

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**FOULING-TORJUNTAAN KÄYTETTÄVÄN KEMIKAALIN
VALINTAPERUSTEET
PRINCIPLES FOR CHOOSING A FOULING PREVENTION
CHEMICAL**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Risto Soukka

Työn ohjaaja: Tutkijakoulutettava, DI Juha Kortelainen

Lappeenrannassa 29.01.2009

Nina Kuittinen

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENTEET	3
1 JOHDANTO	4
1.1 Tausta.....	4
1.2 Työn tavoite ja rajaukset.....	5
2 FOULING ONGELMIEN AIHEUTTAJANA.....	6
3 TORJUNTAMENETELMÄT	7
3.1 Fysikaaliset torjuntamenetelmät	7
3.1.1 Lämpökäsittely.....	7
3.1.2 Ultraääni- ja ultraviolettisäteily	8
3.1.3 Elektrolyyttinen suojaus	8
3.1.4 Mekaaninen puhdistus	9
3.1.5 Suodatusmenetelmät	9
3.1.6 Kuivattaminen.....	9
3.1.7 Virtausnopeuden nostaminen.....	9
3.2 Kemialliset torjuntamenetelmät	10
3.2.1 Hapettavat kemikaalit	10
3.2.2 Muut kemialliset menetelmät.....	11
4 KEMIALLISEN TORJUNTAMENETELMÄN VALINTAPERUSTEET	12
4.1 Riskien hallintatarpeet	12
4.1.1 Riskianalyysi vaihtoehtojen vertailun apukeinona	13
4.2 Kemikaalien suoritukyky	15
4.3 Pintojen likaantumisen kustannuksista	16
5 CASE LOVIISAN VOIMALAITOS.....	18
5.1 Fouling-ongelma	18
5.1.1 Valekirjosimpukka.....	19
5.1.2 Runkopolyypit	20
5.1.3 Sammaleläimet.....	21
5.1.4 Siimajalkaiset äyriäiset	22
5.2 Kemiallinen torjunta voimalaitoksella.....	23

5.2.1	Natriumhypokloriitti	24
5.2.2	Peretikkahappo.....	26
5.3	Kemikaalien suorituskyvyn mittaus.....	29
5.4	Kemiallisen torjuntamenetelmän aiheuttamat lisäkustannukset.....	30
5.5	Kemikaalivaihtoehtojen vertailu.....	30
6	YHTEENVETO	32
	LÄHDELUETTELO	34

LYHENTEET

LC50	Pitoisuus, joka tappaa puolet koe-eläimistä kokeen aikana
EC50	Pitoisuus, joka koeaikana aiheuttaa jonkin erikseen määritellyn myrkkyyvaikutuksen puolelle koe-eliöistä.

1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö liittyy kesällä 2008 Fortum Power and Heat Oy:n Loviisan voimalaitoksen kahden kemikaalivaihtoehdon, natriumhypokloriitin ja peretikkahappovalmisteiden, fouling-eliöstön torjuntakyvyn mittaukseen. Torjuntakykyä tulisikin testata ennen varsinaisen torjunnan aloittamista, sillä esimerkiksi paikalliset olosuhteet sekä fouling-lajien torjunnansietokyky vaikuttavat torjunnan tehokkuuteen. Torjuntamenetelmävaihtoehtoja tulisi tarkastella ennen valintaa mahdollisimman monipuolisesti eri näkökulmista, jotta voidaan varmistua siitä, että valitaan sopivin menetelmä.

1.1 Tausta

Fouling-ilmiöllä tarkoitetaan tässä työssä erilaisten pintojen biologista likaantumista vesiolosuhteissa. Pintojen likaantumista voivat aiheuttaa biologisen kasvuston lisäksi myös erilaisten yhdisteiden kiteytyminen ja kemialliset reaktiot, partikkelien kasaantuminen pinnoille, korroosio sekä faasimuutokset.(Hammo 1994, 1.) Suomen oloissa biofouling-ongelmaa aiheuttavat lähinnä merirokko, sinisimpukka, leväruvi ja kaspianpolyyyppi. Levät eivät valonpuutteen vuoksi menesty voimalaitoksen merivesijärjestelmässä, joten ne eivät siten ole ongelman aiheuttajina.(Laine ja Raita 2005, 3.)

Fouling-eliöstö aiheuttaa ongelmia erityisesti lauhduttimen lämmönvaihtimissa, mutta myös muualla voimalaitoksen merivesijärjestelmässä. Järjestelmä ottaa merestä tarvitsemansa jäähdytysveden ja siirtää jäähdytyksen jälkeen järjestelmässä lämmentyneen veden takaisin mereen.(Laine ja Raita 2005, 3.) Fouling-ongelma ilmenee myös kasvaneina pääoma- ja käyttökustannuksina sekä pumppaus-, huolto- ja korjauskustannuksina. Fouling-eliöstö lisää myös lämmönsiirtovastusta lämmönsiirtopinnoilla sekä materiaalien syöpymistä ja kitkapainehäviöitä.(Hammo 1994, 19.)

Pinnoille kiinnittynyttä ja kiinnittyvää eliöstöä voidaan torjua erilaisin tavoin ja niiden yhdistelmin. Torjuntamenetelmät voidaan jakaa esimerkiksi fysikaalisiin ja kemiallisiin torjuntamenetelmiin. Torjuntamenetelmän valinnassa on syytä pohtia torjunnan tavoitteen

lisäksi esimerkiksi menetelmän käytön aiheuttamia kustannuksia, sen tehokkuutta sekä ympäristö- ja turvallisuusnäkökohtia.

1.2 Työn tavoite ja rajaukset

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on pohtia fouling-torjuntaan käytettävän kemikaalin valintaperusteita ja miten tarjolla olevia vaihtoehtoja voidaan vertailla näiden valintaperusteiden avulla. Valintaperusteiksi torjuntakyvyn ohella on valittu kemikaalin käyttöönotosta ja käytöstä aiheutuvat kustannukset sekä työturvallisuus- ja ympäristöriskienhallintatarpeiden vähäisyys.

Fouling-ongelmaa käsitellään työssä lähinnä suomalaisten voimalaitosten näkökulmasta. Torjuntamenetelmistä keskitytään enemmän kemiallisiin torjuntamenetelmiin ja niiden valintaan vaikuttaviin tekijöihin, fysikaaliset torjuntamenetelmät esitellään työssä vain kokonaiskuvan saamiseksi. Esimerkkitapauksen, Case Loviisan, avulla esitetään, miten kemiallisen torjuntamenetelmän valintaperusteita voitaisiin vertailla käytännössä.

2 FOULING ONGELMIEN AIHEUTTAJANA

Voimalaitosten jäähdytysjärjestelmissä biologista fouling-ongelmaa aiheuttavat ainoastaan eläimet, sillä valon puutteen vuoksi levät eivät menesty järjestelmissä. (Laihonen ja Vuorinen 1981, 4.) Suomalaisissa voimalaitoksissa fouling-ongelmaa ovat aiheuttaneet erityisesti sinisimpukka (*Mytilus edulis*), merirokko (*Balanus improvisus*), levärupi (*Electra crustulenta*) ja kaspianpolyppi (*Cordylophora caspia*) sekä uusimpina tulokkaina vaeltajasimpukka (*Dreissena polymorpha*) ja valekirjosimpukka (*Mytilopsis leucophaeata*). Fouling-eliölajien ja -yksilöiden määrä saattaa vaihdella paljonkin, riippuen merivesijärjestelmän osasta ja vallitsevista olosuhteista. Usein jo yhden lajin kiinnittyminen pinnoille edistää muiden lajien kiinnittymistä tarjoamalla niille tartuntapintaa. Useamman lajin ja yksilön muodostama likakerros on tiiviimpi ja paksumpi, jolloin se myös kestää paremmin erilaisia torjuntamenetelmiä. Luonnonolosuhteisiin verrattuna voimalaitoksen jäähdytysvesijärjestelmän olosuhteet ovat usein suotuisimmat eliöiden kiinnittymiselle, lisääntymiselle ja selviämiselle. Virtaavassa vedessä esimerkiksi ravinnon saanti on helpompaa. Se voi aikaistaa ja jopa pidentää eliöiden lisääntymiskautta yhdessä kohonneen lämpötilan kanssa. (Raita 2006, 12 ja 15.)

