaa, kun taas vastareaktio, kondensaatioreaktio, sitoo energiaa.
Käyttö	Tuotannon toteutumisen välittömät toimenpiteet, kuten prosessin ohjaus ja koneiden käyttö. Käyttöön voi kuulua myös tuotteen, prosessin, tms. vaatimat kytkentöjen muutokset, vaihtoyksiköiden, komponenttien ja työkalujen vaihto.
Käyttövarmuus	Käyttövarmuus on kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee suorittamaan vaaditun toiminnan tietyissä olosuhteissa ja tietyllä ajan hetkellä tai tietyn ajanjakson aikana olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla. (PSK 6201)
Stabiili materiaali	Stabiili materiaali on pysyvä materiaali, se ei reagoi ympäristönsä kanssa.
Tunkeumaneste	Tunkeumanesteellä tutkitaan materiaalissa mahdollisesti olevia säröjä.
Vikaantuminen (Failure)	Vikaantuminen on tapahtuma, jonka ilmetessä kohteen kyky suorittaa vaadittu toiminta päättyy (vikaantuminen siis aiheuttaa kohteeseen vikatilan).
Vikaantumisväli (TBF)	Kahden peräkkäisen vikaantumisen välinen ajanjakso, Time Between Failure.
Polymeerien liuotin	Liuotin on enemmän kuin yhden komponentin sisältämä kiinteä, nestemäinen tai kaasumainen faasi.
Pultti	Epävirallinen termi tasapäiselle koneruuville.

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tilaajana on kunnossapitoyritys Maintpartner Oy. Maintpartner Oy on Kokkolan suurteollisuusalueella sijaitseva palvelu- ja infrayhtiö, joka tarjoaa ja kehittää infrastruktuuri- ja tuotannon tukipalveluita. Maintpartnerilla on viime aikoina tapahtunut nopeasti organisaatiomuutoksia. Alunperin insinööriyön tilaajana oli Onepoint Oy. Maintpartner Oy osti keväällä 2007 Onepointin palveluliiketoiminnan. Kaupan ulkopuolelle jäi Onepointin infrastruktuuri palvelut. Tämä nykyinen Onepoint Oy on omistaa insinööriyön aiheena olevan merivesisuodattimen.

Insinööriyön aihe on Kokkolassa sijaitsevan merivesisuodattimen sidostankojen, sidospulttien ja suodatinsauvojen katkeilun tutkiminen, sekä parannusehdotusten antaminen näihin ongelmiin. Sain tämän insinööriyön aiheen alkuvuodesta 2007, jolloin kävin ensimmäistä kertaa tutustumassa suodattimeen.

Kyseessä olevan merivesisuodattimen tehtävänä on suodattaa merivettä prosessiteollisuuden käyttökohteisiin. Merivesisuodatin on otettu käyttöön vuonna 2003, josta lähtien suodatin on vaurioitunut vuosittain. Jokaisen korjauksen yhteydessä on tehty parantavaa kunnossapittoa, mutta tästä huolimatta vauriot ovat olleet jokavuotisia.

Vertailukohtana on samanlainen suodatin Kotkassa, jonka käyttövarmuudessa ei ole ollut erityisiä ongelmia. Kotkassa suodatin käyttää makeaa Kymijoen vettä, kun taas Kokkolan suodatin käyttää merivettä.

Kesätyöni (kesällä 2007) Kokkolassa antoi minulle mahdollisuuden tutustua läheisesti merivesisuodattimeen ja siinä oleviin ongelmiin. Tällöin sain tehtyä insinööriyöni käytännön osuuden. Jatkoin insinööriyötä syksyllä 2007 ollessani työharjoittelussa Saksassa, jossa keskityin työn kirjallisen osuuden työstämiseen.

Insinööriyöni tavoitteena on selvittää vaurion syyt sekä esittää parannusehdotuksia käyttövarmuusongelmaan. Kyseistä ongelmaa olisi voinut lähteä tutkimaan lukuisilla eri tavoilla. Kunnossapitohenkilökunnan ja omien havaintojen perusteella valitsin insinööriyössäni lähestymistavaksi korroosion. Tarkastelen työssäni ruostumattomien terästen korroosio-ominaisuuksia merivesiympäristössä.

2 AIHEEN ESITTELY

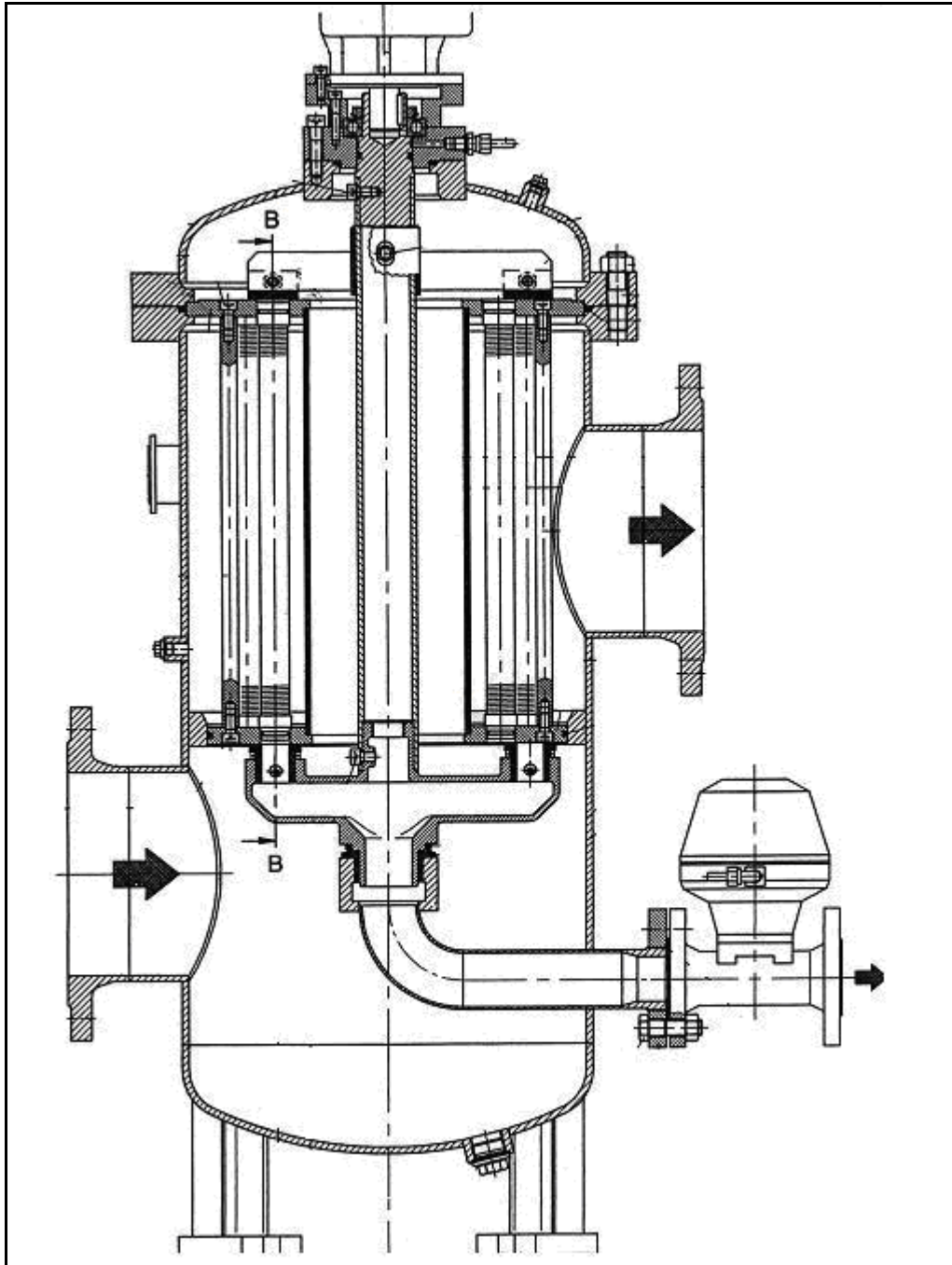
Insinööriyön aiheena on merivesisuodattimen vaurion syyn selvittäminen ja parannusehdotusten antaminen käyttövarmuus ongelman poistamiseksi. Kyseinen merivesisuodatin on valmistettu vuonna 2003. Suodatin on valmistumisen jälkeen vaurioitunut joka vuosi. Suodattinsauvojen, sidospulttien ja sidostankojen vaurioituminen ovat olleet tyypillisiä vaurioita.

2.1 Merivesisuodattimen rakenne

Kokkolan merivesisuodatin on saksalaisen Boll&Kirch Filterbau GmbH:n valmistama ja se on tyypiltään paluuhuuhtelusuodatin 6.18 DN800 PN10. Valmistajan piirustuksen mukaan suodattimen tulo- ja lähtöputki ovat eri puolilla, kuten kuvasta 2 voi nähdä. Kokkolan suodattimessa tulo- ja lähtöputket ovat samalla puolella (Kuva 1). Kuvasta 2 selviää lisäksi suodattimen rakenne. [1.] Liitteessä 1 *Laittevalmistajan esite* on lisätietoa suodattimen rakenteesta ja toiminnasta.



Kuva 1. Kokkolan merivesisuodatin.



Kuva 2. Merivesisuodattimen rakennepiirustus. [1].

Suodatinpesä on haponkestävää terästä DIN 1.4571, joka on peitattu ja passivoitu. DIN 1.4571 on amerikkalaisella standardilla AISI SS316Ti, joka on titaanistabiloitu. Titaani stabi-loinnilla ehkäistään raerajakorroosion vaara. Tässä suodatinpesässä ei ole ollut käyttövarmuusongelmia.

Suodattimen sisäiset huuhtelukanaavat ovat haponkestävää terästä DIN 1.4408, jotka ovat myös peitattu ja passivoitu.

Suodatinsauvoissa ja sidostangoissa on käytetty haponkestävää terästä DIN 1.4404. Oleellinen tieto on se, että sidostangot ja suodatinsauvat ovat samaa austeniittista haponkestävää terästä, eli DIN 1.4404. [1.]

Haponkestävän teräksen DIN 1.4404 myötölujuus $R_{p0,2}$ on 240 N/mm^2 ja murtolujuus R_m on $530\text{--}680\text{ N/mm}^2$. [2, s. 147]. Matalasta myötölujuudesta voi päätellä, että tällainen haponkestävä teräs on suhteellisen löysä materiaali muodonmuutoksille.

EN-standardin teräsnumeron 1.4404:n teräsnimike on X2CrNiMo17-12-2. Molybdeenia tässä haponkestävässä teräksessä on 2 %, nikkeliä 12 %, kromia 17 % ja hiiltä 0.02 %. ASTM/AISI- merkinnältään tämä teräs on 316L. Toisin sanoen tämä on matalahiiliteräs, joka ei ole altis raerajakorroosiolle. Raerajakorroosiota ilmenee suuremmilla hiiliprosenteilla $C > 0.05\%$. [3.]

Suodatin on niin sanottu automaattisuodatin. Automaattisuodatin on kannattava silloin, kun epäpuhtauksia esiintyy jatkuvasti ja manuaalinen puhdistus ei ole taloudellisesti kannattavaa. [4].

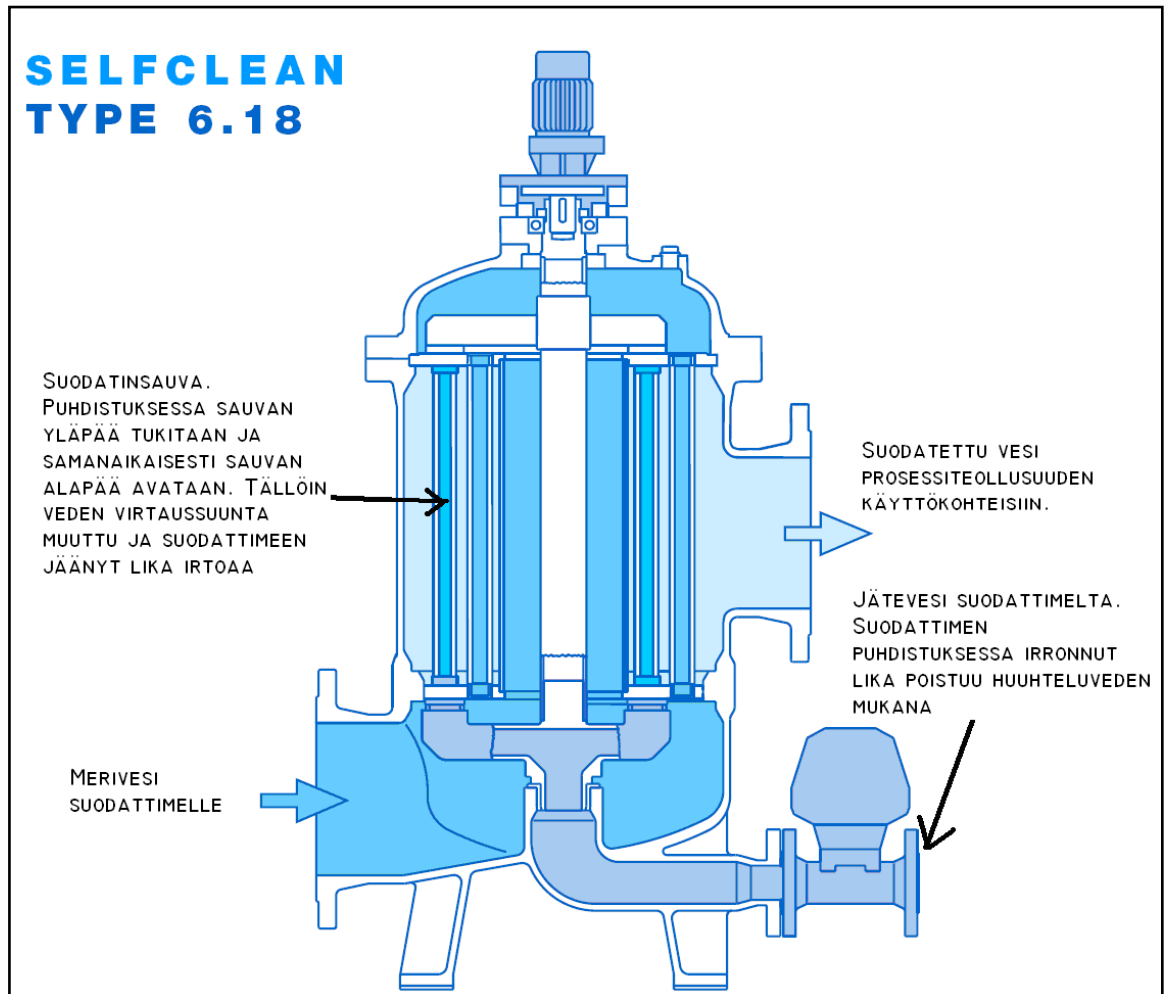
Suodattimen sidospultit ovat halkaisijaltaan M16 ja materiaaliltaan A4-70. Tässä A4 tarkoittaa haponkestävää terästä eli molybdeeniseostettua terästä. 70 tarkoittaa lujuusluokkaa. Kyseisten pulttien lujuusluokka on 700 N/mm^2 . Toisin sanoen haponkestävästä teräksestä valmistettujen pulttien lujuusluokka on melko alhainen verrattuna tavallisiin hiiliteräksiin. Suodattimen sidospultit ovat täyskierreruveja, eli kierre on ruuvin kantaan asti. Täyskierreruuvien lujuus on heikompi, johtuen kierteen lovivaikutuksesta verrattuna osakierreruuviin.

2.2 Merivesisuodattimen toimintaperiaate

Suodattimen tehtävänä on suodattaa merivettä. Suodatettua merivettä käytetään prosessiteollisuuden jäähdytysvetenä. Suodattimelle tuleva merivesi tulee satama-altaasta 10 metrin syvyydestä.