Fouling-ilmion ensimmäisessä vaiheessa veteen liuenneita suoloja kerrostuu lämmönvaihtimien ja putkien sisäpinnoille. Seuraavassa vaiheessa bakteerit, sienet ja alkueläimet aiheuttavat limoittumista, eli ns. microfoulingia. Vähäinen limoittuminen ei haittaa kuitenkaan vielä järjestelmän toimintaa, mutta se edistää usein muiden lajien kiinnittymistä pinnoille. Ennen pitkää esimerkiksi levärupi- ja merirokkoyhdyskunnat muodostavat pinnoille eristävän kerroksen. Simpukat ovat valtalajina järjestelmissä, jotka ovat olleet pitkään ilman torjuntaa. (Laihonen ja Vuorinen 1981, 10-11.)

Itämeren rehevöitymisen ja lisääntyneen laivaliikenteen myötä myös fouling-ongelmat tulevat lisääntymään. Esimerkiksi laivojen painolastivesien mukana tulee Suomen rannikkoalueelle päätymään myös tulevaisuudessa uusia vieraslajeja, jotka aiheuttavat fouling-ongelmaa. Voimalaitosten merivettä käyttävien järjestelmien tilaa tulisikin seurata aktiivisesti, jotta ongelma ei pääsisi karkaamaan käsistä. (Raita 2006, 25.)

3 TORJUNTAMENETELMÄT

Ennaltaehkäisevän, eli proaktiivisen, torjunnan tavoitteena on estää fouling-eliöstön asettuminen kokonaan. Se kohdistuu sekä toukkiin että virtauksen mukana kulkeutuviin aikuisiin yksilöihin. Ennaltaehkäisevän torjunnan tarkoituksena on estää eliöstön pääsy järjestelmään tai luoda sellaiset olosuhteet, joissa pintoihin kiinnittymisestä ja järjestelmässä elämisestä tulee mahdotonta. Tämänäyttöiseen torjuntaan soveltuvia menetelmiä ovat erilaiset suodatusmenetelmät, ultraviolettisäteilyn sekä hapettavien ja ei-hapettavien kemikaalien käyttö. Jonkin verran voidaan käyttää myös myrkkymaalausta tai elektrolyyttistä suojausta. Reaktiivisen torjunnan tavoitteena on usein jo pinnoille kiinnittyneen fouling-eliöstön tuhoaminen määrääjain, jolloin eliöstö ei ehdi aiheuttaa suurempaa haittaa. Tarkoitukseen soveltuvia torjuntamenetelmiä voivat olla lämpökäsittely, mekaaninen puhdistus, kuivattaminen, hapen poisto sekä hapettavien ja ei-hapettavien kemikaalien käyttö. (Laine ja Raita 2005, 27.)

Torjuntamenetelmän valinnassa tulisi pohtia, kuinka suuren ongelman likaantuminen voimalaitoksen toiminnalle aiheuttaa. Eliöstön torjunnassa tulisi myös huomioida, että laitoksen sisäinen kierto voi mahdollistaa simpukoiden toukkien syntymisen jäähdytysveden mukana tulevien toukkien lisäksi. (Raita 2006, 15.) Fouling-eliöstön torjuntamenetelmät voidaan jakaa karkeasti esimerkiksi fysikaalisiin ja kemiallisiin torjuntamenetelmiin.

3.1 Fysikaaliset torjuntamenetelmät

Yleisimpiä fouling-eliöstön torjuntaan käytettäviä fysikaalisia menetelmiä ovat lämpökäsittely, ultraäänen tai UV-säteilyn käyttö, elektrolyyttinen suojaus, mekaaninen puhdistus, erilaiset suodatusmenetelmät, kuivattaminen ja virtausnopeuden nostaminen. Torjuntamenetelmien avulla aiheutetaan joko suoraan eliöstön kuoleminen tai estetään niiden kiinnittyminen pintoihin, jolloin ne lopulta kuolevat elinolosuhteiden ollessa niille epäsuotuisat.

3.1.1 Lämpökäsittely

Lämpökäsittelyn toimintaperiaatteena on se, että järjestelmässä kiertävän veden lämpötilaa nostamalla aiheutetaan fouling-eliöstön kuoleminen. Käsittely voidaan toteuttaa joko lyhyt- tai pitkäkestoisesti. Lämpötila ja altistusaika vaikuttavat lämpökäsittelyn tehokkuuteen.(Raita 2006, 20 ja 22.) Suomalaisissa voimalaitoksissa lämpötilan nosto eliöstölle haitallisiin lukemiin onnistuu todennäköisesti vain osassa jäähdytysjärjestelmää. Esimerkiksi vedenottotunnelin lämpötilan nostaminen eliöstölle haitalliseen lämpötilaan vaatii usein rakenteellisia erikoisuuksia, kuten veden kulkusuunnan muuttamismahdollisuuksia.(Laihonen ja Vuorinen 1981, 14.) Käytännössä lämpökäsittely toteutetaan kierrättämällä voimalaitoksen toiminnassa syntyvää lämmintä vettä, johtamalla järjestelmään kuumaa vesihöyryä tai erillisten lämpöelementtien avulla. Lämpökäsittelyn kustannuksiin vaikuttaa vahvasti se, joudutaanko esimerkiksi tuotantoa rajoittamaan torjunnan ajaksi.(Raita 2006, 20 ja 22.)

3.1.2 Ultraääni- ja ultraviolettisäteily

Ultraäänen ja ultraviolettisäteilyn avulla pystytään torjumaan tehokkaasti leviä ja vesieliöiden toukkia. Näiden menetelmien käyttö on kuitenkin hankalaa suurissa vesimassoissa käsiteltäessä, sillä virtauksen ja vesipatsaan paksuuden vuoksi valo- ja ääniaaltoja on hankala saada tunkeutumaan riittävän pitkäksi aikaa koko vesimassan läpi.(Laihonen ja Vuorinen 1981, 16.) Esimerkiksi UV-käsittely soveltuukin lähinnä pienille tai keskisuurille laitoksille, joiden virtausnopeudet ovat suuruudeltaan alle $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$.(Raita 2006, 22.)

3.1.3 Elektrolyttinen suojaus

Katodista suojausta on käytetty perinteisesti teräs- ja betonipintojen ennaltaehkäisevään korroosiosuojaukseen. Suojauksessa käytetyissä sähkökentissä virta on vaihdellut välillä $1,35 - 1,39 \text{ mA/m}^2$. Elektrolyttinen suojaus on kustannuksiltaan kilpailukykyinen ja teholtaan pitkäkestoisempi verrattuna esimerkiksi maalikäsitelyyn. Menetelmän heikkoudeksi voidaan laskea ohuen kalkkikerroksen muodostuminen metallipinnoille suojauksen aikana ja sen soveltuminen lähinnä vain paikalliseen suojaukseen.(Raita 2006, 22.)(Laihonen ja Vuorinen 1981, 15-16.)

3.1.4 Mekaaninen puhdistus

Mekaanista puhdistusta voidaan pitää melkeinpä sopivimpana torjuntamenetelmänä pienissä ja vähäisen fouling-ongelman voimalaitoksissa. Joissakin voimalaitoksissa mekaaninen puhdistus täydennettynä käsipuhdistuksella riittää mainiosti eliöstön torjuntaan. (Laihonen ja Vuorinen 1981, 16.) Yleisimmissä jatkuvatoimisissa puhdistusmenetelmissä käytetään kumikuula- tai harjanuohoimia. Mekaaniset puhdistusmenetelmät voivat kuitenkin kuluttaa lämmönsiirtopintaa ja lisätä korroosiota. (Hammo 1994, 17.)

3.1.5 Suodatusmenetelmät

Suodatus väliaineen, esimerkiksi hiekan, läpi on hyvin tehokasta. Suodatusmenetelmä soveltuu kuitenkin voimalaitosten mittakaavassa hyvin pienille virtauksille. Mekaanisten suodattimien on havaittu olevan tehokkaita pienissä ja keskisuurissa järjestelmissä, joissa putkien halkaisijat ovat 10 - 35 cm. Suodattimet poistaisivat vedestä simpukan toukkien lisäksi myös esimerkiksi sedimenttipartikkelit, levät ja muut eliöt. (Raita 2006, 23.)

3.1.6 Kuivattaminen

Esimerkiksi vaeltajasimpukan kuivien olosuhteiden sietokyky riippuu paljon sekä ilman- kosteudesta että lämpötilasta. Simpukat selviävät lähes kuukauden kosteassa ja kylmässä (5 °C) tilassa, mutta lämpötilan ollessa noin 25 °C, simpukat kuolevat alle viikossa. Jos samassa lämpötilassa saadaan suhteellinen kosteus pienennettyä viiteen prosenttiin, kuolevat simpukat jo parissa päivässä. Tilapäisesti tai ajoittain käytöstä poissaoleviin jäähdytysvesijärjestelmiin kuivattaminen soveltuu hyvin ja menetelmä torjuu simpukoiden lisäksi myös muita eliölajeja. (Raita 2006, 23.)

3.1.7 Virtausnopeuden nostaminen

Useiden fouling-lajien toukkien kiinnittyminen pinnoille estyy virtausnopeuden ollessa yli 3 m/s. Rakenteiden sileät pintaratkaisut yhdessä nopeamman virtauksen kanssa vähentävät simpukoiden aiheuttamaa likaantumista. Menetelmä soveltuisi kohteisiin, joissa putkikoon pienentäminen tai pumppaustehon nostaminen eivät aiheuttaisi muutoksia prosessiin.(Raita 2006, 24.) Kaikissa jäähdytysjärjestelmissä tosin löytyy hiljaisemman virtauksen kohtia, joten virtausnopeuden nostamisella ei pystytä täysin estämään fouling-eliöstön kiinnittymistä.(Laihonen ja Vuorinen 1981, 15.)

3.2 Kemialliset torjuntamenetelmät

Kemiallinen torjunta on jäähdytysjärjestelmien puhtaanapidossa suosituin menetelmä Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa. Ympäristön kannalta menetelmä ei kuitenkaan ole välttämättä paras mahdollinen.(Raita 2006, 16.) Kemialliset torjuntamenetelmät eivät kuitenkaan aiheuta esimerkiksi pintojen mekaanisia vaurioita, niitä voidaan käyttää kohteissa, jonne fyysikaalisilla menetelmillä ei pääse, ne ovat nopeita ja vaativat vähän työvoimaa.(Hammo 1994, 17.) Kemialliset torjuntamenetelmät voidaan jakaa esimerkiksi hapettavien kemikaalien käyttöön ja muihin kemiallisiin menetelmiin.

3.2.1 Hapettavat kemikaalit

Fouling-torjuntaan käytettäviä hapettavia kemikaaleja ovat kloori (kaasumainen tai nestemäinen natriumhypokloriitti, jauhemainen kalsiumhypokloriitti), klooridioksidi, kloramiinit, otsoni, bromi ja kaliumpermanganaatti. Erityisesti vaeltajasimpukan ennaltaehkäisevässä torjunnassa on käytetty hapettavia kemikaaleja. Niitä on syötetty järjestelmään simpukoiden lisääntymiskausina. Lämpötila, veden kemialliset ominaisuudet ja simpukoiden fysiologinen tila vaikuttavat torjunnan kestoan ja järjestelmään lisättävän kemikaalin pitoisuuteen. Reaktiivisessa torjunnassa hapettavien kemikaalien käyttö ei ole erityisen tehokasta. Tämä johtuu siitä, että aistiessaan myrkyä simpukat usein sulkevat kuorensa. Simpukat voivat selvitä suljetun kuorensa sisällä jopa kaksi viikkoa, ennen kuin joutuvat avaamaan kuorensa ja altistuvat myrkylle.(Raita 2006, 16-17.)

3.2.2 Muut kemialliset menetelmät

Muihin kemiallisiin menetelmiin kuuluvat hapen poisto ja pintojen antifouling-käsittely. Hapen poisto jäähdytysvesikanavista voidaan toteuttaa joko happea sitovan kemikaalin, esimerkiksi hydratsiinin, avulla tai pysäyttämällä veden virtaus kanavassa ja sulkemalla sisään jäänyt vesi tiiviisti putkistoihin. Putkistoissa olevan hapen poistaminen siis vaatii putkiston toiminnan pysäyttämistä tietyin väliajoin. Kaikkien eliöiden eliminoiminen saattaa viedä kolmekin viikkoa hapenpoistomenetelmällä. (Laihonen ja Vuorinen 1981, 13-14.)

Pintojen antifouling-käsittely estää eliöiden kiinnittymistä pintoihin kemiallisella myrkkysävyllä tai muuttamalla pinnan fysikaalisia ominaisuuksia. Perinteisten myrkkymaalien tehokkuus perustuu kuparioksidin liukenemiseen, jonka vaikutus kestää kahdesta viiteen vuotta. Myrkyttömämpi vaihtoehto on pinnan liukkautta lisäävien maalien käyttö. Pintoja voidaan suojata myös ruiskulämpömaalauksella, jonka torjuntakyky perustuu metalli-ionien, kuten sinkin, kuparin tai messingin, hitaaseen liukenemiseen veteen. Ruiskulämpömaalaus saattaisi olla kestävin simpukoiden kiinnittymistä estävä pintojen käsittelytapa, mutta metallien aiheuttamien ympäristöhaittojen takia käyttömahdollisuudet tulisi tutkia tapauskohtaisesti tarkoin. (Raita 2006, 19-20.)

4 KEMIALLISEN TORJUNTAMENETELMÄN VALINTAPERUSTEET

Usein saatetaan keskittyä kemiallisen torjuntamenetelmän valinnassa kemikaalien torjunta-
tehoon ja niiden käytön aiheuttamiin kustannuksiin. Vähintäänkin yhtä tärkeinä valintape-
rusteina voidaan pitää myös kemiallisen torjuntamenetelmän turvallisuutta niin työnteki-
jölle kuin ympäristölle. Riskienhallintamenetelmien avulla pyritään ehkäisemään päästöis-
tä ja tapaturmista aiheutuvat onnettomuudet jo etukäteen, jolloin onnettomuuksiin varau-
tuminen lisää torjuntamenetelmän käyttöönottavan yrityksen kustannuksia. Varautumisesta
aiheutuvat kustannukset muodostuvat usein edullisemmiksi kuin onnettomuuksien seuraus-
ten korjauskustannukset. Erilaisia tapoja varautua riskeihin voivat olla esimerkiksi työntei-
kijöiden suojavälineiden hankkiminen, turvamerkinnot sekä käyttöohjeet käytettävissä lait-
teissa, henkilöstön ohjeistus ja laitteiden huollot ja kunnossapito.

4.1 Riskien hallintatarpeet

Varsinkin ympäristölainsäädännössä pyritään keskittymään mahdollisimman tehokkaaseen
valvontaan ja velvoitteisiin, jotta onnettomuudet tai satunnaispäästöt pystytään ehkäise-
mään jo etukäteen. Onnettomuudelle ei haluta myöntää lupaa, mutta onnettomuuksia ei
kuitenkaan aina onnistuta estämään. Ympäristöluvassa toiminnanharjoittaja voidaan vel-
voittaa tekemään ympäristöriskianalyysi, josta saadaan tietoa satunnaispäästötilanteiden
ehkäisemiseksi, tunnistamiseksi ja hallitsemiseksi. (Malmén et al. 2000, 31.)