Suodattimen huuhtelu tapahtuu automaattisesti, kun paine-ero suodattimen yli nousee yli 0,3 barin tai suodattimelle asetettu suodatusaika on kulunut loppuun. Suodattimen huuhtelu voidaan käynnistää myös käsin ohjaamalla suodatinmoottori käyntiin. Tällöin huuhteluventtiili avautuu automaattisesti, ja samoin huuhtelutoiminto loppuu automaattisesti huuhteluajan loputtua. Huuhteluaika on 25 s. Taukoaika tulee asettaa niin, että aikaohjattu huuhtelu tapahtuu kaksi kertaa useammin kuin paine-ero sen 0,30 barin asetuksella tekisi. [1.]

Suodattimen huuhtelu on niin kutsuttu vastapainehuuhtelu. Suodattimessa on normaalisti noin 3 barin paine sisällä. Huuhtelussa likaveden poistoputki avataan ja samalla suodatinsauvan pää tukitaan, jolloin virtaussuunta suodatinsauvan sisällä muuttuu. Tämä virtaussuunnan muutos irrottaa suodatinsauvan sisälle kerääntyneen lian. Kuva 3 selventää suodattimen toimintaperiaatetta.



Kuva 3. Merivesisuodattimen toimintaperiaate. [1.]

2.3 Merivesisuodattimen vaurio

Kyseessä oleva merivesisuodatin on käyttöaikanaan vaurioitunut joka vuosi. Tyypillisiä vaurioita ovat olleet sidospulttien, sidostankojen ja suodatinsauvojen vaurioituminen (Kuva 4). Liitteessä 2 on kuvia vaurioituneesta suodattimesta. Yksi toistuvista ongelmista on ollut sidospulttien löystyminen. Sidospultit ovat olleet poikkeuksetta löysällä, kun suodatin on avattu.

Suodattimelle on aina korjauksen yhteydessä tehty myös parantavaa kunnossapitoa. Kesällä 2005 suodatinta parannettiin niin, että suodatinelementin sisäputki hitsattiin kiinni päätylaip-poihin. Tosin hitsauskaan ei parantanut suodattimen kestävyyttä, sillä kesällä 2006 suodatin hajosi jälleen. Suodattimelle tehtiin mittava takuukorjaus 17.8.06, jolloin suodattimeen vaih-

dettiin vahvemmat sidostangot ja ehjät suodatinsauvat. Alkuperäiset sidostangot olivat halkaisijaltaan 25 mm ja uudet sidostangot ovat halkaisijaltaan 30 mm.

Sidostankojen vahventaminen ei poistanut ongelmaa. Toukokuun alussa 2007 suodatin vaurioitui jälleen. Tässä vauriossa vahvennetut sidostangot olivat kestäneet, mutta siitä huolimatta viisi suodatinputkea oli vaurioitunut. Tämän lisäksi yksi sidospultti oli katkennut. Kaikki viisi vaurioitunutta suodatinputkea olivat suodattimen poistoputken kohdalla, eli kohdassa, jossa on suurin virtaus ja rasitus.

Laittevalmistajan uusi ratkaisu tähän ongelmaan loppukesällä 2007 oli korvata viisi poistoputken vieressä olevaa suodatinsauvaa umpiterästangoilla. Tämän parantavan kunnossapidon ratkaisun onnistumista voi arvioida vasta tulevaisuudessa.

Kevään 2007 vaurion erityinen havainto oli se, kun suodatinpesän pohjalta löytyi ylimääräinen rautaesine. Tämä rautaesine oli paksun ruosteen peitossa. Ei löytynyt mitään selitystä sille, kuinka tämä ruosteinen rautaesine oli joutunut suodattimen sisälle.



Kuva 4. Vuoden 2005 vaurio. [1.]

2.4 Laitevalmistajan takuuseen liittyvä problematiikka

Tämä merivesisuodatinongelma ei ole vain tekninen probleema. Ongelmaan liittyy useiden yritysten väliset liikesuhteet. Myös laitevalmistajan antama laitetakuu antaa asiaan oman merkittävän piirteensä.

Tämän merivesisuodattimen valmistaja on saksalainen Boll&Kirch Filterbau GmbH, ja maahantuojana on suomalainen Insalko Oy. Insinööriyön tilaajana on Maintpartner Oy:n Kokkolan yksikkö. Insinööriyön aiheena olevan suodattimen omistaja puolestaan on Onepoint Oy. Koska ongelmaan liittyy useita yrityksiä, aiheuttaa se yhteistyöhön omat haasteensa. Tästä yrityskuviosta johtuen laitteen käyttäjällä ja valmistajalla ei ole suoraa keskusteluyhteyttä. Tämä on erittäin iso ongelma yhteistyön kannalta.

Voisi sanoa, että insinööriyön tilaajalla on hiukan kaksijakoinen suhtautuminen ongelmaan; ensinnäkin laitteen käyttäjä on ostanut merivesisuodattimen, jonka pitäisi toimia sovitussa ympäristöolosuhteissa. Tällöinhän merivesisuodattimen käyttövarmuusongelman poistaminen on laitevalmistajan tehtävä. Tässä mielessä ongelma ei koske työn tilaajaa lainkaan, vaan ongelma on saksalaisen laitevalmistajan.

Toinen asia, mikä vaikuttaa insinööriyön tilaajan ongelmaan suhtautumiseen on se, että insinööriyön tilaaja on kunnossapitoyritys, jonka tehtäviin kuuluu laitteen korjaaminen. Koska insinööriyön tilaaja on vastuussa merivesiverkoston kunnossapidosta, se ei voi olla täysin välinpitämätön ongelman suhteen.

Tässä insinööriyössä en lähde ratkomaan yritysten välisiä velvollisuuksia ongelman vastuukysymyksistä. Keskityn ongelmaan vain teknisenä ongelmana.

3 KUNNOSSAPITO

Koska tämän työn aihe liittyy keskeisesti kunnossapito- ja käyttövarmuusongelmaan, käsitte-
len tässä hieman kunnossapidon teoriaa sekä vikaantumista.

3.1 Kunnossapidon perusteet

Kunnossapito määritellään SFS-EN- standardissa seuraavasti:

Kunnossapito koostuu kaikista kohteen eliniän aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeen johdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. [5, s. 33.]

Yhteenvetona edellisestä voisi sanoa, että kunnossapito on kaikkea sitä toimintaa, jolla pyritään pitämään laite siinä kunnossa, että se pystyy suorittamaan vaaditun tehtävänsä.

3.2 Kunnossapidon päätyypit

Seuraavaksi käyn läpi keskeisimmät kunnossapidon lajit. Kunnossapidon lajit voidaan jakaa eri tavoin riippuen siitä, mistä standardista on kyse.

Karkeasti jaoteltuna kunnossapidon kaksi päätyyppiä ovat ehkäisevä kunnossapito ja korjaava kunnossapito. Korjaavassa kunnossapidossa keskitytään vikojen korjaamiseen. Ehkäisevässä kunnossapidossa pyritään toimimaan niin, ettei vikaantumista tapahtuisi.

3.2.1 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevässä kunnossapidossa seurataan kohteen suorituskykyä tai sen parametreja. Tavoitteena on vähentää vikaantumisen todennäköisyyttä tai laitteen toimintakyvyn heikkenemistä.

Ehkäisevä kunnossapito on säännöllistä (aikataulutettua tai jatkuvaa), tai sitä tehdään tarvittaessa [5, s. 50].

3.2.2 Korjaava kunnossapito

Korjaavassa kunnossapidossa vaurioitunut osa tai komponentti palautetaan käyttökuntoon korjaamalla tai vaihtamalla se. Korjaavaa kunnossapitoa voi olla joko häiriökorjaus, joka on suunnittelematon, tai suunniteltu kunnostus. [5, s. 49.]

Yleensä vaurioituminen aiheuttaa prosessiin katkoksen. Yllättävästä käyttökatkoksesta aiheutuvat tuotantomenetykskustannukset ovat tavallisesti huomattavasti suuremmat kuin itse häiriökorjauksen kustannukset. [6.]

3.2.3 Parantava kunnossapito

Parantava kunnossapito voidaan jakaa kolmeen pääryhmään. Ensimmäisessä pääryhmässä kohdetta muutetaan käyttämällä uudempia osia tai komponentteja kuin alkuperäiset, mutta kohteen suorituskykyä ei varsinaisesti muuteta. [5, s. 51.]

Toisen pääryhmän muodostavat erilaiset uudelleensuunnittelut ja korjaukset, joilla parannetaan koneen toimintavarmuutta. Tarkoituksena on siis muuttaa koneen toimintaa luotettavammaksi, eikä niinkään muuttaa koneen suorituskykyä. [5, s. 51.]

Kolmanteen pääryhmään kuuluvat modernisaatiot, joissa kohteen suorituskykyä muutetaan. Yleensä modernisaatiolla uudistetaan koneen ohella myös valmistusprosessi. Esimerkiksi, jos vanhentuneella paperikoneella ei pystytä valmistamaan kilpailukykyisesti uutta paperilajia, mutta koneella on vielä elinaikaa jäljellä, on usein järkevämpää uudistaa vanha kone kuin romuttaa se ja ostaa tilalle uusi. Tämä tilanne esiintyy yhä useammin silloin, kun koneen elinjakso on pidempi, kuin mitä koneen valmistamien tuotteiden elinkaari. [5, s. 51.]

3.3 Vikaantuminen

Jokainen laite on suunniteltu toimimaan moitteettomasti. Jos laite on suunniteltu ja valmistettu oikein ja oikeista materiaaleista, sitä käytetään ja ylläpidetään oikein ja oikeissa olosuhteissa, rikkoontumista ei tapahdu. [5, s. 53.]

Laitteen vika ei synny itsestään tai ilmesty tyhjästä; jokaisella vialla on oma synty- ja kehittymismekanisminsa. Vikatila on yleensä pitkän kehitysketjun viimeinen lenkki. Kun vian kehitysketjuun päästään kiinni riittävän varhain, vaurioitumista voidaan vähentää merkittävästi. Samalla voidaan vähentää kunnossapidon määrää. Vikojen määrä heijastaakin koneen käyttäjien ja kunnossapitäjien ammattitaitoa ja osaamista. [5, s. 53.]

Kunnossapidon opettamisessa ei ole juurikaan käsitelty vikojen syntymistä ja kehittymistä. Näiden asioiden ymmärtäminen on kuitenkin kunnossapitotaidon ehkäpä tärkein osa-alue. Tämän päivän kunnossapidossa on tärkeämpää estää vikaantumisen kuin korjata vikoja tehokkaasti. Kunnossapito-organisaation ehdottomasti tärkein päämäärä on kunnossapidon vähentäminen. Kunnossapidon tekeminen tehokkaasti on vasta toisella sijalla. [5, s. 53.]

Laitteiden vikaantumisen tutkimisessa japanilaiset ovat tehneet perusteellista työtä. Lieneekö syynä se, että japanin kielessä vikaantumista tarkoittava sana ”kosho” on tarkasti suomennettuna ”tarkoituksellisesti tuhota jotain ikääntynyttä”. Eli vian sallitaankin syntyä. [5, s. 53.]

Ajatusmalli on ymmärrettävä siten, että kukaan ei tahallaan riko laitteitaan; tarkan tietämyksen ja osaamisen puuttuessa toiminta perustuu erilaisiin totuttuihin tapoihin, käyttäjäkohtaisiin sääntöihin ja uskomuksiin. [5, s. 53.]

Huono laitehallinta aiheuttaa vikaantumista

Vioista tulee oirehtivia johtuen kahdesta syystä: organisaation ongelmista ja laitteisiin liittyvistä teknisistä ongelmista. [5, s. 64.]

Organisaatiossa on monia rakenteellisia syitä tehottomaan reagointiin oirehtivien vikojen aiheuttamia vikoja vastaan. Monilla tuotanto-osastoilla käyttäjät hyväksyvät perinteisen tiukan jaottelun käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön työtehtävien välille, eikä näillä käyttäjillä ole kiinnostusta kunnossapitoon. Kunnossapito-osastojen työntekijöitä ei ole asianmukaisesti

koulutettu taidoissa, joita tarvitaan pitämään entistä monimutkaisemmat tuotantokoneet kunnossa. Toimintahäiriöiden havaitseminen on vaikeaa ja vaatii koneen käyttäjältä myös kunnossapidollista osaamista. Varsin usein koneen todellinen käyttö poikkeaa siitä, mitä koneen valmistaja on edellyttänyt konetta suunnitellessaan. Tämä johtuu siitä, että kaikki koneen käyttäjät eivät toimi samalla tavalla. [5, s. 64.]

4 RUOSTUMATON TERÄS

Olen rajannut tämän insinööriyön käsittelemään ruostumattomien terästen korroosio ominaisuuksia merivesi ympäristössä. Tähän lukuun olen koonnut perusteoriatieta ruostumattomista teräksistä.

Ruostumattomaksi teräkseksi kutsutaan rautaseosta, joka sisältää kromia enemmän kuin 10 prosenttia. Ruostumattomien terästen hyvä korroosiokestävyys perustuu niiden sisältämään kromiin. Ruostumattomassa teräksessä kromi reagoi hapen kanssa ja muodostaa suojaavan kalvon teräksen pinnalle. Suojakalvon muodostumista metallipinnalle kutsutaan passivoitumiseksi. Passiivikalvo on äärimmäisen ohut ja valoa läpäisevä, minkä vuoksi pinta on metallisen kirkas. Passiivikalvoon käytössä syntyvät naarmut ja muut rikkoutumat korjautuvat itseksensä hapettavassa ympäristössä. [2, s. 144].

4.1 Jaottelu mikrorakenteen mukaan

Ruostumattomat teräkset jaetaan kolmeen pääryhmään niiden mikrorakenteen mukaan; austeniittisiin, ferriittisiin ja martensiittisiin teräksiin. Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat näistä kolmesta eniten käytettyjä. Lisäksi mikrorakenne voi koostua myös edellä mainittujen yhdistelmistä. Näitä ovat esimerkiksi ferriittis-austeniittiset ja ferriittis-martensiittiset teräkset. Näistä tunnetuin on ferriittis-austeniittinen teräs, joka tunnetaan myös nimellä duplex-teräs kaksifaasi- rakenteensa vuoksi.

Austeniittiset ruostumattomat teräkset

Austeniittiset ruostumattomat teräkset sisältävät vähintään 17 % kromia ja 7 % nikkeliä. Nikkeliseostus saa aikaan austeniittisen rakenteen. Teräksen hiilipitoisuus on alhainen ja käyttölämpötila-alue on laaja, noin $-270\dots+800$ °C. Kyseessä on yleisimmin käytetty ruostumaton teräs, jolla on erinomaiset sitkeysominaisuudet ja kohtalainen lujuus. Teräkset ovat hitsattavia. Ne kestävät ilmastollista korroosiota sekä korroosiota useissa hapettavissa haapoissa. Rikki-, suola- ja fluorivetyhappo sekä korkeat kloridipitoisuudet ovat kuitenkin haitallisia. Korroosionkestävyydeltään nämä teräkset ovat ferriittisten ja ferriittis-austeniittisten terästen välillä. [7.]

Kompound-teräksen nimellä kutsutaan rakennetta, jossa kahta eri teräslaatua on liitetty yhteen kuumavalssaamalla. Tavallisin yhdistelmä on austeniittinen ruostumaton teräs, joka on yleinen rakenneteräs. [7.]

Ferriittiset ruostumattomat teräkset

Kun kiderakenne on ferriittinen, ovat teräksen ominaisuudet lähellä hiiliteräksiä. Korroosionkestävyys on tällöin parempi. Esimerkiksi 17 % kromia sisältäviä teräksiä käytetään kotitaloustarvikkeisiin, pesukoneiden rumpuihin, lämminvesivaraajiin sekä sisätiloihin ja arkkitehtoonisiin kohteisiin. 12 % kromia sisältävät teräkset ovat hyvin hitsattavia, ne sopivat kuljetusvälineiden rakenteiksi sekä rakennusteollisuuden käyttöön. [7.]