Ympäristönsuojelulaissa on määritelty yleisiä periaatteita, jotka velvoittavat toiminnanhar-
joittajaa ottamaan huomioon toiminnasta aiheutuvan pilaantumisen vaaran todennäköisyy-
den, onnettomuusriskin sekä mahdollisuudet onnettomuuksien ehkäisemiseen ja niiden
vaikutusten rajoittamiseen. Lisäksi toiminnanharjoittajan tulisi olla selvillä toiminnan ai-
heuttamista ympäristöriskeistä. Parhaan käyttökelpoisen tekniikan soveltamisen periaatetta
(Best Available Technology, BAT) tulisi soveltaa niin varsinaiseen toiminnanharjoittami-

seen kuin myös onnettomuuksien ehkäisyyn liittyvään toimintaan.(Malmén et al. 2000, 31-33.)

Kemikaalien hallitsematon käyttö on usein syynä ympäristön pilaantumiseen. Suomen kemikaalilain tavoitteena on ehkäistä ja torjua kemikaalien aiheuttamia ympäristö- ja terveyshaittoja. Tärkein kemikaalilakia satunnaispäästöjen hallinnan osalta täydentävä asetus koskee vaarallisten kemikaalien käsittelyä ja varastointia. Se pohjautuu EY:n ns. Seveso II -direktiiviin, jonka tavoitteena on parantaa mm. ympäristölle haitallisten suuronnettomuuksien ennaltaehkäisyä(Malmén et al. 2000, 34.)

Työn tekemisen turvallisuuden ottaa huomioon työturvallisuuslaki. Työturvallisuuslain mukaan työnantajan on huolehdittava työntekijöiden työn turvallisuudesta. Työnantajan tulisi tällöin ottaa huomioon työhön, työoloihin ja muuhun työympäristöön samoin kuin työntekijän henkilökohtaisiin valmiuksiin liittyvät asiat. Työympäristöä, työyhteisön tilaa ja työtapojen turvallisuutta tulee tarkkailla jatkuvasti. Lisäksi on tarkkailtava toteutettujen toimenpiteiden vaikutusta työn turvallisuuteen ja terveellisyyteen.(Kuronen 2007, 57.)

4.1.1 Riskianalyysi vaihtoehtojen vertailun apukeinona

Riskianalyysimenetelmät auttavat tarkentamaan käsityksiä onnettomuusriskeistä sekä vaaratilanteiden syistä ja seurauksista, jolloin on helpompaa ehkäistä riskit jo etukäteen. Riskianalyysin tavoitteena on löytää teknisistä laitteista, ihmisen toiminnasta sekä ympäristöolosuhteista onnettomuuden tai tapaturman synnyn mahdollistavia tekijöitä. Analyysin avulla pyritään myös arvioimaan onnettomuuden tai tapaturman seurauksia ja pohtimaan parannusvaihtoehtoja riskien ennaltaehkäisemiseen ja seurausten rajoittamiseen.(Malmén et al. 2000, 19.)

Riskianalyysi kannattaa toteuttaa ryhmätyönä. Ryhmä valitsee ensin käytettävän analyysimenetelmän ja rajaa valitun kohteen analyysia varten, jotta se voidaan toteuttaa kohtuullisessa ajassa. Varsinaisessa analyysissa selvitetään yleensä ensin vaarat ja vahinkotaajuus, jonka jälkeen arvioidaan vahinkojen suuruutta ja niiden todennäköisyydet. Mahdolliset

riskit asetetaan analyysin loppuvaiheessa tärkeysjärjestykseen, jonka jälkeen analyysistä voidaan kirjoittaa raportti.(Kuronen 2007, 33.)

Kemiallisen torjuntamenetelmän valintaperusteeksi voidaan valita torjunta- ja kustannustehokkuuden lisäksi myös menetelmän riskienhallintatarpeiden vähäisyys. Ympäristö- ja työturvallisuusriskien arvioinnissa ja vertailussa voidaan käyttää apuna riskianalyysimenetelmiä. Työturvallisuuteen liittyviä riskejä voidaan analysoida esimerkiksi työn turvallisuusanalyysin (TTA) avulla ja ympäristöriskejä esimerkiksi potentiaalisten ongelmien analyysin (POA) tai satunnaispäästöriskianalyysin (SARA) avulla.

Taulukkoon 1 on koottu esimerkkejä kemikaalivaihtojen vertailuun sopivista riskianalyysimenetelmistä. Työn turvallisuusanalyysin tavoitteena on löytää työtehtävään tai tekniseen järjestelmään liittyvät tapaturmavaarat. Tässä analyysimenetelmässä rajatut työtehtävät jaetaan toimintoihin, jonka jälkeen tunnistetaan kuhunkin toimintoon liittyviä välittömiä tapaturmavaaroja sekä niiden syitä ja seurauksia. Potentiaalisten ongelmien analyysin tavoitteena taas on löytää kohteen keskeisimmät ongelma-alueet sekä keskeisimpiin vaaroihin liittyvät onnettomuustekijät. Analyysin toimintaperiaatteen mukaisesti etsitään ideomalla kohteen onnettomuusvaaroja ja luokitellaan ne. Tämän jälkeen analysoidaan keskeisimpien vaarojen syyt ja seuraukset. Satunnaispäästöriskianalyysimenetelmän SARA:n tavoitteena on häiriö- ja onnettomuustilanteissa mahdollisesti syntyvien satunnaispäästöjen tunnistaminen ja arviointi kemikaaleja varastoivissa, käsittelevissä ja tuottavissa yrityksissä. SARA koostuu seuraavista osista: aluejako ja lähtötietojen keruu, kemikaalikartoitus, päästömahdollisuuksien tunnistaminen alueittain, seurausten arviointi sekä riskien arviointi ja toimenpide-ehdotukset.(Malmén et al. 2000, 44 ja 97.)

Taulukko 1 Esimerkkejä Riskianalyysimenetelmistä (mukaillen Malmén et al. 2000, 44 ja 97.)

Analyysimenetelmä	Päämäärä	Toteutustapa
Työn turvallisuusanalyysi	Löytää työtehtävään tai tekniseen järjestelmään liittyvät tapaturmavaarat.	Tarkasteltavat työtehtävät rajataan ja jaetaan toimintoihin, joista tunnistetaan välittömät tapaturmavaarat sekä niiden syyt ja seuraukset.
Analyysimenetelmä	Päämäärä	Toteutustapa
Potentiaalisten ongelmien analyysi	Löytää kohteen keskeisimmät ongelma-alueet sekä keskeisimpiin vaaroihin johtaneet onnettomuustekijät	Etsitään ideoimalla kohteen onnettomuusvaaroja ja luokitellaan ne, jonka jälkeen analysoidaan keskeisimpien vaarojen syyt ja seuraukset.
Satunnaispäästöriskianalyysi (SARA)	Häiriö- ja onnettomuustilanteissa mahdollisesti syntyvien satunnaispäästöjen tunnistaminen ja arviointi kemikaaleja varastoivissa, käsittelevissä ja tuottavissa yrityksissä	Koostuu seuraavista osista: aluejako ja lähtötietojen keruu, kemikaalikartoitus, päästömahdollisuuksien tunnistaminen alueittain, seurausten arviointi sekä riskien arviointi ja toimenpide-ehdotukset

4.2 Kemikaalien suorituskyky

Fouling-torjuntaan käytettävän kemikaalin tehokkuutta tulisi tutkia ja kokeilla käytännössä ennen varsinaisen torjunnan aloittamista, sillä paikalliset olosuhteet sekä fouling-lajien väliset erot torjuntakemikaalien sietokyvyssä vaikuttavat kemikaalien torjuntakykyyn. (Laine ja Raita 2008, 1.) Esimerkiksi jäähdytysveden lämpötilan, pH:n ja kemiallisen koostumuksen vaikutusta torjunta-aineen tehokkuuteen tulisi seurata suorituskyvyn mitta-uksessa ennen torjunnan aloitusta ja varsinaisen torjunnan aikana. (Laihonen ja Vuorinen 1981, 13.)