Martensiittiset ruostumattomat teräkset

Näillä teräksillä on kohtuullinen korroosion- ja kulumiskestävyys. Terästen kromipitoisuus on 13 %:n luokkaa. Martensiittinen ruostumaton teräs on tyypillinen veisten, haarukoiden, saksien ja puukkojen terämateriaali. [7.]

Ferriittis-austeniittiset ruostumattomat teräkset

Näitä teräksiä voidaan kutsua myös duplex-teräksiksi teräksissä esiintyvän kahden eri kiderakenteen vuoksi. Ferriittis-austeniittiset ruostumattomilla teräksillä on hyvät lujuus-, sitkeys- ja korroosio-ominaisuudet. Myös niiden hitsattavuus on hyvä. Näitä teräksiä käytetään keveissä ja korroosionkestävissä rakenteissa. Terästen käyttökohteita on öljynjalostus-, kemia-, paperi- ja laivanrakennusteollisuudessa. Ferriittis-austeniittisten ruostumattomien terästen kestävyys jännityskorroosiota vastaan kloridipitoisissa olosuhteissa on parempi kuin austeniittisillä ruostumattomilla teräksillä. Ferriittis-austeniittiset teräkset voidaan jakaa neljään ryhmään seostuksesta riippuen: matala-, keski- ja runsasseosteiset sekä ns. super-duplexit. [7.]

4.2 Passivoituminen

Ruostumattoman teräksen korroosiokestävyys perustuu sen pinnan passivoitumiseen. Teräspintaan syntyy hapen vaikutuksesta ohut, muutamia kymmeniä nanometrejä paksu kromioksidivaltainen oksidikalvo. Passivoituneessa tilassa ruostumattoman teräksen syöpymisnopeus on erittäin pieni. [8, s. 459.]

Passiivikalvon paikallisesti murtuessa syntyy tilanne, jossa korroosio keskittyy pienelle anodiselle alueelle katodisen alueen ollessa hyvin suuri. Tällöin suuren paikallisen korroosionopeuden johdosta rakenne saattaa vaurioitua arvaamattoman nopeasti [8, s. 99.]

5 KORROOSIO

Tässä luvussa tarkastelen korroosiota teoriassa sekä käyn läpi yleisimmät korroosiotyypit. Korroosio on materiaalin muuttumista käyttökelvottomaan muotoon joko liukenemalla ympäristöönsä tai reagoimalla ympäristönsä kanssa ja muodostamalla kiinteitä korroosiotuotteita, kuten ruostetta. Tuloksena on painohäviöitä, pinnan laadun heikkenemistä sekä putkistojen ja säiliöiden puhkeamista. Seurauksena tästä on jo pelkästään Suomessa miljardien eurojen taloudelliset tappiot vuosittain. [9.]

5.1 Korroosion kolme päätyyppiä

Korroosiossa voidaan erottaa kolme päätyyppiä: kemiallinen korroosio, sähkökemiallinen korroosio ja korkean lämpötilan korroosio. [9.]

5.1.1 Kemiallinen korroosio

Kemiallinen korroosio tapahtuu materiaalin suorana liukenemisena syövyttävään ympäristöön, kuten vesiliuoksiin, happoihin, metalleihin sekä polymeerien liuottimiin. Usein liukeneminen tapahtuu ns. valikoivana syöpymisenä, mistä esimerkkeinä on messinkien sinkinkato vedessä ja grafitoituminen valuraudassa. Kemiallista korroosiota voidaan vähentää seuraavilla tavoilla:

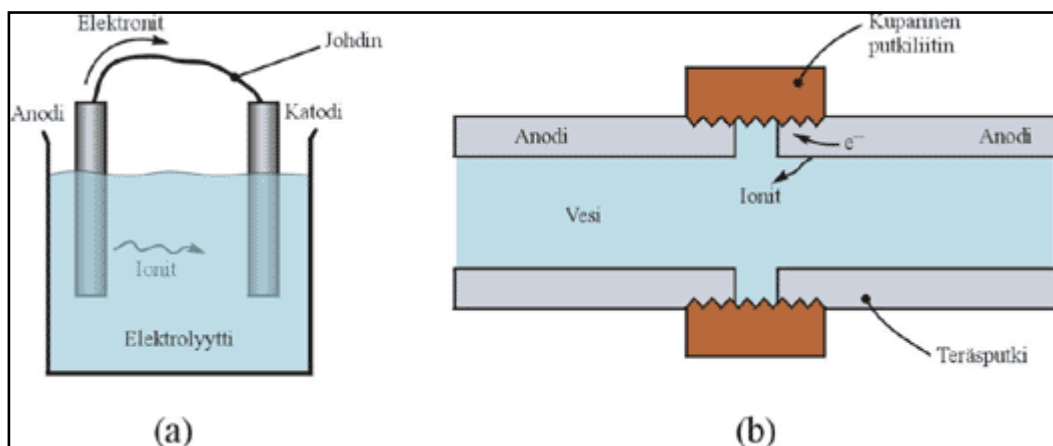
- Alentamalla lämpötilaa.
- Pinnoittamalla, eli estämällä liuottimen pääsy liukenevaan pintaan.
- Käyttämällä stabiileja materiaaleja. [9.]

5.1.2 Sähkökemiallinen korroosio

Sähkökemiallisella korroosioilla tarkoitetaan materiaalin liukenemista ympäristöön sähköisten tai kemiallisten ilmiöiden yhteisvaikutuksesta. Sähkökemialliseen korroosioon muodostumiseen tarvitaan seuraavia tekijöitä;

- Eri jalousasteiset metallit tai metallipinnan kohdat. Metallit luokitellaan jalousasteen mukaiseen järjestykseen ns. sähkökemiallisen jännitesarjan avulla.
- Sähköä johtava yhteys eli elektronijohde kyseisten metallien tai kohtien välille.
- Elektrolyttinen eli ionijohtava yhteys kyseisten metallien tai kohtien välillä.

Näiden ehtojen täytyessä tuloksena on korroosioparin muodostuminen, korroosiovirran synty ja epäjalomman materiaalin liukeneminen (kuva 5). [9.]



Kuva 5. Korroosioparin muodostuminen. [9.]

Metallin liukenemisen yhteydessä metalli saattaa reagoida ympäristönsä kanssa muodostaen kiinteän korroosiotuotekerroksen, joka eristää metallipinnan elektrolyytistä. Tällöin tuloksena on korroosiovirran katkeaminen ja korroosion pysähtyminen, jota kutsutaan passivaatioksi. Useiden korroosiota kestävien metallien, kuten alumiinin, kromin, titaanin ja ruostumattoman teräksen kestävyys perustuu passivoitumisilmiöön. [9.]

5.1.3 Korkean lämpötilan korroosio

Korkean lämpötilan korroosiolla tarkoitetaan pääasiassa metallin muuttumista erilaisiksi yhdisteiksi joko korkean lämpötilan kiihdyttämän reaktionopeuden ansiosta, tai metallin liukenemistä sen pinnalle muodostuviin osittain suliin korroosiotuotteisiin. Erilaisia reaktioita metallin muuttumiselle erilaisiksi yhdisteiksi ja niiden reaktiotuotteita on esitetty taulukossa alla (Taulukko 1). [9.]

Taulukko 1. Korkean lämpötilan korroosion mekanismit ja reaktiotuotteet.[9.]

Mekanismi	Reaktiotuote
hapettuminen	oksidit
sulfidoituminen	sulfidit
hiillettyminen	karbidit
kloridikorroosio	kloridit

5.2 Jännityskorroosio

Jännityskorroosiossa vetojännityksen alaiseen metalliin muodostuu ympäristön myötävaikutuksesta säröjä, jotka kasvaessaan voivat johtaa kappaleen totaaliseen murtumiseen. Yleistä korroosiota ei jännityskorroosion esiintyessä tapahdu juuri lainkaan. [8, s. 172.]

Jännityskorroosioon liittyvä vetojännitys voi olla seurausta ulkoisesta kuormituksesta ja/tai sisäisistä jännityksistä.

Ulkoisen kuormitus voi aiheutua;

- staattisesta kuormasta
- termisistä mittamuutoksista
- ruuviliitoksen kiristysvoimasta

- staattisesta paineesta
- pyörimisliikkeen hitausvoimista sekä
- värähtelyistä.

Sisäisiä jännityksiä aiheuttavat esimerkiksi

- kylmämuokkaus
- lastuaminen
- leikkaus
- lävistäminen sekä
- hitsaus.

Sisäiset jännitykset ovat erityisen vaarallisia, koska niiden kokoa on vaikea ennustaa, ja ne ovat usein hyvin suuria, lähes metallin myötölujuuden suuruisia. Erittäin vaaralliseksi tilanne muodostuu, kun sekä ulkoiset että sisäiset jännitykset vaikuttavat samanaikaisesti. [10.]

Usein murtuma etenee äkillisinä askelrepeäminä. Repeäminen aiheuttaa terävän kimakan äänen, jonka ihmisen korva voi joissakin ympäristöissä kuulla. Jännityskorroosiota pidetään vaarallisena, koska sen aiheuttamia hiushalkeamia ei yleensä havaita paljain silmin, vaan halkeamien löytämiseen tarvitaan tunkeumaväri- tai magneettijauh tarkastusmenetelmä. [8, s. 172.]

Jännityskorroosion aiheuttama murtopinta muistuttaa hauraan murtuman murtopintaa, vaikka aiheuttajana onkin paikallinen korroosio. Kappaleen efektiivisen poikkipinnan pienentyessä kuormitus lisääntyy, jolloin murtuminen saa mekaanisen luonteen. Murtuminen voi edetä joko raerajoja pitkin tai rakeiden lävitse. [10.]

Jännityksen lisääntyminen vähentää murtumiseen johtavaa aikaa. Jännityksen on ylitettävä tietty rajajännitys, ennen kuin jännityskorroosiota esiintyy. Joissakin tapauksissa jännityskorroosiota saattaa aiheuttaa jopa vain 10 % materiaalin myötöraajasta oleva jännitys. Rajajännitys, jonka yläpuolella jännityskorroosiota esiintyy, riippuu kuitenkin hyvin oleellisesti materiaalin ja ympäristön yhdistelmästä. [10.]

Happi ja muut voimakkaat hapettajat lisäävät jännityskorroosioherkkyyttä. Esimerkiksi tavallisella austeniittisella ruostumattomalla teräksellä esiintyy jännityskorroosiota vain hapettavissa kloridiliuoksissa. Jännityskorroosiota voidaan estää poistamalla happi liuksesta. Jännityskorroosiota tapahtuu yleensä vain tietyllä metallin ja liuksen välisellä potentiaalialueella. Muuttamalla potentiaalia joko anodiseen tai katodiseen suuntaan jännityskorroosio voidaan välttää. Lämpötilan nousu nopeuttaa jännityskorroosiota. Tietyillä seoksilla, kuten magnesiumseoksilla, jännityskorroosiota tapahtuu jo huoneen lämpötilassa, mutta useimmiten jännityskorroosio vaatii kuitenkin korotettua lämpötilaa. [10.]

Metallin koostumuksen lisäksi sen mikrorakenne (raekoko, orientaatio, erkaumat, sulkeumat), dislokaattorakenne ja faasien termodynaaminen stabiilisuus (metastabiilit faasit) vaikuttavat jännityskorroositaipumukseen. Täten lämpökäsittelytila, muokkausaste ja niiden säätelämät ominaisuudet, kuten lujuus ja kovuus, määräävät tietyillä seoksilla sen, ovatko ne taipuvaisia jännityskorroosioon. [10.]

Seostetuilla teräksillä yleinen jännityskorroosion muoto on niin sanottu vetyhauraus, jossa rakenteen haurastuminen on seurausta teräksen diffuntoituneesta atomaarisesta vedystä. Vety voi olla peräisin ympäristöstä, pinnalla tapahtuvista korroosioreaktioista, peittauksesta tai hitsauksesta. Katodisessa reaktiossa syntyvä metallin diffuntoituva vety voi aiheuttaa myös ns. vetyhalkeilua. Diffuntoitunut vety kerääntyy vetymolekyyleinä huokoseen, jolloin paine huokosessa nousee ja aiheuttaa rakenteen murtumisen. [10.]

Siitä huolimatta, että jännityskorroosio on hyvin haitallinen ja yleinen, ei sen mekanismia vielä täysin tunneta. Osittain tämä johtuu siitä, että mekanismi on eri materiaalien ja ympäristön yhdistelmillä erilainen. [10.]

5.3 Korroosioväsyminen

Kun rakenne joutuu värähtelyjen, vaihtosuuntaisen kuormituksen tai termisten vaihteluiden alaiseksi, materiaalin väsymislujuus määrää sen kestoajan. Korroosioympäristössä väsymiskestävyys muodostuu useimmiten huomattavasti pienemmäksi kuin ilman korroosioväliainetta. Väsymiskestävyyttä kuvataan jännitysamplitudin ja kuormanvaihtokertojen avulla, eli ns. Wöhler- tai S-N-käyrillä. Ilman korroosion vaikutusta mitatussa S-N- käyrässä materiaalilla voidaan havaita ns. väsymisraja, jota pienemmät jännitysamplitudit eivät aiheuta murtumaa.

Korroosion vaikuttaessa väsymiseen väsymisrajaa ei esiinny, vaan hyvinkin pienet jännitysvaihtelut johtavat murtumaan kuormanvaihtokertojen lisääntyessä. [8, s. 122.]

Vastaavalla tavalla kuin jännityskorroosiossa, myös korroosioväsymisessä korroosion ja jännityksen osuus vaurion syntyyn vaihtelee. Korroosioväsyminen on esimerkiksi hyvin todennäköistä sellaisissa olosuhteissa, joissa materiaali on altis muille paikallisen korroosion muodoille, kuten pistekorroosiolle. Tällöin pinnan paikalliset korroosiovauriot toimivat jännituksen keskittäjänä. Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat erittäin alttiita korroosioväsymiselle kloridipitoisessa ympäristössä. [8, s. 122.]

Korroosioväsymistä esiintyy kuitenkin myös olosuhteissa, joissa materiaalin syöpyminen ilman dynaamista rasitusta on tasaista syöpymistä, samoin kuin hyvinkin lievissä korroosioympäristöissä. Tällöin jännitysvaihtelujen materiaalin pintaan aiheuttamat paikalliset muodonmuutokset rikkovat passivaatiokerroksen ja/tai muodostavat muihin pinnan osiin nähden epäjalomman alueen, joka anodisena syöpyy. [8, s. 122.]

Korroosioväsymistä aiheuttavia jännitysmuutoksia voi syntyä esimerkiksi

- putkistojen ja säiliöiden sisäpaineen vaihteluista,
- epätasaisesta höyry- tai nestevirtauksesta venttiileissä, sekä venttiilien käyttöön liittyvistä paineiskuista,
- putkistojen ja säiliöiden lämpölaajenemiskäyttämisen eroista,
- laitoksen tai prosessin ylös- tai alasajoista,
- ohelaitteiden, kuten pumppujen, kompressoreiden tai venttiilien, aiheuttamista värähtelyistä sekä
- paikallisista lämpötilavaihteluista.

Kaikista yleisimpiä korroosioväsymismurtumat ovat kuitenkin erilaisissa pyörivissä koneenosissa, kuten akseleissa. [10.]

5.4 Rakokorroosio

Sellaisissa ahtaissa raoissa, joihin liuos pääsee tunkeutumaan, mutta joissa se ei pääse vaihtumaan samalla tavalla kuin muilla metallipinnan alueilla, tapahtuu rakokorroosiota. Tavallisin tällainen korroosiotilanne syntyy seuraavissa tilanteissa:

1. Rakenne on geometrisiltä muodoiltaan tai valmistustekniikaltaan sellainen, että noin 0,025...0,1mm rakoja muodostuu liuoksen kanssa kosketuksissa oleville alueille. Yleensä tällaisia rakoja muodostuu erilaisiin niitti-, pultti- ja hitsausliitoksiin.
2. Metallin ja epämetallin kosketuspinnolla, kuten tiivisteliitoksissa, syntyy rakokorroosiota, mikäli esimerkiksi käytetty tiivistemateriaali on vettä absorboivaa, tai ei täysin peitä tiivistepintaa.
3. Metallin pinnalla on erilaisia kiinteitä partikkeleita, kuten hiekkaa, tai liasta tai korroosiotuotteista muodostuneita kiinteitä saostumia.

Rakokorroosiota esiintyy useimmilla metalleilla aina jaloista metalleista (hopea ja kupari) hyvin epäjaloihin metalleihin (titaani ja alumiini). Erityisesti ne metallit, joiden korroosiokestävyys on seurausta passivaatiosta, kuten ruostumattomat teräkset, ovat hyvin herkkiä rakokorroosiolle. Rakokorroosiota esiintyy erilaisten aggressiivisten liuosten, niin happamien kuin emäksistenkin, yhteydessä. Myös luonnonvedet voivat aiheuttaa rakokorroosiota. Erityisen vaarallisia ovat kloridi-ioneja sisältävät liuokset, kuten merivesi. [10.]

Rakokorroosion aiheuttaa liuoksen koostumuksen muuttuminen raossa sellaiseksi, että korroosio kiihtyy. Yleisimpänä korroosioparin muodostumisen syynä ovat happipitoisuuserot liuoksessa. Happiköyhempi alue raossa muodostuu anodiksi. Lisäksi raossa tapahtuvan hydrolyysireaktion vaikutuksesta liuoksen happamuus lisääntyy, jolloin passiivikerros, esimerkiksi ruostumattomilla teräksillä, muuttuu epästabiiliksi. Kloridi-ioneja sisältävissä liuoksissa reaktiomekanismi on samanlainen kuin pistekorroosionkin tapauksessa. [10.]

5.5 Hiertymiskorroosio

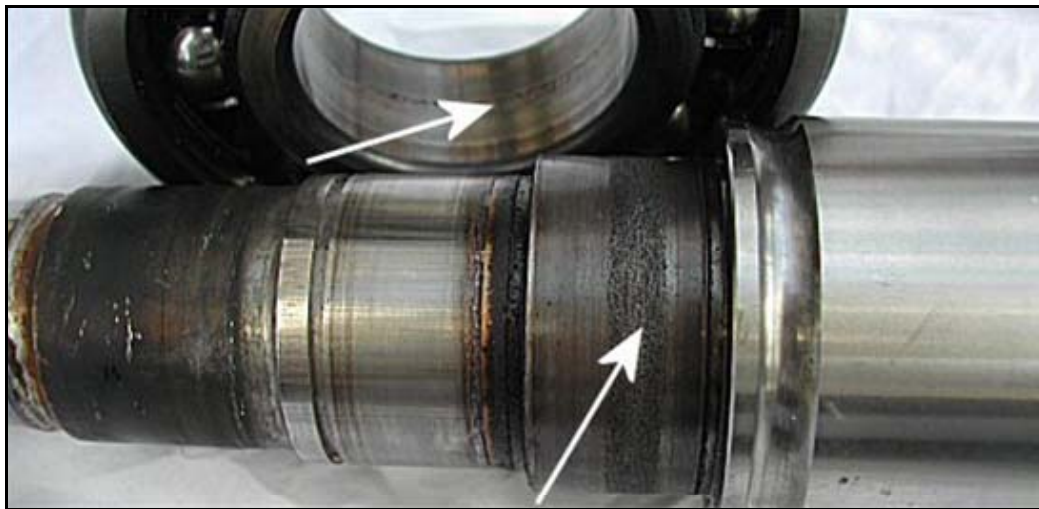
Hiertymiskorroosioilla tarkoitetaan kahden toisiaan koskettavan keskenään edestakaisessa tai värähtelevässä liikkeessä olevan kappaleen kosketuskohdan syöpmistä, jonka aiheuttaa kos-

ketuskohdassa tapahtuva jatkuva passiivikerroksen rikkoontuminen hiertymällä. Tätä korroosiota tapahtuu kahdessa toisiaan koskettavassa pinnassa tavallisesti kohtalaisen suuren pintapainekuormituksen ja hyvin pienen suhteellisen liikkeen vaikutuksesta.

Pintoja suojaavien passiivikalvojen rikkoontuminen antaa lähtökohdan rakokorroosion kaltaiselle syöplymiselle. Kosketuspaineiden epätasaisuus pintojen eri kohdissa saattaa jo riittää aiheuttamaan hiertymiskorroosiota, joka tapahtuu siten, että pinnan korkeat kohdat hitsautuvat vastapintaan ja murtuvat irti. Korroosiotuotteena hiertymiskorroosiossa irtoava metallioksidijauhe saattaa kiihdyttää korroosiota. Pintojen välissä nämä oksidihiukkaset aiheuttavat abrasiivista kulumista (hiertymiskuluminen). [8, s. 114, 171.]

Tyypillisesti hiertymiskorroosiota esiintyy pinnoilla, joita alun perin ei ole tarkoitettu liikkuviksi, mutta jotka ovat esimerkiksi kiristyksen löystyessä alkaneet värähdellä toistensa suhteen. Tyypillisiä hiertymisvaurioille alttuuta koneenosia tai rakenteita ovat puristusovitteet, pultti-, kitka-, ja kiilaliitokset, lautas- ja lehtijouset, laakerit sekä lankojen tai vaijereiden kosketuskohdat. [8, s. 114.]

Kuvassa 6 on tyypillinen hiertymiskorroosiovaurio. Puristusovitteessa pinnat ovat päässeet liikkumaan toisiaan vasten. Kuvassa olevat nuolet osoittavat vauriokohdat.



Kuva 6. Tyypillinen hiertymiskorroosiovaurio. [11.]

5.6 Korroosio merivedessä

Suomen rannikkojen merivedet kuuluvat murtovesivyöhykkeisiin, jonka suolapitoisuus vaihtelee 0,2...0,7 ‰ ja pH-arvo 6,5...8. Merivesiemme suolapitoisuus on vain noin kymmenesosa valtamerien suolapitoisuudesta. Tällainen vesi ei syövyttävyydeltään ole valtamerien vesien luokkaa. Siitä ei kuitenkaan minkäänlaisissa olosuhteissa muodostu metallin pinnalle korroosiota estävää suojakalvoa. Suolapitoisuudesta johtuen Itämeren vesi aiheuttaa pistekorroosion vaaran. Suomen merivesissä ongelmana ovat mikrobit ja muut kiinteät leväkasvustot. Nämä mikrobit ja leväkasvustot aiheuttavat ongelmia varsinkin lämmönvaihtimissa. [8, s. 248].

5.6.1 Mikrobit

Mikrobien merkitys korroosiossa on hyvin suuri. Mikrobit aiheuttavat korroosio- ja saostumisongelmia. Tavallisimpia vedessä haittaa aiheuttavia mikrobeja ovat rauta- ja mangaanibakteerit, sekä sulfaattia pelkistävä bakteeri. Mikrobit viihtyvät kaikkialla, missä on vähänkään vettä (esimerkiksi öljyssä riittää jo 1 ‰ vettä), ja lämpötila sekä pH-alueet sopivat. Mikrobikasvusto on voimakkainta lämpötila-alueilla 20...40 °C, mutta jatkuu aina noin 75 °C:seen. Mikrobikorroosiota edistävä pH-alue on 4,8...9. [8, s. 253, 432.]

5.6.2 Fouling-eliöt

Merivesilämmönvaihtimissa on vedenalaisilla pinnoilla erityisesti lounaisrannikolla esiintynyt fouling-haittoja. Näihin fouling-eliöihin kuuluvat alkueläimet, sienet, piilevät sekä bakteerien aiheuttama limoittuminen. Lämmönvaihtimissa on esiintynyt mm. sinisimpukoita, polyyppeja, merirokkoa ja levärupea. Runsaimmin fouling-eliöstöä esiintyy kevätkesästä syksyyn lämpimän veden aikana. Fouling aiheuttaa jäähdytysjärjestelmissä lämmönsiirron heikkenemistä, tukkeumia, korroosiota, ja lisäksi se kasvattaa virtausvastusta. [8, s. 253.]

5.6.3 Virtausnopeus

Korroosion nopeuteen vaikuttaa veden virtausnopeus. Mitä hitaampi virtausnopeus on, sitä alttiimpi kyseinen materiaali on korroosiolle. Tosin hyvin nopea virtausnopeus aiheuttaa kavitatiokorroosiota. Lauhduttimien virtausnopeuksilla 1,5–2,5 m/s on otettava huomioon mikrobiologisen kerrostuman aiheuttama rakokorroosio. Alle 1,5 m/s nopeuksilla on otettava huomioon lietteen ja sakkojen aiheuttama rakokorroosio. [8, s. 255.]

5.6.4 Rikkivety ja sulfidit

Rikkivetyä ja sulfideja voi luonnon vesissä esiintyä orgaanisen saastumisen seurauksena. Rikkivetyä on tavattu etupäässä syvänteissä, satama-alueilla, jokien suilla sekä viemärien laskuaukoilla. Sitä tuottaa myös sulfaattia pelkistävä bakteeri. Rikkivety (ja sulfidi) aiheuttavat teräksen ja kuparin korroosiota muodostaen kyseisten metallien pinnalle huokoisen, helposti irtoavan sulfidikerroksen. Erityisen vaarallinen on rikkivedyn (sulfidin) jännityskorroosiota lisäävä vaikutus. [8, s. 252.]

5.6.5 Metallit

Rauta esiintyy pohjavesissä kahdenarvoisena (Fe^{2+}). Kahdenarvoinen rauta on liuenneena vedessä. Pintavesissä rauta esiintyy kolmenarvoisena (Fe^{3+}) ja voi olla humusaineisiin kompleksisesti sitoutuneena. Kolmenarvoinen rauta sakkautuu tai on hiutaleina vedessä. Mangaani esiintyy tavallisesti raudan ohella, jolloin se on kahdenarvoisena. Rauta ja mangaanipitoinen vesi voi aiheuttaa syöpymistä, saostumia ja tukkeumia. [8, s. 253.]

6 TYÖN TOTEUTUS

6.1 Suodattimen fyysinen tutkiminen

Tutustuin merivesisuodattimeen ensimmäisen kerran käydessäni Kokkolassa 5.3.2007. Tällöin kävin katsomassa suodatinta teollisuusalueella. Samalla kerralla sain suodattimen piirustukset ja muuta materiaalia suodattimeen liittyen. Ennakkohuoltoteknikko Hannu Peltola esitteli minulle suodattimen toimintaa ja sen ongelmakohtia. Suodattimen puhdistuksen voi tehdä manuaalisesti, Siemensin logiikan avulla. Kokeilimme tätä puhdistustapaa. Puhdistusoperaatiossa suodatinta tärsi ja paukkui rajusti.

Puhdistuksessa aukaistaan venttiili, jolloin kolmen barin paineinen likavesi pääsee vapaasti tyhjää putkea pitkin likakaivoon. Suodattimen puhdistuksessa vesi pääsee menemään nopeasti tyhjään putkeen, ja se aiheuttaa voimakkaita paineiskuja putkessa.

Kesällä 2007 olin kesätyöntekijänä Maintpartner Oy:llä. Töideni ohella sain vapaasti tutkia vaurioitunutta suodatinta. Suodatinta oli koko kesän rikkinäisenä konepajan lattialla, joten minulla oli hyvät mahdollisuudet tutkia suodatinta aina, kun minulla ei ollut muita töitä.

Kolistusäänen kuuntelu

Tutkin suodattimen sidostankoja kolistelemalla niitä pajavasarella. Oletuksena minulla oli, että mahdollinen poikkeava ääni paljastaisi tulevia murtumakohtia. Nämä tutkimukset paljastivat, että yksi sidospultti oli mennyt poikki. Mutta koska sidospulttien murtumiset ovat olleet toistuvia vikoja, se viittaa siihen, että sidospultteihin pitäisi tehdä muutoksia.

Tunkeumaneste

Suodattimen käytössä olleita sidostankoja tutkittiin tunkeumanesteellä, jos se paljastaisi alkavia murtumia. Tunkeumanestekokeilut eivät paljastaneet minkäänlaisia hiusmurtumia sidostangoissa. Tunkeumanestekokeilut olivat tärkeitä, vaikka ne eivät tässä tapauksessa antaneet-

kaan meille lisätietoa vaurion etenemisestä. Kokeilemalla saimme kuitenkin varmuuden siitä, että alkavia murtumia ei vahvennetuissa sidostangoissa ole.

Mikroskooppitutkimukset

Suodattimen käytössä olleita sidospultteja tutkittiin mikroskoopilla Kokkolassa 15.4.2008. Mikroskooppitutkimukset paljastivat, että kierteiden pohjissa on alkavia murtumia (kuva 7). Kuvasta 7 näkyy myös manglausesta (muokkaavasta työstöstä) johtuva kierteen pohjaan muodostunut purse. Luonnollisesti kierteen pohja on ruuvien heikoin kohta johtuen kierteen lovivaikutuksesta. Vanha viisaus, että murtuma lähtee aina lovesta tai muusta pinnan laadun poikkeamasta, pitää paikkansa tässäkin asiassa. Kuvan 7 alaosassa on leikkaus kierteestä ja yläosassa on hartsia.



Kuva 7. Murtuma sidospultin kierteen pohjassa.

Tämä tutkimus todisti sen, että sidospulttien vaurioita tulee olemaan jatkossakin. Myös alkavat murtumat käytetyiden sidospulttien kierteiden pohjassa osoittavat, että aina suodattimen kokoonpanon yhteydessä tulisi käyttää uusia sidospultteja.

6.2 Kokkolan ja Kotkan merivesisuodattimien käyttöympäristöerot

Ongelman erikoisuutena on se, että Kotkassa on käytössä samanlainen suodatin kuin Kokkolassa, eikä sen toiminnassa ole ollut mitään ongelmia. Ehkä tärkein ero Kotkan ja Kokkolan suodattimen käytössä on se, että Kokkolassa oleva suodatin käyttää suolaista merivettä, toisin kuin Kotkassa oleva suodatin, joka käyttää makeaa Kymijoen vettä. Kokkolassa vesi otetaan satama-altaasta merenpohjasta. Satama-altaassa oleva vesi on hyvin likaista, koska laivojen potkurit nostavat mutaa meren pohjasta päivittäin. [12.]

Meriveden likaisuudesta johtuen oletan, että Kokkolassa oleva suodatin joutuu tekemään puhdistusoperaation useammin kuin Kotkassa oleva vastaava suodatin. Tällöin suodattimelle tuleva tärinäkin on Kokkolassa luonnollisesti runsaampaa kuin Kotkassa.

6.3 Johtopäätös tutkimuksen etenemiseksi

Edellä olevien tietojen perusteella päätin lähestyä tutkimusongelmaa korroosio-ongelmana. Pidän myös suodattimen rajua tärinää merkittävänä asiana, joka mielestäni osaltaan vaikuttaa Kokkolan merivesisuodattimen vaurioitumiseen.

6.4 Ongelman tarkastelu kirjallisuuden pohjalta

Työn aikana tehtyjen havaintojen ja kunnossapidon kokemusten perusteella merivesisuodattimen toimivuusongelmassa on kysymys jännityskorroosiosta ja korroosioväsymisestä, joita käsittelin teoriaosuudessa luvuissa 5.2 ja 5.3.