Torjunnan tarkoituksena ei ole puhdistaa järjestelmää täysin ongelmaa aiheuttavista eliöistä, vaan ylläpitää riittävän alhainen fouling-taso kustannusten muodostuessa mahdollisimman vähäisiksi. Hyvin suunnitellun torjuntaohjelman ansiosta haittoja ei esiinny jäähdytysjärjestelmissä. Eliöiden kiinnittymistä pinnoille ei enää tapahdu elinolosuhteiden huonontuessa ja mahdollisesti jo kiinnittyneet yksilöt irtoavat pinnoilta. Torjuntaohjelman ollessa riittämätön, eliöstön määrä ja haittavaikutukset usein lisääntyvät. (Laihonen ja Vuorinen 1981, 11-12.)

Kemikaalien käytössä oleellista olisi käyttää mahdollisimman tehokasta, nopeasti vaikuttavaa ja ympäristöä vähiten rasittavaa kemikaalia. Käytettävän kemikaalin teho tulisi tutkia torjuntapaikalla ennen torjunnan aloittamista, sillä paikalliset olosuhteet vaikuttavat aina kemikaalin tehokkuuteen. (Raita 2006, 16.) Kemikaalin torjuntakyky ei kuitenkaan yksinään ole hyvä valintaperuste, vaan yksi tärkeä osa muiden valintaperusteiden joukossa.

4.3 Pintojen likaantumisen kustannuksista

Fouling-eliöstön aiheuttamien haittavaikutusten arviointia vaikeuttaa se, ettei eliöstön aiheuttamia torjuntakuluja voida tarkasti erottaa muista laitteistojen huoltokustannuksista. Eliöstön aiheuttamia haittoja saatetaankin usein pitää normaaleina jäähdytysvesijärjestelmään liittyvinä haittoina. (Laihonen ja Vuorinen 1981, 20.) Likaantumisen takia pääomakustannukset kasvavat esimerkiksi lämmönsiirtimien ylimitoitustarpeen ja puhdistuslaitteiden hankinnan takia. Likaantuminen lisää myös lämmönsiirtovastusta, materiaalien syöpymistä ja kitkapainehäviöitä, minkä takia energiaa tuhlaantuu ja pumppaus-, huolto- ja korjauskustannukset kasvavat. Käyttökustannuksia lisäävät virtaavien aineiden esikäsitely ja lämmönsiirtimien puhdistus. Lisäksi mahdolliset puhdistusseisokit voivat aiheuttaa tuotantotappioita. (Hammo 1994, 19.)

Jokaisen järjestelmän kohdalla tulisi erikseen vertailla tehohäviöstä, korroosiosta ja tukkeutumisen aiheuttamista huolloista aiheutuvia kustannuksia torjunnasta aiheutuviin kustannuksiin. (Laihonen ja Vuorinen 1981, 11.) Torjuntamenetelmän käytön kustannuksia voivat esimerkiksi olla kemikaalin syöttölaitteiston hankintakustannukset, varsinaiset ke-

mikaalikustannukset sekä mahdolliset kemikaalien kuljetuskustannukset käyttöpaikalle. Todennäköisesti henkilökuntaa ei tarvitse palkata lisää kemiallisen torjuntamenetelmän käyttöönoton takia, joten palkkakustannukset tuskin tulevat kasvamaan.

5 CASE LOVIISAN VOIMALAITOS

Suomen ensimmäinen ydinvoimalaitos sijaitsee Hästholmenin saarella Loviisassa. Voimalaitos koostuu kahdesta painevesireaktori-tyyppisestä yksiköstä, joista ensimmäinen (Loviisa 1) aloitti tuotantonsa vuonna 1977 ja toinen (Loviisa 2) seurasi vuonna 1980 perässä. Voimalaitos tuottaa vuodessa sähköä noin 8 terawattituntia, joka kattaa noin kymmenesosan Suomen sähkönkulutuksesta.(Fortum, 2.)

Kesällä 2008 voimalaitoksella suoritettiin kahden fouling-torjuntakemikaalivaihtoehdon, natriumhypokloriitin ja peretikkahappovalmisteen, torjuntatehokkuuden testaus. Kemikaalivaihtoehtojen ominaisuuksia tulisi tarkastella ennen valintaa eri näkökulmista, jotta varmistutaan valinnan kohdistuvan parempaan tarjolla olevaan vaihtoehtoon. Kemikaalin valinnassa tulisi huomioida torjuntatehokkuuden ohella esimerkiksi myös kustannusten sekä ympäristö- ja työturvallisuusriskienhallintatarpeiden määrä.

5.1 Fouling-ongelma

Mahdollinen fouling-ongelma ilmenee usein lämmönvaihtimien tehon heikkenemisenä ja paine-erojen kasvuna. Lämmönvaihtimien puhdistukset ja aukaisut ovatkin jatkuvasti lisääntyneet myös Loviisan voimalaitoksella. Varsinkin simpukoiden määrän lisääntyminen haittaa veden virtausta ja lämmönsiirtoa yhä enemmän. Suurempi kasvuston tai kuorimassan irtoaminen saattaa aiheuttaa myös merkittävän turvallisuusriskin jäähdytysveden virtauksen hidastuessa liikaa tai kokonaan estyessä.(Laine ja Raita 2005, 27.)

Eliöstöä voidaan löytää lähestulkoon kaikista sellaisista paikoista jäähdytysjärjestelmässä, joissa ravintoa kuljettava vesi virtaa sopivalla nopeudella ja lämpötila on sopiva. Ilmeisesti parhaat elinolosuhteet sijaitsevat päämerivesipiirissä sellaisissa järjestelmissä, joissa veden lämpötila pyritään pitämään yli 15 °C kierrättämällä vettä purkupuolelta paineenkorotuspumppujen imupuolelle. Myös sivumerivesipiirin tuloputkistossa on eliöstölle sopivat elinolosuhteet.(Laine ja Raita 2005, 26.)

Loviisan voimalaitoksella fouling-ongelmaan havahduttiin viimeistään vuonna 2004, jolloin myös ryhdyttiin ottamaan näytteitä eliöstöstä. Näytteenotto tapahtui kohteiden tarkastusten ja huoltojen yhteydessä. Tarkoituksena oli tutkia, millaisia lajeja fouling-eliöstöön voimalaitoksella kuului. Analysoiduista näytteistä pystyttiin havaitsemaan likaantumisen aiheuttajiksi erityisesti polyypit, sammaleläimet sekä valekirjosimpukka. (Laine ja Raita 2005, 13-14.) Siimajalkaisista äyriäisistä merirokko kuului myös voimalaitoksen fouling-eliölajeihin.

5.1.1 Valekirjosimpukka

Suomessa havaittiin vieraslajeihin kuuluvaa valekirjosimpukkaa (*Mytilopsis Leucophaeata*) ensimmäisen kerran vuonna 2003 Loviisan rannikolla. Laji on alun perin kotoisin Meksikonlahden alueelta Pohjois-Amerikasta. Valekirjosimpukkaa esiintyy Suomessa toistaiseksi vain Loviisan ja Ruotsinpyhtään saaristossa, lähinnä Loviisan voimalaitoksen läheisyydessä. Laji kykenee mahdollisesti levittäytymään koko Suomen rannikkoalueelle, mutta toistaiseksi lajin huono kylmänsietokyky ja siten kylmä talvi haittaavat kuitenkin leviämistä. (Raita 2006, 4.)