6.4.1 Jännityskorroosio

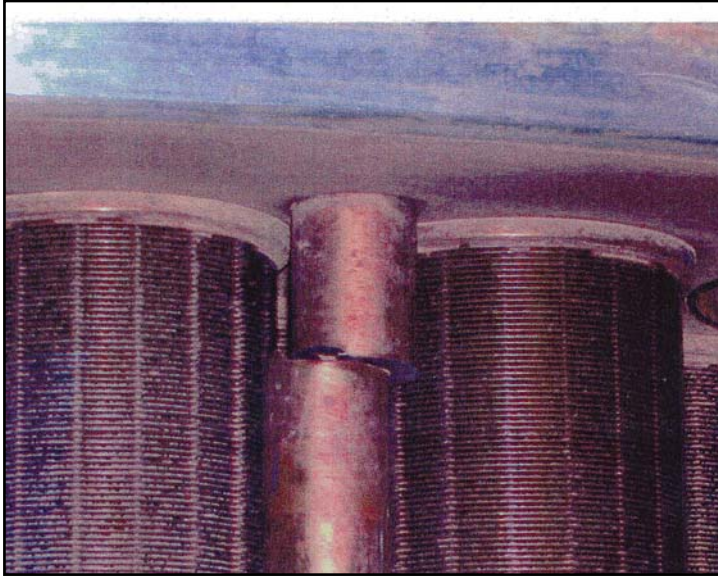
Sidostankojen vaurion syyksi epäilen jännityskorroosiota. On tosin muistettava, että kevään 2007 vauriossa vahvennetut sidostangot olivat kestäneet. Vielä on mahdotonta sanoa, onko sidostankoihin liittyvä ongelma lopullisesti poistunut, vai onko sidostankojen vikaantumisväli vain pidentynyt. Jännityskorroosiossa vetojännityksen alaiseen metalliin muodostuu ympäristön myötävaikutuksesta säröjä, jotka kasvaessaan voivat johtaa kappaleen totaaliseen murtumiseen. Tämä ulkoinen kuormitus, jota vaaditaan jännityskorroosion muodostumiseen, voi johtua liian kireästä ruuviliitoksen kiristysvoimasta.

Kuvassa 6 murtuma on vetojännityksen alaisessa paikassa, eli sidostangon kierteen kohdalla. Tämä kyseinen kierteen kohta on myös heikoin kohta, koska siinä materiaali on ohuinta. Sidostangot ovat umpiterästä, paitsi eivät kierteen kohdalta. Korroosiokäsikirjan [10, s. 172] mukaan jännityskorroosiossa vetojännityksen alaiseen metalliin muodostuu ympäristön myötävaikutuksella säröjä, jotka kasvaessaan voivat johtaa kappaleen totaaliseen murtumiseen. Yleistä korroosiota ei jännityskorroosion esiintyessä tapahdu juuri lainkaan.

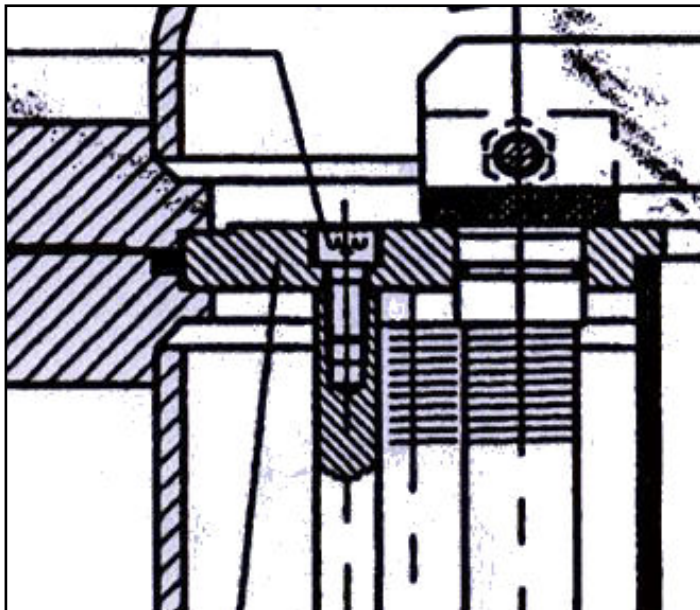
Kyseisissä sidostangoissa ei ollut havaittavaa korroosiota. Tämä viittaa siihen, että kysymyksessä olisi jännityskorroosio.

Jännityskorroosion olemassaoloa puoltaa myös se, että merivesi tulee satama-altaasta 10 metrin syvyydestä. Käsittelin teoriaosuudessa 5.5.4 *Rikkivety ja sulfidit* rikkivedyn merkitystä jännityskorroosioon. Rikkivetyä (H_2S) muodostuu tyypillisesti syvänteisiin ja satama-altaisiin orgaanisen saastumisen seurauksena. Kuten hyvin tiedetään, Itämeren ongelmana on happikato. Hapettomassa tilassa sulfaatista muodostuu rikkivetyä, ja tämä rikkivety on vaarallinen jännityskorroosiota edistävä tekijä. Rikkivety on mädälle kananmunalle haiseva myrkyllinen kaasu, jota syntyy hapettomassa tilassa mätänemisen seurauksena.

Kuvassa 8 oleva murtuma on kierteen kohdalla. Kuvassa 9 on sama sidospultin kierre, josta murtuma on lähtenyt liikkeelle. Molemmissa kuvissa kyseessä on siis sama kohde - toisessa valokuva, toisessa piirustus.



Kuva 8. Murtuma sidostangossa kierteen kohdalla, vuoden 2006 vauriosta. [1.]



Kuva 9. Murtuma sidostangossa kierteen kohdalla, piirustus. [1.]

6.4.2 Korroosioväsyminen

Kun rakenne joutuu värähtelyjen, vaihtosuuntaisen kuormituksen tai termisten vaihteluiden alaiseksi, materiaalin väsymislujuus määrää kestoiän. Korroosioympäristössä väsymiskestävyys muodostuu useimmiten huomattavasti pienemmäksi kuin ilman korroosioväliainetta, tässä tapauksessa merivettä. Väsymiskestävyyttä kuvataan jännitysamplitudin ja kuormanvaihtokertojen avulla, eli ns. Wöhler- tai S-N-käyrillä. Ilman korroosion vaikutusta mitatussa S-N- käyrässä materiaalilla voidaan havaita ns. väsymisraja, jota pienemmät jännitysamplitudit eivät aiheuta murtumaa. Korroosion vaikuttaessa väsymiseen väsymisrajaa ei esiinny, vaan hyvinkin pienet jännitysvaihtelut johtavat murtumaan kuormanvaihtokertojen lisääntyessä. [10, s. 122.]

Insinöörityöni kannalta seuraava Korroosioikäkirjan kohta on oleellinen: ”Korroosion vaikuttaessa väsymiseen väsymisrajaa ei esiinny, vaan hyvinkin pienet jännitysvaihtelut johtavat murtumaan kuormanvaihtokertojen lisääntyessä” [10, s. 122]. Merivesiympäristössä toimiva suodatin on korroosion, värähtelyjen ja vaihtosuuntaisten kuormitusten alainen.

Vastaavalla tavalla kuin jännityskorroosiossa, myös korroosioväsymisessä korroosion ja jännityksen osuus vaurion syntyyn vaihtelee. Korroosioväsyminen on esimerkiksi hyvin todennäköistä sellaisissa olosuhteissa, joissa materiaali on altis muille paikallisen korroosion muodoille, kuten pistekorrosiolle. Tällöin pinnan paikalliset korroosiovauriot toimivat keskittäjinä. Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat erittäin alttiita korroosioväsymiselle kloridipitoisessa ympäristössä [10, s. 122]. Tutkimani suodattimen sidospultit ja sidostangot ovat juuri austeniittista ruostumatonta terästä.

Merivesisuodattimen suodatinsauvojen korroosioväsyminen aiheutuu jännitysvaihteluista. Tällöin jännitysvaihtelujen materiaalin pintaan aiheuttamat paikalliset muodonmuutokset rikkovat passivaatiokerroksen ja/tai muodostavat muihin pinnan osiin nähden epäjalomman alueen, joka epäjalompana syöpyy. Edellä mainitut jännitysvaihtelut johtuvat suodattimen puhdistuksesta seuraavasta veden paineen ja virtaussuunnan vaihtelusta. Varsinkin suodattinsauvojen (kuva 10) vaurion syynä voisi pitää muodonmuutoksista johtuvaa passivaatiokerroksen rikkoutumista.



Kuva 10. Vaurioitunut suodatinsauva. [1.]

Passivaatiokerros korjaantuu itsestään hapettavassa ympäristössä. Mutta kyseiset suodatinsauvat ovat hapettomassa ja voimakkaasti korrosoivassa ympäristössä. Merivesiolosuhteissa passivaatiokerroksen korjaantumista ei tapahdu. Siis, kun suodatinsauvojen passivaatiokerros vaurioituu, niin mikään ei pysäytä korroosioväsytymisen etenemistä.

6.5 Sidospulttien katkeilu

Sidospulttien katkeilu ja löystyminen ovat olleet toistuvia ongelmia merivesisuodattimessa. Minulla on kaksi vaihtoehtoista teoriaa sidospulttien vaurion syyksi - väärin mitoitettu ruuviliitos ja jännityskorroosio. Itse arvelen, että sidospulttien vaurion syynä ovat molemmat, eli alimitoitettu ruuviliitos korrosoivassa ympäristössä.

6.5.1 Ruuviliitoksen mitoitus

Kuten hyvin tiedetään, löystynyt ruuviliitos ei kestä sivuttaista leikkausjännitystä. Ruuviliitos mitoitetaan kestävänsä vain vetojännitystä. Oletuksena on, että ruuvin esikivistyksestä aiheutuva pintojen välinen kitka riittää kumoamaan sivuttaisrasituksen. Mutta jos pintojen välinen kitka ei ole riittävä, tulee ruuvi mitoitaa niin, että se kestää leikkausjännitystä. Leikkausjännityksen laskeminen ruuville on suhteellisen epätarkka keino, ja siinä on käytettävä riittävä

varmuuskerrointa. Myös liitettävien materiaalien pinta-alalla ja laadulla on merkitystä sille, että saadaanko ruuviliitoksesta kitkaliitos, joka kestäisi sivuttaista rasiitusta. Sivuttaisrasitusta tangoille muodostuu veden virtauksesta.

Esitän, että ruuvien murtumisen syynä on löystynyt ruuviliitos. Ja löystynyt ruuviliitos ei kestä sivuttaisrasitusta varsinkaan, kun kyseinen ruuvi on täyskierreruuvi. Täyskierreruuvien lujuutta heikentää se, että kierrettä on myös liitoksen leikkauspinnassa.

6.5.2 Jännityskorroosio

Toiseksi sidospulttien vaurion syyksi esitän jännityskorroosion. Kuten kuvasta 2 näkyy, suodatinpatruuna tavallaan ”roikkuu” reunoistaan suodatinpesän sisällä. Tästä johtuen patruunan uloimmat sidostangot kokevat suurinta vetojännitystä. Patruunan uloimmissa sidostangoissa ja pulteissa on ollut toistuvia vaurioita. Mielestäni tämä sidospulttien vetojännitys kloridipitoisen meriveden kanssa aiheuttaa jännityskorroosiota sidospultteihin.

6.5.3 Sidospulttien parannuskeinot

Mielestäni sidospulttien ongelmana on alimitoitettu ruuviliitos korrosoivassa ympäristössä. On muistettava, että kyseisten sidospulttien lujuusluokka on 700 Mpa, eli 700 N/mm^2 . Koska pultti on M16, eli halkaisijaltaan 16mm. Tästä on helppo laskea pultin poikki pinta-alan kautta ruuvien vetomurtolujuus. Laskin yhden pultin vetomurtolujuudeksi n. 140 kN.

Uskon että pulttien vetomurtolujuus on riittävä, jos suodatin toimisi makeassa vedessä. Mutta kun suodatin toimii kloridipitoisessa merivedessä, niin pulttien lujuus jää liian pieneksi. Tämän mielipiteen todistaminen laskennallisesti on lähes mahdotonta, koska jännityskorroosion mekanismia ei täysin tunneta.

Suurimpien lujuusluokkien kuten 12.9, haponkestäviä ruuveja ei ole saatavilla ainakaan tavan omaisten ruuvitoimittajien luetteloissa. Mutta uskon, että vahvimpienkin lujuusluokkien haponkestäviä ruuveja olisi mahdollista saada erikoistilauksesta.

Mielestäni olisi järkevää vahventaa sidospulttien lujuutta tai vaihtaa niiden materiaalia paremmin korroosiota kestäväksi. Paremmin korroosiota kestävä materiaali olisi titaani. Titaanin lujuus on samaa luokkaa, mitä alkuperäisten AISI 316L olevien sidospulttien.

6.6 Ylimääräisen rautaesineen merkitys

Mainitsin luvussa 2.3 *Merivesisuodattimen vaurio*, että kevään 2007 vaurion yhteydessä suodattinpesän pohjalta löytyi ylimääräinen ruosteinen rautaesine. Tämä esine oli hyvin ruostunut ja selvästi siitä oli irronnut ruostetta. Minä pidän tällaisen ruosteisen rautaesineen löytymistä erittäin huonona asiana. Kuten teoriaosuuden luvussa 5.6.5 *Metallit* mainitsin, raudasta irtoava ruoste aiheuttaa saostumia ja tukkeumia. Tällainen irtoruoste ei kovin helpolla irtoa suodattimesta sen puhdistuksen aikana. Tämä irronnut ruoste aiheuttaa tukkeumia suodattimessa. Kuten kuvasta 11 näkyy, suodatin on kiinteän ruosteisen epäpuhtauden peitossa.



Kuva 11. Kevään 2007 vaurio.

6.7 Lujuusopillisen tarkastelun tarpeellisuus

Tässä insinööriyössä en ole tehnyt merivesisuodattimelle lujuusopillista tarkastelua useiden asioiden vuoksi. Selvitän tässä syitä siihen.

Ensinnäkin laskennan lähtöarvoissa olisi niin paljon epävarmuustekijöitä, jonka vuoksi myös tulosten luotettavuus olisi olematon. Lujuusopillisessa tarkastelussa suodattimen staattisista rasituksista saisin kohtuullisen luotettavia tuloksia. Mutta ongelmana olisivat suodattimen dynaamiset rasitukset, kuten paineenvaihteluista, veden virtauksesta ja suodattimen puhdistuksesta johtuvat rasitukset. Nämä dynaamiset rasitukset tulisi arvioida mielivaltaisesti, jolloin laskennan tulokset olisivat hyvin epäluotettavia. Toisin sanoen lujuusopillisen tarkastelun tulokset olisivat hyödyttömiä epävarmuustekijöistä johtuen.

Tehdessäni tätä insinööriyötä ollessani työharjoittelussa Saksassa, harjoittelun ohjaajani professori Merkel ehdotti, että tekisin suodattimelle FEM-analyysin. En alkanut tekemään tätä, koska minulla ei ollut suodattimesta tarkkoja piirustuksia. Ilman tarkkoja suodattimen mittoja tulokset olisivat epäluotettavat. FEM-analyysissä olisin tutkinut suodatinsauvojen värähtelyjä.

En epäile, etteikö saksalainen suodattimen valmistaja olisi mitoittanut suodatinta lujuusopillisesti oikein. Mutta luulen, että laitevalmistaja ei ole osannut ottaa huomioon suodattimen toimintaympäristöstä johtuvia tekijöitä, kuten merivedessä olevia epäpuhtauksia. Sitä, että suodatin on suunniteltu oikein, puoltaa se asia, että Kotkassa olevassa samanlaisessa suodattimessa ei ole ollut vastaavia ongelmia. Tämä asia viittaa siihen, että suodattimen toimintaympäristössä olisi syy käyttövarmuusongelmaan.

Tässä insinööriyössä olen esittänyt vaurion syyksi jännityskorroosiota ja korroosioväsymistä. Jännityskorroosiossa vauriot voivat syntyä huomattavasti myötälujuutta alemmassa jännitystilassa, jolloin lujuusopillinen tarkastelu ei anna oikeaa vastausta rakenteen todellisesta lujuudesta. Korroosioväsymisessä rakenteen väsymislujuus on huomattavasti heikompi, kuin ilman korrosoivaa väliainetta, tässä tapauksessa kloridipitoista merivettä. Toisin sanoen, korrosoivasta ympäristöstä johtuen lujuusopillinen tarkastelu ei anna oikeita tuloksia suodattimen todellisesta rakenteellisesta lujuudesta.

7 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Merivesisuodattimen toimintavarmuutta pitäisi parantaa, mutta ongelmana on suodattimen takuu; työn tilaaja ei ole halukas itse tekemään suodattimelle muutoksia niin kauan, kuin valmistajan takuu on voimassa. Tosin kenelläkään ei vielä olekaan kaikkia osapuolia tyydyttävää ratkaisua ongelmaan. Ymmärrettävästi insinööriyön tilaajan ei kannata tehdä suodattimelle mitään rakenteellisia muutoksia ilman laitevalmistajan hyväksyntää. Suodattimelle itse tehdyt rakenteelliset muutokset saattaisivat mitätöidä takuun. Oma haasteensa on perustella laitevalmistajalle suodattimen vaurion syy ja parannusehdotukset.

Laitevalmistajan viimeisin (kesällä 2007) korjauskeino oli korvata vaurioituneet suodatinsauvat umpitangoilla. Vaurioituneet suodatinsauvat ovat poistoputken kohdalla, eli paikassa, jossa on eniten virtausta. Tämän viimeisen korjauskeino onnistumista voimme arvioida vasta tulevaisuudessa.

7.1 Suodattimen parannusehdotukset

Kaikki ehdotukset eivät ole täysin minun keksimiäni, vaan ratkaisuvaihtoehtoihin olen saanut apua ja ideoita keskusteluissa eri asiantuntijoiden kanssa. Olen koonnut muutamia keinoja, joilla suodattimen toimivuus voitaisiin saada paremmaksi. Ratkaisuehdotusten toimivuudesta ei ole täyttä varmuutta ilman kokeellista toimintaa, tai ennen kuin niitä on käytännössä testattu. Tämän insinööriyön tilaajasta riippuu, miten näitä ehdotuksia päätetään hyödyntää käytövarmuusongelman poistamiseksi.

7.1.1 Merivesisuodattimen puhdistusoperaation säätäminen

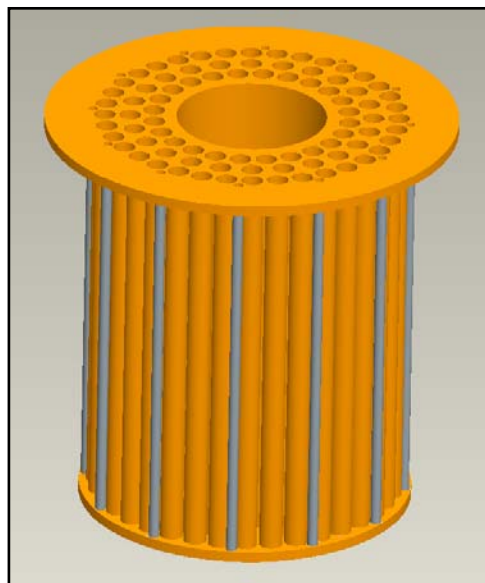
Mielestäni suodattimen yksi vioittumisen syy on liian raju suodattimen puhdistusoperaatio. Puhdistuksessa aukaistaan venttiili, jolloin kolmen barin paineinen likavesi pääsee vapaasti tyhjää putkea pitkin likakaivoon. Haitalliset paineiskut saavat aikaan sen, että putkessa on samaan aikaan vettä ja ilmaa. Tässä tilanteessa vesi kerääntyy ”mälleiksi”, jotka törmäilevät kovalla voimalla putken mutkiin. Suodattimen puhdistus tulisi säätää niin, että vesi ei pääse

liian nopeasti menemään tyhjään putkeen, sillä se aiheuttaa voimakkaita paineiskuja putkessa. Nämä putkessa olevat paineiskut siirtyvät runkotärinä suodattimelle, mikä taas mahdollisesti rikkoo suodattimen. Erilaisia säätöjä onkin jo kokeiltu. Mutta ongelmana puhdistusoperaatiossa on se, että puhdistuakseen suodatinputket tarvitsevat riittävän paineiskun, eli puhdistusta ei voi säätää liian hitaaksi.

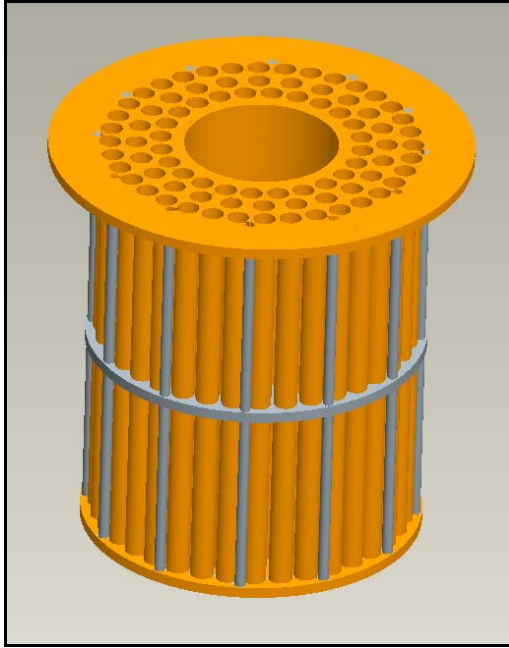
7.1.2 Rakenteen jäykistäminen

Rakenteen jäykistäminen olisi ongelmaan ehkäpä kaikkein toimivin ratkaisu, eli käytännössä jäykistettäisiin suodatinpatruunan rakennetta. Rakenteen jäykistämällä vähennettäisiin suodatinsauvoille tulevaa haitallista tärinää. Tämä tärinä ja korrosoiva merivesiympäristö aiheuttavat korroosioväsymistä suodatinsauvoille. Suodattimen jäykistämisen voisi hoitaa laipalla, joka tulisi suodatinpatruunan puoliväliin.

Kuvassa 12 on merivesisuodatin ilman jäykistinlaippaa. Kuvassa 13 on merivesisuodatin jäykistettynä laipan kanssa. Laippa hitsataan sidostankoihin täppäämällä kiinni. Laippa on rei'itetty suodatinsauvojen ja sidostankojen kohdalta. Laipan tehtävänä on tukea suodatinsauvoja ja estää niiden värähtely. Olen mallintanut molemmat kuvat Pro-Engineer-ohjelmalla.



Kuva 12. Merivesisuodatin ilman jäykistinlaippaa.



Kuva 13. Merivesisuodatin laipalla jäykistettynä.

7.1.3 Merivesisuodattimen värinän vaimennus

Kyseinen merivesisuodatin on pultattu kiinteästi betonianturoihin kiinni. Mielestäni tämä ei ole hyvä ratkaisu, koska kysymyksessä on värisevä laite. Jos laite olisi valurautaa, tällainen vaimentamaton kiinnitysratkaisu olisi toimiva. Valurautainen rakennehan vaimentaa itse värinää.

Suodattimen materiaalinahan on austeniittinen haponkestävä teräs, joka on tunnettu huonosta värinän kestävydestä. Austeniittinen rakenne ei myöskään vaimenna värinää.

Mielestäni tässä suodattimessa olisi hyvä olla samanlaiset värinän vaimentimet kuin muissakin värisevissä laitteissa ja moottoreissa. Tunnettu tosiasia on, että jos esimerkiksi auton moottorista poistetaan kumityyny, niin moottorin oma värinä rikkoo rakenteita.

En kuitenkaan usko, että värinän vaimentamisella tässä tapauksessa saataisiin niin suurta hyötyä, että sitä kannattaisi enää jälkikäteen tehdä.

7.1.4 Uhrimetallin käyttö

Mielestäni uhrimetallin käyttöä voisi kokeilla merivesisuodattimen tapauksessa. Uhrimetallin käytön perusteluna on, että merivesisuodattimen vaurion syyksi oletetaan korroosiota. Uhrimetallia käytetään veneissä ja laivoissa ehkäisemään korroosiota. Yleensä uhrimetallina käytetään sinkkianodia. Suolainen merivesi aiheuttaa helposti sähköparin, jossa epäjalompi aine, eli tässä tapauksessa sinkkianodi, syöpyy. Sinkki toimii uhrimetallina, jolloin arvokkaampi ja jalompi metalli säilyy ilman korroosiota.

Minulla ei ole kirjallisuuden pohjalta tietoa siitä, että voiko uhrimetallilla suojautua korrosioväsymistä vastaan. Kuten aikaisemmin teoriaosuudessa mainitsin, niin korrosioväsymisen ja jännityskorroosion mekanismeja ei täysin vielä tunneta. Ehdottaisin, että jos merivesisuodatin vielä vaurioituu, niin kannattaisi tutkia uhrimetallin käyttömahdollisuuksia merivesisuodattimen käyttövarmuusongelmassa.

7.1.5 Sidostangoiksi duplex-terästä

Sidostankojen materiaalin vaihtaminen olisi yksi suodattimen parannuskeino. Materiaaliksi sidostankoihin ehdotan duplex-terästä. Duplex-teräs on austeniittis-ferritiittinen kaksi faasiteräs. Materiaalina se on kalliimpi kuin tavallinen haponkestävä ruostumaton teräs. Mutta duplexin jännityskorroosiokestävyys kloridipitoisessa ympäristössä on parempi mitä austeniittisellä ruostumattomalla teräksellä. Sidostankojen ongelmana pidän jännityskorroosiota, mikä duplex-teräksellä voitaisiin poistaa.

Duplexin myötölujuus on noin kaksinkertainen austeniittiseen teräkseen verrattuna. Näin ollen sidostangot jäykistyisivät huomattavasti, jos ne valmistettaisiin duplexista samanvahvuksena, mitä alkuperäiset austeniittiset sidostangot.

Suodatinsauvoihin duplex-terästä ei voi käyttää, koska se on magneettinen materiaali. Magneettinen materiaali saattaisi kerätä itseensä metallihiukkasia. Alkuperäiset suodatinsauvat ovat austeniittia, joka on epämagneettinen materiaali.

7.1.6 Sidospulteiksi titaaniruuvit

Mielestäni olisi järkevää tutkia titaaniin käyttömahdollisuutta sidospulttien materiaalina. Titaani on kevyt ja hyvin korroosiota kestävä materiaali. Tässä yhteydessä titaaniin korroosiokestävyys on tarpeellista.

Titaaniin lujuus on hiukan terästä huonompi. Titaaniin kimmo-moduuli on puolet teräksen kimmo-moduulista. Tässä se tarkoittaa sitä, että jos titaanipultti valmistettaisiin saman vahvuusena kuin alkuperäinen teräspultti, niin titaanipultin venymä on kaksinkertainen teräspulttiin verrattuna. Eli teräs on kaksi kertaa jäykempi materiaali, mitä titaani. Jos halutaan titaanirakenteesta yhtä jäykkä kuin teräsrakenteesta, on käytettävä kaksinkertaista vahvuutta.

Eli jos alkuperäiset teräsruuvit korvattaisiin samanvahvuusilla titaaniruuveilla, niin ruuviliitoksen jäykkyys ja lujuus heikkenisi, mutta korroosion kesto paranisi.

On vaikea arvioida, onko tässä tapauksessa mielekästä korvata titaanipultit saman vahvuusena, mitä alkuperäiset haponkestävät teräspultit.

7.2 Tulosten tarkastelu

Ratkaisuehdotusten luotettavuutta heikentää se, että en ole voinut kokeellisesti todistaa niitä oikeiksi. Olen antanut ratkaisuehdotukset teorian perusteella. Valitettavasti minulla ei ole edellytyksiä todistaa kokeellisesti jännityskorroosion ja korroosioväsymisen olemassaoloa. Syynä tähän on se, että Ammattikorkeakouluopintoihin ei kuulu tieteellinen tutkimustyö. Jännityskorroosion ja korroosioväsymisen mekanisme ei tunneta täysin, olisin kiinnostunut näiden asioiden tutkimisesta, mutta valitettavasti minulla ei ole edellytyksiä tehdä luotettavia tutkimuksia aiheesta.

Se, että voisin yksiselitteisesti todistaa, että sidospulttien ongelmana on jännityskorroosio eikä esimerkiksi rakokorroosio tai hiertymiskorroosio, vaatisi lisätutkimuksia. Mielestäni tämä asia voitaisiin tutkia aika helposti. Tällainen tutkimus voitaisiin tehdä niin, että haponkestäviä pultteja kiristetään lähelle niiden myötärajaa. Nämä ruuviliitokset upotettaisiin meriveden/suolaliuokseen. En osaa sanoa, mikä olisi sopiva ajanjakso tutkimusjaksoksi. Jos tällaisen kloridikylvyn jälkeen ruuvien kierteessä olisi mikroskoopilla havaittavissa alkavia murtu-

mia, niin selitys olisi yksiselitteisesti jännityskorroosio. Edellä mainittu tutkimus poistaisi ruuviliitoksen dynaamisten rasitusten vaikutuksen ruuvien vaurioon.

8 YHTEENVETO

Insinööriyön tilaajana oli kunnossapitoyritys Maintpartner Oy. Maintpartner Oy on Kokkolan suurteollisuusalueella sijaitseva palvelu- ja infrayhtiö, joka tarjoaa ja kehittää infrastruktuuri- ja tuotannon tukipalveluita.

Työssä analysoitiin Kokkolan merivesisuodattimen vaurioita. Merivesisuodattimen vaurioituminen on ollut jatkuva ongelma koko suodattimen elinajan. Ongelmana oli erityisesti sidostankojen, sidospulttien ja suodatinsauvojen katkeilu.

Lähestyin ongelmaa korroosion teorian kautta. Tarkastelin austeniittisten terästen korroosioominaisuuksia merivesiympäristössä. Vaurioitunutta merivesisuodatinta tutkittiin kesällä 2007 Kokkolassa ja vauriomekanismeja etsittiin mm. erilaisia värähtelyäniä tutkimalla

Esitin tässä työssä suodatinsauvojen vaurion syyksi korroosioväsymistä. Korroosioväsymistä ilmenee korrosoivassa ympäristössä vaihtelevan rasituksen alaisissa teräsrakenteissa. Korrosoivassa ympäristössä teräsrakenteen väsymislujuus voi olla huomattavasti pienempi, mitä ilman korrosoivaa väliainetta. Ratkaisuksi ongelmaan esitin rakenteen jäykistämistä laipalla, jolloin suodatinsauvojen haitallinen värinä vähenisi.

Sidostankojen vaurioitumisen syyksi esitin jännityskorroosiota. Suodattimen uloimmaisille sidostangoille muodostuu huomattavaa vetojännitystä. Tämä vetojännitys korrosoivassa merivesiympäristössä aiheuttaa jännityskorroosiota. Sidostankojen parannusehdotuksena esitin niiden valmistamisen duplex-teräksestä.

Sidospulttien vaurion syyksi oletin väärin mitoitetta ruuviliitosta korrosoivassa ympäristössä. Ehdotukseni ongelman poistamiseen oli, että ruuviliitosta tulisi vahventaa, tai korvata alkuperäiset teräksiset sidospultit titaanipulteilla.

Tämän insinööriyön tekeminen oli hyvin haastavaa, mutta samalla antoisaa. Oli mielenkiintoista huomata, kuinka teorian tieto tuki vahvasti omia ennakkokäsityksiäni ongelman luonteesta. Käytännön osuutta tehdessäni tapasin mielenkiintoisia ihmisiä, joiden mielipiteet avasivat myös omaa näkemystäni merivesisuodattimen toimintaongelmista.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tuoda ratkaisuja merivesisuodattimen käyttövarmuusongelmaan. Ratkaisujen toimivuutta ei voi ennustaa, ennen kuin niitä päästään kokei-

lemaan käytännössä. Mielestäni tämän työn tuomia tuloksia voidaan hyödyntää myös muissa merivesiympäristössä toimivissa laitteissa, joissa on korroosio-ongelmia.