Valekirjosimpukkayhteisöt voivat peittää pintoja paksuina kerroksina simpukoiden kiinnityessä toisiinsa useisiin kerroksiin. Suurimmat tiheydet luonnossa tehtyjen havaintojen perusteella aikuisten yksilöiden muodostamissa yhteisöissä ylsivät 28 000 valekirjosimpukkaan neliömetrillä. Tämän kokoinen simpukkayhdyskunta voi olla massaltaan lähes kymmenen kilogrammaa. (Raita 2006, 6.)

Kuvasta 1 voidaan havaita valekirjosimpukan pitkänomainen ulkonäkö, pituutta sillä on yleensä alle 20 millimetriä. Monesti se on yli kaksi kertaa korkeuttaan ja leveyttään pidempi. Simpukan kuori on väriltään ruskeahko, nuorilla yksilöillä esiintyy usein erilaista epä säännöllistä ja vaaleaa juovitusta. (Raita 2006, 4-6.)



Kuva 1. Valekirjosimpukka (Laine Ari O.)

Valekirjosimpukka kasvaa täysikasvuiseksi kolmessa vuodessa. Se saavuttaa sukukypsyyden usein jo ensimmäisenä elinvuotenaan, mutta yleensä lisääntyy vasta toisena kesänään.(Raita 2006, 4-6.)

5.1.2 Runkopolyypit

Mustanmeren ja Kaspianmeren seuduilta kotoisin oleva kaspianpolyyyppi (*Cordylophora caspia*) on vieraslaji, joka asettui Itämereen jo 1800-luvulla.(Raita 2006, 6.) Onteloeläimiin kuuluvaa kaspianpolyyyppiä tavataan lähes koko Suomen rannikkoalueella. Ravintonaan kaspianpolyyyppi käyttää eläinplanktonia, jota se pyydystää pyyntielimiensä avulla. Kaspianpolyyyppiyhteisöt muistuttavat hieman rihmalevien kasvustoja. Valon puutteen vuoksi levät eivät kuitenkaan menesty voimalaitosten jäähdytysvesijärjestelmissä.(Laine ja Raita 2005, 20.)

Kaspianpolyyyppi lisääntyy sekä suvullisesti että suvuttomasti. Suvulliseen lisääntymistapaan kuuluu vapaasti uiva toukkavaihe, suvuton lisääntymistapa tarkoittaa polyypin jakautumista. Suvullista lisääntymistä voidaan havaita loppukevästä alkusyksyyn, nopeinta lisääntyminen on keskikesällä. Suvutonta lisääntymistä taas ilmenee toukokuun lopusta

aina syyskuun loppupuolelle, toukkia taas havaitaan eniten kesä-elokuun aikana.(Laine ja Raita 2005, 20.)

Putken sisäpintaan kiinnittynyttä polyyppiyhteisöä voidaan nähdä kuvassa 2. Laji muodostaa ohuita, haaroittuneita, alustaan kiinnittyviä yhteisöjä, joiden korkeus vaihtelee yhdestä viiteen senttimetriin.(Laine ja Raita 2005, 20.)



Kuva 2. Kaspianpolyyppi. (Laine Ari O.)

Jäähdytysvesijärjestelmästä polyyppeja voidaan löytää lähes mistä tahansa osasta. Polyyppiyhteisöt aiheuttavat haittaa erityisesti lämmönvaihtimissa, jossa ne heikentävät lämmön siirtoa. Ne aiheuttavat myös korroosiota. Kaspianpolyyppien torjuntaa hankaloittavat polyyppiyhteisöjen hyvä uusiutumis- ja toipumiskyky.(Laine ja Raita 2005, 20.)

5.1.3 Sammaleläimet

Sammaleläimiin kuuluvaa levärupea (*Electra crustulenta*) tavataan aina Merenkurkusta itäiselle Suomenlahdelle. Kalkkirunkoiset levärupiyhteisöt koostuvat halkaisijaltaan noin millimetrin olevista kuusikulmaisista yksilöistä. Laji kiinnittyy sekä putkiston pinnoille että toisten eliöiden pintaan. Leväruvet lisääntyvät suvuttomasti kasvattamalla uusia yksilöitä. Ne levittäytyvät myös vapaasti uivien, alle millimetrin mittaisten toukkien avulla.

Suvuton lisääntyminen kestää toukokuun lopulta syyskuun loppuun. Toukkien kiinnittymistä voidaan havaita aina kesäkuun puolesta välistä syyskuulle.(Laine ja Raita 2005, 20.)

Kuva 3 on lähikuva levärupiyhdyskunnasta, josta voidaan erottaa yksittäiset, soikeat eläimet. Yhdyskunnat ovat vaaleita ja verkkomaisia ja niiden paksuus on yleensä alle millimetrin.(Laine ja Raita 2005, 20.)



Kuva 3. Levärupi. (Laine Ari O.)

Jäähdytysjärjestelmien fouling-lajeissa levärupi on yleinen. Se ei kuitenkaan aiheuta paljonkaan haittaa, lähinnä korroosiota. Suljettavan kuorensa ansiosta aikuiset levärupiyksilöt kestävät torjuntaa suhteellisen hyvin.(Laine ja Raita 2005, 20.)

5.1.4 Siimajalkaiset äyriäiset

Suomen rannikkoalueilla tavataan vain yhtä lajia, joka kuuluu siimajalkaisiin äyriäisiin. Kyseinen laji on merirokko (*Balanus improvisus*). Merirokko on todennäköisesti Pohjois-Amerikasta kotoisin oleva vieraslaji, joka asettui pysyvämmiin Itämereen 1800-luvulla. Se kuuluu myös murtovesilajeihin ja sietää makeaa vettä, mutta tarvitsee lisääntyäkseen neljän promillen suolapitoisuuden omaavaa vettä. Siimajalkaiset äyriäiset kiinnittyvät pysyvästi alustaansa, varsinainen eläin elää kalkkikuorisista levyistä muodostuvan kuoren sisällä. Ravinnokseen merirokko metsästää sulkamaisten pyyntiraajojensa avulla ohivirtaavasta vedestä planktonia.(Raita 2006, 8-10.)

Kuvassa 4 on merirokkoyksilöitä, jotka ovat pohjaltaan pyöreitä ja työntyvät keilamaisesti alustastaan ylöspäin. Aikuinen merirokkoyksilö on halkaisijaltaan viidestä kymmeneen millimetriin.(Raita 2006, 9.)



Kuva 4. Merirokko. (Laine Ari O.)

Merirokko lisääntyy vapaasti uivien, mikroskooppisten pienten toukkien avulla. Toukkia voidaan havaita kesäkuun alkupuolelta lähtien. Pintoihin kiinnittyminen alkaa 3-4 viikkoa toukkien vapautumisesta, eniten kiinnittymistä voidaan havaita heinä-elokuussa. Varsinainen lisääntyminen tapahtuu vasta seuraavana kesänä. Merirokko voi elää jopa neljästä yhdeksään vuotta. Merirokkoyhteisöissä yksilöiden määrä vaihtelee muutamista sadoista kymmeneen tuhansiin yksilöihin neliometrillä. Merirokot edistävät myös muiden lajien kiinnittymistä pinnoille. Aikuinen merirokko on erittäin sitkeä eri torjuntamenetelmille, toukkavaiheen taas ollessa torjunnalle herkempi.(Raita 2006, 8-10.)

5.2 Kemiallinen torjunta voimallaitoksella

Loviisan voimalaitoksella kemiallisen torjunnan tavoitteena on torjua erityisesti valekirjosimpukoiden toukkavaiheen kiinnittymistä pinnoille, jolloin estettäisiin uusien simpukayhteisöjen muodostuminen. Aikuisiin simpukkayksilöihin torjunnalla ei pyritä vaikuttamaan, sillä ne kuolevat luonnollisesti noin kahden vuoden kuluttua torjunnan aloittamisesta. Siten merivesijärjestelmä vähitellen puhdistuisi, kun uusia simpukoita ei enää kiinnity pinnoille. Torjuntaan valittu hapettava kemikaali soveltuu todennäköisesti hyvin myös muun fouling-eliöstön torjuntaan ja ehkäisee siten esimerkiksi polyyppien ja mikrobien aiheuttamaa limoittumista sekä hajottaa järjestelmään päässyttä orgaanista ainesta. (Laine ja Raita 2008, 1.)

Seuraavissa kappaleissa esitellään kemialliseen torjuntakemikaalivaihtoehdot sekä niiden mahdollisesti aiheuttamia ympäristö- ja turvallisuusriskejä.

5.2.1 Natriumhypokloriitti

Klooria on käytetty fouling-eliöstön torjunnassa kaasumaisena tai nestemäisenä natriumhypokloriittina tai jauhemaisena kalsiumhypokloriittina. (Laine ja Raita 2007, 2.) Torjuntakemikaalivaihtoehtona olevaa natriumhypokloriittia voidaan käyttää yleisenä desinfiointiaineena, veden puhdistukseen ja desinfiointiin, kemikaalien, kemiallisten tuotteiden ja tekokuitujen valmistukseen sekä pesuaineiden, kosmetiikan ja farmaseuttisten tuotteiden valmistukseen. (Käyttöturvallisuustiedote, natriumhypokloriitti 15 % 2005, 1.)

Kloori ja hypokloriitti muodostavat hypokloorihappoa vedessä reagoidessaan. Tämä happo hajoaa helposti vetyioneiksi ja hypokloriitiksi, joka taas pelkistyy edelleen kloridi- ja hydroksidi-ioneiksi. Hypokloorihappo ja hypokloriitti-ionit muodostavat ns. vapaata klooria (free available chlorine, FAC), joka muodostaa desinfioivia kloramiineja reagoidessaan ammonium-ionien ja muiden typpi- sekä orgaanisten yhdisteiden kanssa. Lisäksi hajoamaton hypokloorihappo vaurioittaa eliöiden solukalvoja, siirtyy soluseinämien lävitse ja vaikuttaa entsyymiaktiivisuuteen. Aikuisiin simpukoihin kloori vaikuttaa myrkyllisyydellään ja toukkiin estämällä niiden kasvua ja pintoihin kiinnittymistä sekä heikentämällä niiden kiinnittymisrihmaston toimintaa. Kloorin myrkyllisyyteen vaikuttaa käytetty konsent-

raatio, altistusaika sekä käsittelyssä muodostuvan kloorin ominaisuudet ja määrä.(Laine ja Raita 2007, 2-3.)

Käytettäessä klooria simpukoiden torjunnassa on huomioitava, että aikuiset yksilöt pystyvät havaitsemaan kloorin pitoisuuden ollessa vain 0,04 mg/l, jolloin ne suojaautuvat myrkyiltä sulkemalla kuorensa. Kemikaalin annostelua on tällöin jatkettava pitkään yhtäjaksoisesti, jolloin simpukoiden kuolleisuus saadaan kasvamaan niiden tukehtumisen ja soluissa tapahtuvan glukoosin hajoamisen rajoittuneisuuden ansiosta. Jos klooraus on kertaluonteista, on klooripitoisuuksien oltava korkeampia kuin pitkäkestoisessa kloorauksessa. Jatkuvan kemikaalisuotön kloorikulutusta voidaan vähentää erilaisilla suotön jaksotuksilla.(Laine ja Raita 2007, 3.)

Työturvallisuus- ja ympäristöriskit

Natriumhypokloriittiliuos on voimakkaasti emäksinen, hapettava ja syövyttävä. Mahdolliset kemikaaliroskeet aiheuttavat vaaratilanteita erityisesti silmille. Natriumhypokloriitti kehittää tulipalossa ja happojen kanssa reagoidessaan myrkyllistä kloorikaasua ja muita klooriyhdisteitä, jotka voivat ärsyttää silmiä ja hengityselimiä sekä syövyttää metalleja ja vahingoittaa rakenteita.(Käyttöturvallisuustiedote, natriumhypokloriitti 15 % 2005, 2.)

Natriumhypokloriittiliuos on myös erittäin vesiliukoista, joten se voi päätyä herkästi pohjaveteen. Natriumhypokloriittia ei saa päästää leviämään viemäriin, maaperään tai vesistöön. Valmistetta ei kuitenkaan ole 15 % -pitoisuudella luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi aineeksi eikä sen ole todettu kertyvän ravintoketjuun. Käytöstä yli jäänyt kemikaali luokitellaan ongelmajätteeksi.(Käyttöturvallisuustiedote, natriumhypokloriitti 15 % 2005, 2 ja 6.)

Maaperään joutunut natriumhypokloriitti on käytännössä haihtumatonta. Se hapettaa sekä epäorgaanisia että orgaanisia yhdisteitä. Orgaanisten aineiden ja natriumhypokloriitin välisissä reaktioissa voi muodostua ympäristölle haitallisia orgaanisia klooriyhdisteitä, joista osa on lähes hajoamattomia ja ravintoketjuun kertyviä. Emäksisissä olosuhteissa natriumhypokloriitti on pysyvä, mutta neutraaleissa ja happamissa olosuhteissa se hajoaa melko nopeasti. Vesiliöille natriumhypokloriitti on erittäin myrkyllistä. Akuutit LC50-arvot ka-

lalle ovat 0,023-5,9 mg/l (96 h) ja akuutit EC50-arvot vesikirpulle ovat 0,04-2,3 mg/l (48 h).(Työterveyslaitos 2006 a, 5.)

Taulukossa 2 on pohdittu muutamia mahdollisia natriumhypokloriitin käytön aiheuttamia työturvallisuuteen ja ympäristöön liittyviä riskejä. Mahdollisia riskejä voivat aiheuttaa esimerkiksi kemikaaliroiskeet, myrkylliset kloorikaasut, metallien ja rakenteiden syöpyminen tulipalossa, orgaanisten klooriyhdisteiden muodostuminen sekä häiriöpäästö vesistöön. Natriumhypokloriitin jonkinlaisiksi eduiksi voidaan kuitenkin laskea, että pitoisuudella 15 % sitä ei ole luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi aineeksi eikä sen ole todettu kertyvän ravintoketjuun. Yleisesti ottaen se myös hajoaa melko nopeasti, ainoastaan emäksisissä olosuhteissa se on melko pysyvä.

Taulukko 2 Natriumhypokloriitin työturvallisuus- ja ympäristöriskejä

Riski	Seuraus
- kemikaaliroiskeet	- silmävauriot erityisesti, myös ihovauriot
- muodostaa myrkyllistä kloorikaasua tulipalossa ja happojen kanssa	- ärsyttää silmiä ja hengityselimiä
- metallien syöpyminen ja rakenteiden vahingoittuminen tulipalossa vapautuvien klooriyhdisteiden takia	- tulipalokohteen vauriot suuremmat, rakenteiden romahtamisvaara
- voi päätyä vesiliukoisena pohjaveteen	- pohjaveden saastuminen
- orgaanisten klooriyhdisteiden muodostuminen	- orgaaniset klooriyhdisteet kertyvät ravintoketjuun ja lähes hajoamattomina jäävät luontoon
- häiriöpäästö vesistöön	- vesieliöstön kuolemat

5.2.2 Peretikkahappo

Peretikkahappokäsittelyssä käytetään DEGACLEAN®150 –nimistä valmistetta, joka koostuu peretikkahaposta (14-17%), etikkahaposta (15-18%), vetyperoksidista (20-24%) sekä vedestä. Peretikkahappo on olomuodoltaan väritön, pistävänhajuinen neste ja myös voimakkaasti hapettava. Kaupallisia peretikkahappovalmisteita käytetään mm. desinfiointiaineena ruoka-, panimo- sekä lääketeollisuudessa, paperiteollisuuden limantorjunnassa, selluloosan valkaisussa ja ioninvaihtimien desinfioinnissa. Peretikkahappoa on käytetty myös hapetuskemikaalina teollisuuden synteeseissä ja jäteveden käsittelyssä. (Laine ja Raita 2007, 1 ja 4.)