LÄHTEET

- [1] Maintpartner Oy:lta saatu merivesisuodattimeen liittyvä materiaali.
- [2] Laitinen Esko, Konetekniikan materiaalioppi, Oy Edita Ab, Helsinki 1997, ISBN 951-37-2226-0
- [3] Outokummun tuote-esite [www-dokumentti]
<http://www.outokumpu.com/29152.epibrw> (Luettu 11.3.08).
- [4] Bollfilter tuote-esite. [www-dokumentti]
<http://www.bollfilter.fi/finsk/produkte/p-selfclean.htm> (Luettu 15.1.2008).
- [5] Kunnossapitoyhdistys ry. *Kunnossapito*. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 10. Oy Kotkan Kirjapaino Ab, Hamina, 4. uudistettu painos, elokuu 2007. ISBN 978-952-99458-3-2.
- [6] *ABB:n TTT -käsikirja 2000-07*, Kunnonvalvonta osana kunnossapitoa [www-dokumentti]
[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/230_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/230_0007.pdf).
- [7] Tampereen teknillinen yliopisto, Materiaaliopin laitos, *Materiaalit ja niiden valinta*, Luento 8, Terästen ryhmittely. [www-dokumentti]
http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_1_4.php (Luettu 9.11.2008)
- [8] Kunnossapitoyhdistys ry. *Korroosiokäsikirja*. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 12. Oy Kotkan kirjapaino Ab, Hamina, 2006. 930 s. ISBN 951-97101-7-5.
- [9] Tampereen teknillinen yliopisto, Materiaaliopin laitos, 2004. *Materiaalit ja niiden valinta*. Luento 18, Korroosio. [www-dokumentti] http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_2_1_6.php (Luettu 31.10.2007).
- [10] Opetushallitus, *Kunnossapito menestystekijä*, Korroosionesto, Rakokorroosio [www-dokumentti]
http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html (Luettu 28.1.2008).
- [11] Tšhekin kielen autoiluun liittyvä keskustelupalsta. [www-dokumentti]
<http://oleje.cz/forum/viewtopic.php?t=1650> (luettu 12.3.2008).

[12] Hannu Peltola, Merivesisuodattimen esittelytilaisuus 5.3.2007, Merivesipumppaamo, Kokkola.

LIITTEIDEN LUETTELO

LIITE 1. LAITTEVALMISTAJAN ESITE

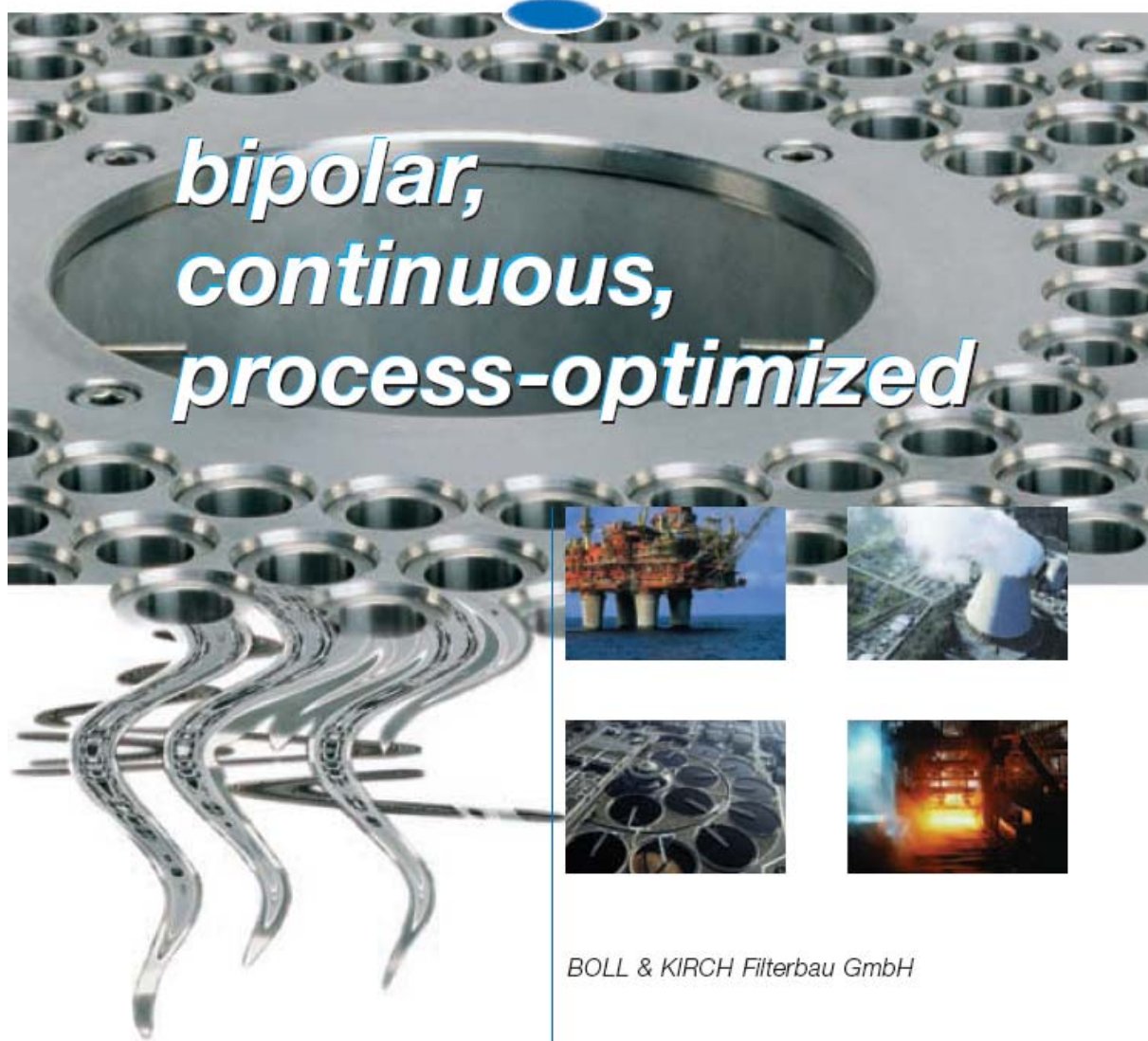
LIITE 2. KUVIA MERIVESISUODATTIMEN VAURIOISTA

LIITE 1. LAITEVALMISTAJAN ESITE



Safety needs quality.

**BOLL Automatic Filter
SELF CLEAN
TYPE 6.18**



BOLL & KIRCH Filterbau GmbH

THE TASK

Balancing Economy with Efficiency

The economic operation of modern factories, in which large volumes of cooling water in open or closed cooling circuits, process water and waste-water are used, places the highest requirements on the filtration process.

The filters used here must

- ensure through their precision that the fluid to be treated is cleaned to a defined degree,
- guarantee through their reliability the uninterrupted and faultfree operating of the complete plant and



*Large-scale plants such as power stations require the shortest possible set-up and downtimes.
For further areas of application see page 7.*

- contribute to keeping operating costs low through minimum maintenance and long-in-service lives.

The BOLL Automatic Filter SELF CLEAN types 6.18 and 6.19 fulfill these require-

ments in optimum fashion. With their unique bipolar mode of functioning in filter and backflush modes, they set the process quality and performance standards in the field of water filtration.

THE SOLUTION

Filter candle open at both ends

BOLL SELF CLEAN types 6.18 and 6.19 use cylindrical filter candles open at both ends with dynamic throttling at the top.

The fluid to be filtered flows via the two ends into the inside of the candles. In this way the particles of contamination to be filtered out are retained over the whole length of the inside of the candles so that the full filtering area is uniformly used. ①

When the contamination deposited on the inside of the candle reaches a level at which cleaning of the filter becomes necessary, the backflushing process is initiated automatically. A geared motor sets the cleaning device in action. A covering arm moves over the upper, open end of the filter candle and closes it. At the same time the flushing arm at the lower end is turned and the sludge release valve is opened. In this way a high axial flow is established in the filter candle.

Simultaneously the pressure gradient that arises permits a smaller quantity of fluid to flow in reverse-flow from above through the filter candle. The rotating throttle with PTFE covering plates locates at the upper end of the filter candles for deliberate cross-flow backflushing and distribution of the backflushing energy over the full length of the candle. The combination of axial-flow and cross-flow produces an optimal backflushing effect with uniform cleaning along the full length of the candle. ②

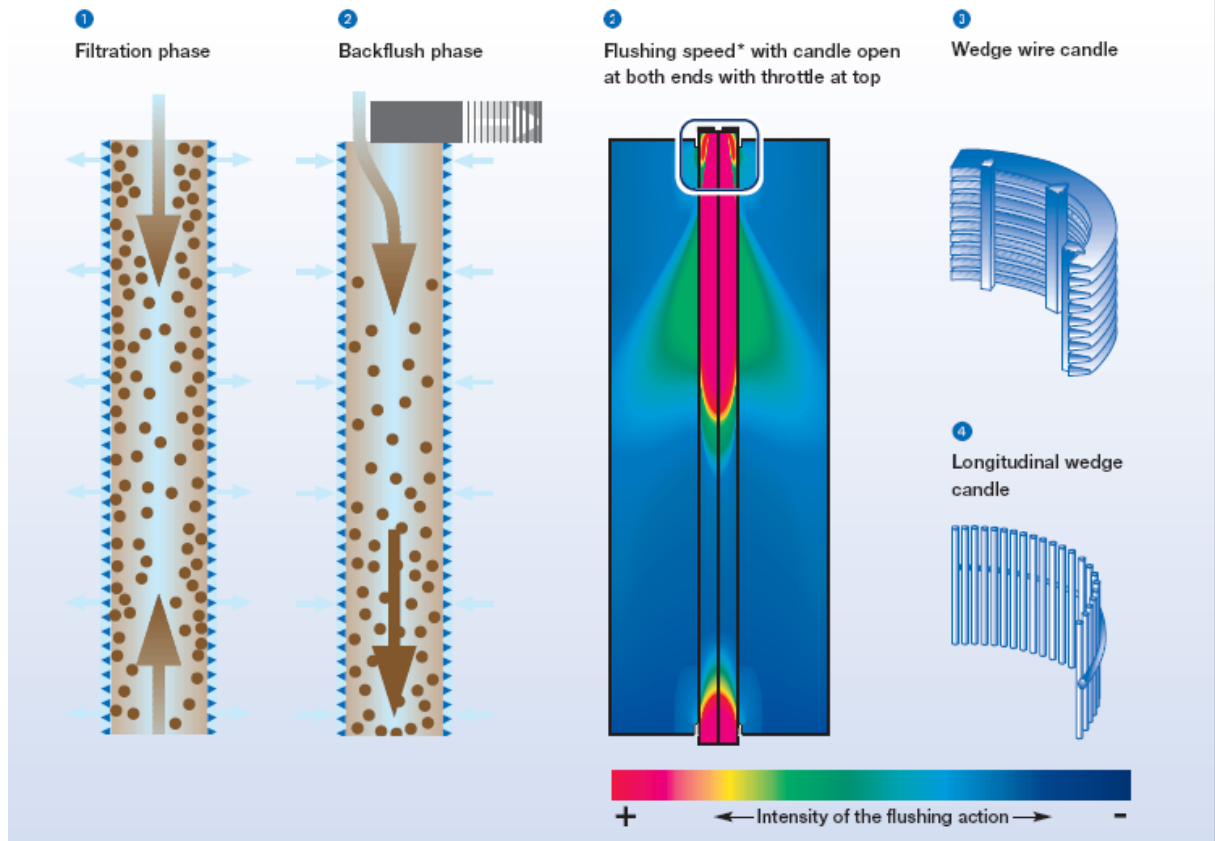
Thanks to this bipolar functional principle with cylindrical filter candles open at both ends, ③ the BOLL 6.18 and 6.19 filters possess several advantages over filters with conical or expanding disc filter elements

- They have to be replaced less frequently than conical ④ and cylindrical ⑤

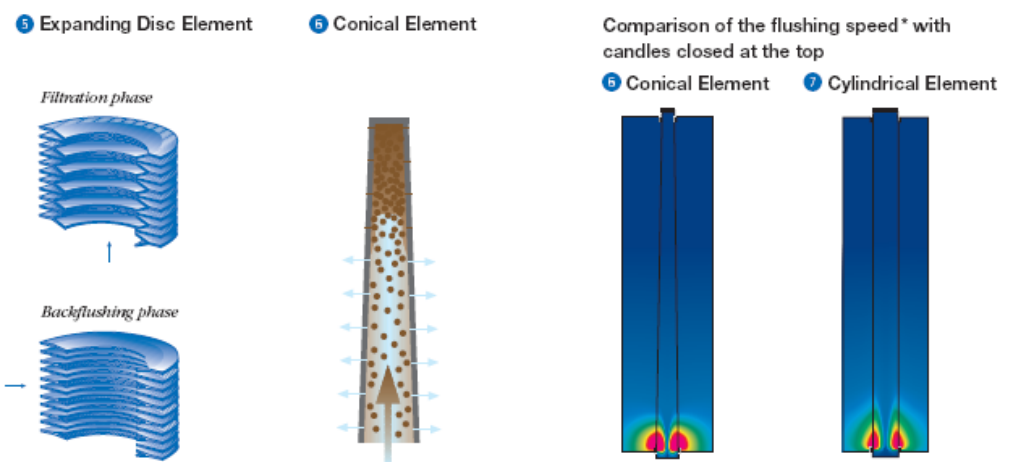
candles, because the effective backflushing ⑥ prevents the candles becoming progressively blocked. Saving both labour and spare parts costs.

- The way in which solids are separated is significantly more reliable than with expanding disc elements, because there is a danger that particles of contamination will stick in between the expanding discs ⑦. At the point of changeover from backflushing to filtration, these trapped particles can be released and the defined degree of filtering will no longer be achieved.
- In contrast to conical and expanding disc filter elements, BOLL candles can be supplied with longitudinal wedge wires ⑧. This produces superior cleaning results particularly with fibrous contaminants.

Filter candles open at both ends – the bipolar functional principle



Candle designs with lower flushing action



*MET Motoren- und Energiechnik GmbH, Rostock, Prof. Dr.-Ing. habil. S. Bludszuweit, Dipl.-Ing. M. Britsch and Dipl.-Ing. Claudia Escher, 1995/1998.

Safety needs quality.

THE CONCEPT

Designed from experience to be flexible and application oriented

The precision manufactured BOLL SELF-CLEAN type 6.18 and 6.19 automatic filters are robustly constructed of a material suitable for the specific application, cast iron, carbon steel or stainless steel. Based on years of experience in this field, the design is both, simple for ease of maintenance and effective for precise filtration levels. Available in a range of sizes, connection flanges up to 9000 m³/h. The filter elements and all internal parts, connecting tubes and unions are of chrome-nickel-molybdenum steel (Cr.Ni.Mo. steel). The sole moving parts are the flushing arm ❶ and the covering arm ❷. The plastic bushes of these are self-adjusting. The sliding bearing and the flushing bushes of plastic are sealed against contamination.

In filtering mode the fluid to be filtered reaches the lower part of the housing via the inlet flange ❸. A part flow of approx. 50% of the unfiltered medium is led via the central riser pipe ❹ in the filter insert

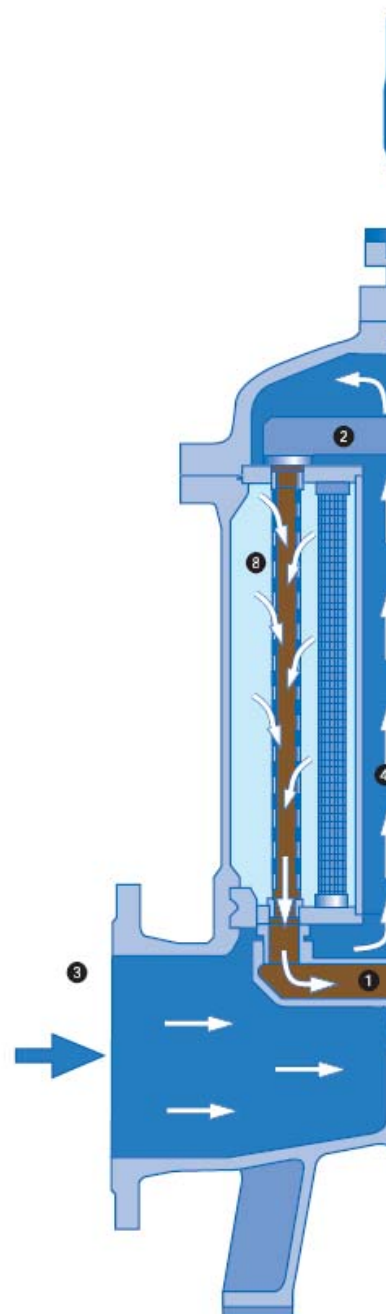
into the upper part of the housing and from there downwards into the open end of the filter elements ❺. The other half flows from the bottom upwards into the filter element ❻. The filtered fluid passes to the outside via the gaps ❼ in the candle. Gap widths down to 50 microns are possible. During the backflushing cycle, the candles are cleaned one after the other without the filtration process being interrupted. The injection flow generated ❸ prevents blocking in the upper part of the filter element. Backflushing can be carried out with the filtrate fluid (type 6.18) or an external medium (type 6.19), selection being based on the plant operating pressure. Steam or water at high pressure is used as the external medium at operating pressures of less than 2 bar or when sticky contaminants are present. Backflushing is initiated as a function of the differential in pressure ❷ between the inlet and outlet or at programable intervals.

THE ADVANTAGES

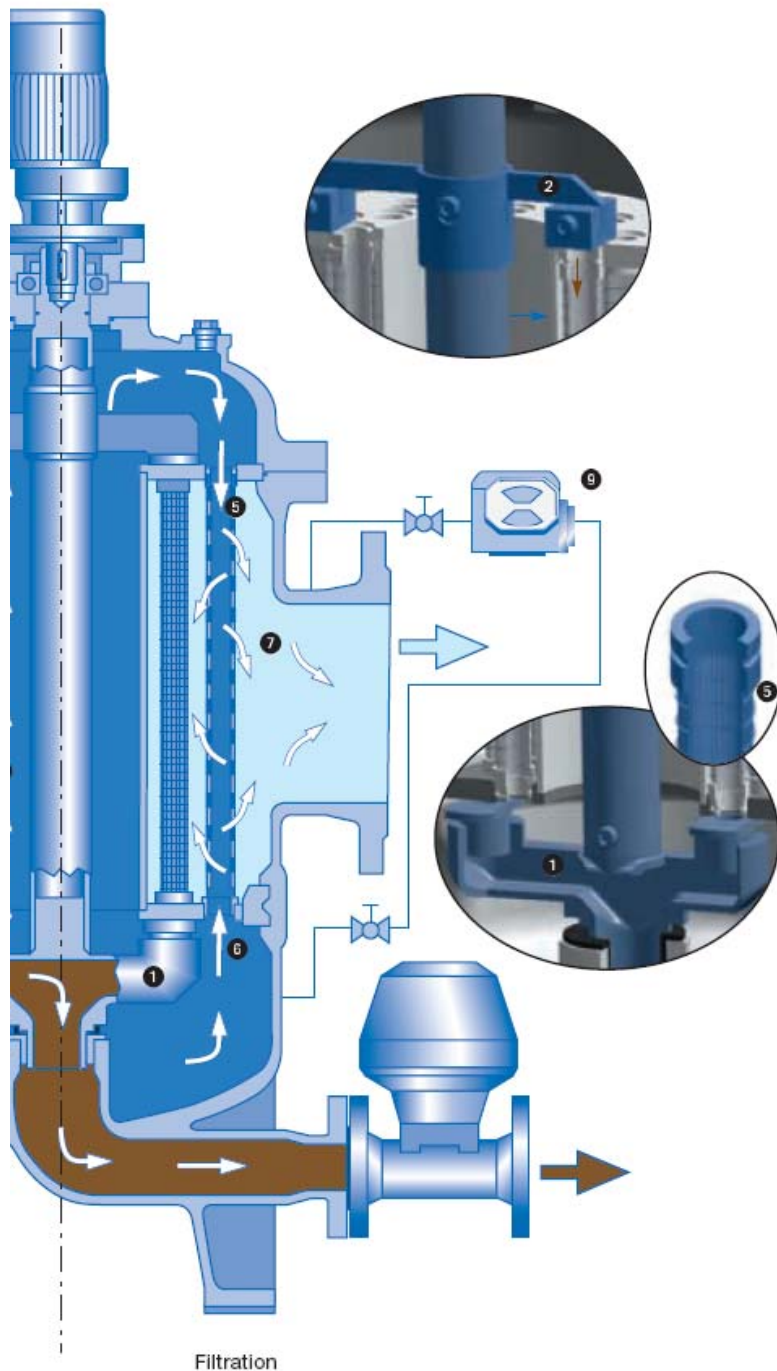
Economical and ecologically trend-setting

The economical optimum can be expressed as "as much as possible" for "as little as necessary". For those making capital investment decisions, optimum expenditure can be expressed as either, "as little as possible" or, "as much as is necessary". The more capital-intensive the plant and machinery, the greater the necessity for a one-off expenditure on a high quality filtering system. In existing plant too, long-term economies can be made by selecting effective and efficient filter systems. The installation of proper filtration is the mark of a progressive business.

BOLL filters protect high-value capital equipment from premature wear by filtering the dirt out of the contaminated fluid in a consistent manner and feeding the cleaned fluid back into the process again. They contribute to securing the operational reliability of the plant in a continuous and long-term manner. This saves resources while sparing the environment and reducing costs. In this way BOLL filters are the best insurance for both product and process, providing the opportunity for reinvestment, growth and profit.



Backflushing

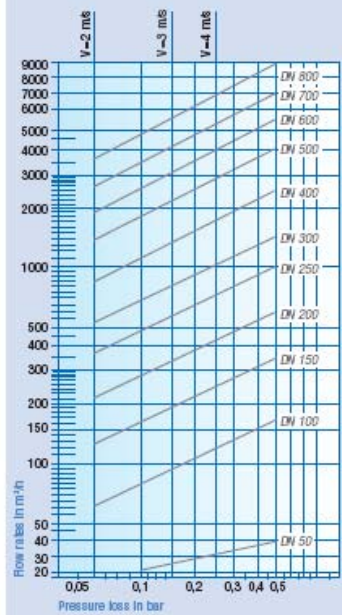


Control and monitoring

Part of the standard scope of delivery of the backflushing filter is the electronic control type 2100 with the following features and functions:

- Three buttons for operation
- Adjustable overcurrent value
- 5-place, 7-segment LCD
- Function display: backflushing process, number of backflushing cycles, malfunction
- CPU board with nonvolatile EPROM and program memory
- I.O. board in the switch box

Flow rates of water



Of decisive importance for the design and sizing of a filter are the operational parameters. The size has to be selected on the basis of the flow rate, the degree of contamination, the filtration degree required and the permissible pressure loss in the filter. The diagram shows the flow rates with water at different nominal diameters at a filtration degree of 0.5 mm as a function of the pressure drop.

THE COMPLETE OFFER

Quality thanks to specialization

At BOLL & KIRCH, we concentrate exclusively on the design and fabrication of filters for fluids. BOLLFILTER products are the result of our own research and development and many are protected by patent. Customers can take advantage of our specialist know-how by involving BOLL & KIRCH engineers in their projects right from the earliest stages. The combination of expertise on both sides in a simultaneous engineering environment will ensure perfect results.

BOLL & KIRCH's global presence in all important industrial centres guarantees customers anywhere in the world, service of the scope and reliability they have a right to expect from a supplier of technologically sophisticated filter systems. A component of this service system is the promise that BOLLFILTER Genuine Parts will be dispatched to any part of the world within 24 hours.

Economic manufacturing on CNC and DNC controlled machine tools.

Our various stores and logistics systems underpin speedy and efficient production.

BOLLFILTER Genuine Parts leave the central warehouse within 24 hours of order.



THE DETAILS

In summary form

	SELF-CLEAN Type 6.18 backflushing with filtrate fluid	SELF-CLEAN Type 6.19 backflushing with external medium
Areas of application	filtration of water and emulsions	filtration of water and emulsions
Max. flow rate	9000 m ³ /h	2500 m ³ /h
Max. filter fineness	50 microns	50 microns
Nominal diameter of connection flange	50 - 900 mm	50 - 400 mm
Operating pressures	from 0 to 16 bar (higher pressures on request)	from 0 to 16 bar (higher pressures on request)
Housing material	gray cast iron casting or welded steel	gray cast iron or welded steel
Backflushing medium	filtrate fluid	external medium
Backflushing control	as function of time or differential pressure	as function of time or differential pressure
Filter candle type	cylindrical candles open at both ends	cylindrical candles open at both ends
Candle types	lateral or longitudinal wedge or wire mesh	lateral or longitudinal wedge or wire mesh
Optional accessories	dirt pump in the sludge removal line	dirt pump in the sludge removal line booster pump

Examples of areas of application for BOLL Automatic Filters

SELF CLEAN TYPE 6.18 and TYPE 6.19:



- 1. Chemical and petrochemical industry**
 - Process water
 - Cooling water for production, air conditioning systems and power stations
 - Fire protection



- 2. Sewage treatment plants**
 - For filtering of treated effluent for use as process water
 - For filtering of effluent to be discharged into open bodies of water



- 3. Paper industry**
 - Process water
 - Washing (injection) water for the paper machine



- 4. Offshore industry**
 - Injection water for oil rigs



- 5. Heating, refrigerating and air-conditioning systems**
 - Cooling water for building systems (e.g. for air-conditioning plant, computer room)



- 6. Mining**
 - Process water
 - Cooling water



- 7. Automobile industry**
 - Process water, cooling water for welding shops, air-conditioning systems and power stations
 - Fire extinguishing water



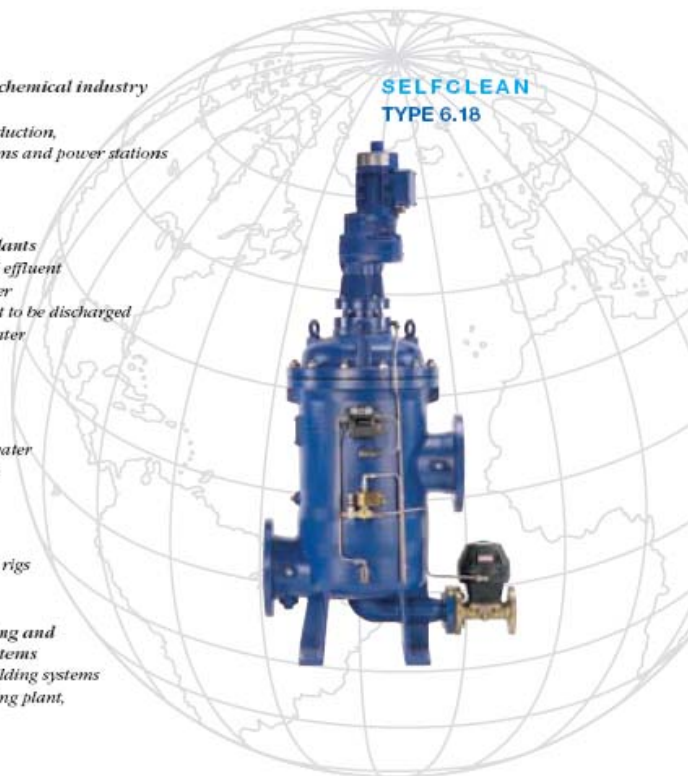
- 8. Steelworks**
 - Cooling water for rolling mills, skin-pass stands, heat treatment systems
 - Quenching water for continuous casting lines



- 9. Artificial snow**
 - Operating water for snow-making machines

Power stations (see photo on page 2)

- Cooling water for turbines and oil circuits
- Sealing water for the axial face seal of the turbine shaft



**SELF CLEAN
TYPE 6.18**



**SELF CLEAN
TYPE 6.19**

Safety needs quality.

LIITE 2. KUVIA MERIVESISUODATTIMEN VAURIOISTA.



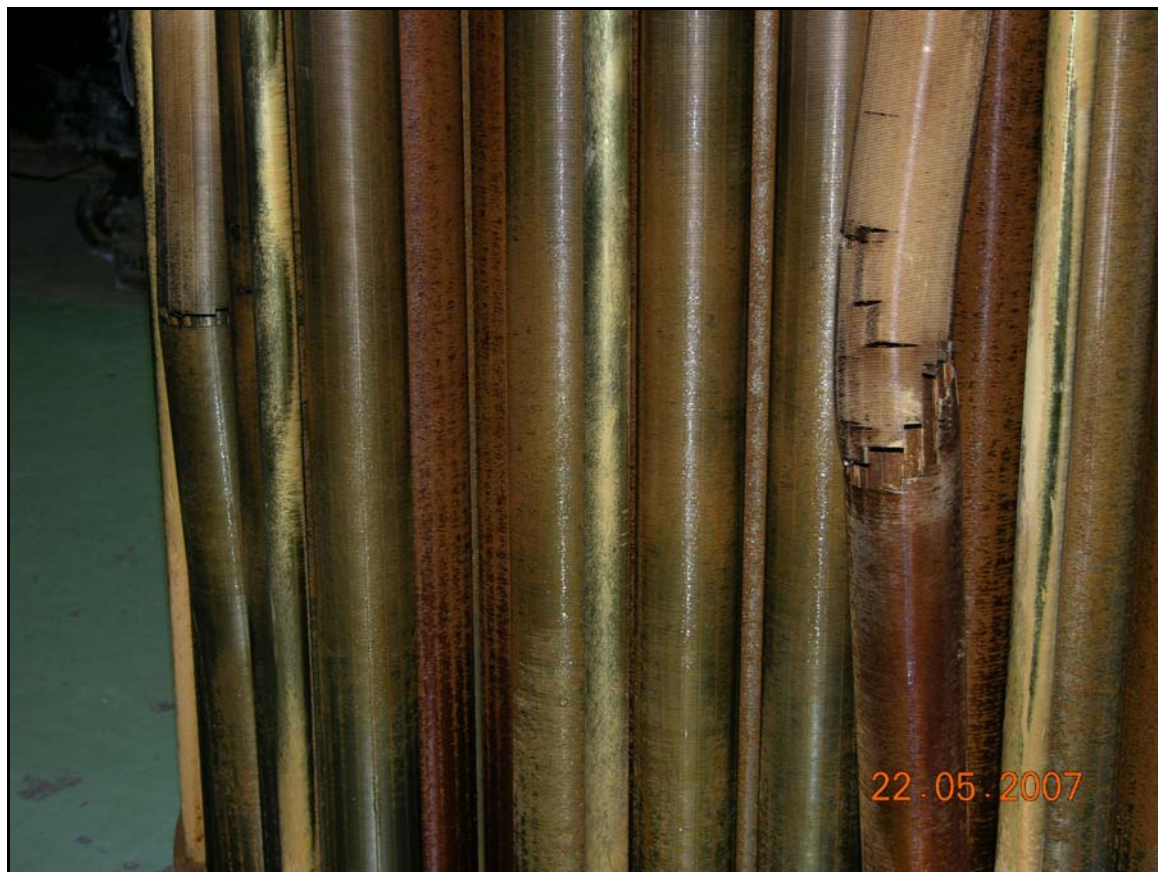
Kuva 2. Vaurioitunut suodatin keväältä 2007.



Kuva 3. Vaurioitunut suodatin keväältä 2007.



Kuva 4. Vaurioitunut suodatin keväältä 2007.



Kuva 5. Vaurioitunut suodatin keväältä 2007.



Kuva 6. Vuoden 2005 vaurio.



Kuva 7. Vuoden 2007 vaurio.