Peretikkahappovalmisteiden tehokkuus eliöitä vastaan perustuu sen siirtymiskykyyn solukalvon lävitse sekä entsyymijärjestelmän tuhoavaan hapetusvaikutukseen. Se parantaa mahdollisesti myös putkiston toimintaa hajottamalla vähitellen putkistoihin kertyneitä saostumia ja tehostaa näin esimerkiksi lämmönvaihtimien toimintaa. (Laine ja Raita 2007, 5.)

Työturvallisuus- ja ympäristöriskit

Peretikkahappovalmiste aiheuttaa tulipalon vaaran palavien aineiden kanssa, on voimakkaasti syövyttävää sekä on terveydelle haitallista hengitettynä, joutuessaan iholle tai nieltynä. Valmiste on herkästi hajoavaa sen joutuessa kosketuksiin epäpuhtauksien, metallien, alkalien sekä reduktioaineiden kanssa. Lämpö tai kuumuus aiheuttavat myös valmisteiden hajoamista. (Käyttöturvallisuustiedote, DEGACLEAN®150 2006, 1 ja 4.)

Peretikkahappo hajoaa hydroksyyliiradikaalien vaikutuksesta ilmaan joutuessaan. Sen puoliintumisaika ilmassa on noin 4-6 vuorokautta. Koska peretikkahappo on hyvin vesiliukoinen, se voi päätyä ilmasta sateen mukana maahan. Kuivaan maahan päätyneet peretikkahappo on hyvin haihtuvaa. Se myös kulkeutuu eteenpäin helposti maaperässä, jolloin se voi päätyä pohjaveteen. Maaperässä se hajoaa kemiallisen hajoamisen kautta kuitenkin nopeasti. Peretikkahapon ei tiedetä kertyvän ravintoketjuun. (Työterveyslaitos 2006 b, 5-6.) Vedessä peretikkahappo hydrolysoituu vetyperoksidiksi ja etikkahapoksi. Laimeilla peretikkahappoliuoksilla hydrolyysi on hajoamistapana yleisin, mutta myös biologista hajoamista tapahtuu hydrolyysin ohella. Korkea lämpötila ja orgaaninen aines kasvattavat hydrolyysinopeutta. Vesiliukoisuuden takia peretikkahappo haihtuu vedestä hitaasti. Eräiden

laskentamallien mukaan sen puoliintumisaika matalassa joessa (syvyys yksi metri) on pari viikkoa.(Työterveyslaitos 2006 b, 5-6.)

Vesiliöille peretikkahappo on erittäin myrkyllistä. Sen akuutit LC50 arvot kalalle ovat 13-89 mg/l (96 h) ja EC50-arvot vesikirpulle 3,3 mg/l (48 h) ja levälle 0,7-16 mg/l (72 ja 96 h). Voimassa olevien kriteerien perusteella peretikkahappo itsessään voidaan luokitella ympäristölle vaaralliseksi aineeksi. Perusteena tälle on sen vesiliömyrkyllisyys. Myös peretikkahappoa sisältävät jätteet luokitellaan ongelmajätteiksi.(Työterveyslaitos 2006 b, 6-7.) Suositusten mukaan käytettynä peretikkahappoliuos ja sen hajoamistuotteet ovat kuitenkin biologisesti hajoavia ja ympäristölle suhteellisen vaarattomia.(Laine ja Raita 2007, 4-5.)

Taulukkoon 3 on koottu joitakin peretikkahapon käytöstä aiheutuvia työturvallisuus- ja ympäristöriskejä. Mahdollisia riskejä voivat aiheuttaa esimerkiksi kemikaaliroiskeet, palavien aineiden läheisyys, avoimeksi jääneet kemikaalialtiat, kemikaalin pohjaveteen päätyminen ja häiriöpäästö vesistöön. Peretikkahappoliuoksen käyttöä puoltaisi kuitenkin esimerkiksi se, että maaperään joutuessaan liuos tuskin ehtii pohjaveteen saakka, koska se hajoaa kemiallisesti suhteellisen nopeasti. Se ei myöskään kerry ravintoketjuun ja yleisesti ottaen sitä pidetään ympäristölle suhteellisen vaarattomana.

Taulukko 3 Peretikkahapon työturvallisuus- ja ympäristöriskejä

Riski	Seuraus
- aiheuttaa tulipalon vaaran palavien aineiden kanssa	- tulipalo
- kemikaaliroiskeet	- syövyttää ihoa, silmiä ja nieltynä ruuansulatuselimistöä
- astiat jäävät vahingossa avonaisiksi	- hengitysvaikeudet ja huonovointisuus
Riski	Seuraus
- voi vesiliukoisena päätyä pohjaveteen	- pohjaveden saastuminen
- häiriöpäästö vesistöön	- vesiliöstön kuolemat

5.3 Kemikaalien suorituskyvyn mittaus

Kemikaalien suorituskyvyn mittauksessa tarkoituksena oli mitata kahden hapettavan kemikaalin tehoa merivesijärjestelmässä esiintyvien valekirjosimpukoiden (*Mytilopsis leucophaeata*) torjunnassa. Mittauksissa käytetyt hapettavat kemikaaliliuokset olivat peretikkahappoliuos ja natriumhypokloriittiliuos. Kemikaalien torjuntakyvyn lisäksi kokeessa mitattiin eri materiaalien korroosiokestävyyttä testattaville kemikaaleille sekä fouling-eliöstön kiinnittymistä erilaisten, voimalaitoksella käytössä olevien materiaalien pinnoille. (Turunen 2008, 1.)

Kemikaalien testaus aloitettiin Loviisan voimalaitoksella vuoden 2008 kesäkuun alkupuolella viikolla 24 ja lopetettiin syyskuun lopussa viikolla 38. Testaus toteutettiin voimalaitoksen turbiinihallin viereen sijoitetussa erillisessä koekontissa, jossa oleviin kolmeen reaktioastiaan johdettiin vettä LO2-yksikön merivesipiiristä. Testattavia kemikaaleja syötettiin omiin reaktioastioihinsa. Yksi astioista toimi kontrolliastiana, johon ei syötetty kemikaalia. Kontrolliastian avulla todettiin, että simpukantoukkia esiintyi ja kiinnittyi pintoihin. Reaktioastioiden fouling-tilanne tarkastettiin päivittäisten kemikaalisyöttöjen yhteydessä silmämääräisesti. Kerran kahdessa viikossa suoritettiin tarkempi havainnointi sekä silmämääräisesti että valokuvaamalla reaktioastiat ja niissä olevat testiliuskat. Kokeen lopussa reaktioastioissa olevista muovisista testiliuskoista otettiin näytteet, joista laskettiin mikroskoipimalla simpukoiden määrä (tiheys) ja mitattiin simpukoiden pituudet.

Erot reaktioastioiden tilassa pystyi huomaamaan jo noin viikon kuluttua kemikaalisyöttöjen aloituksesta. Silmämääräisesti arvioituna ei peretikkahappoastiaan kertynyt koko mittauksen ajalta juuri lainkaan polyyppeja tai merirokkoa, jos astiaa verrattiin natriumhypokloriittiaastiaan. Suorituskyvyn perusteella vaikuttaisi siltä, että peretikkahappovalmiste olisi fouling-eliöstön torjunnassa natriumhypokloriittia parempi kemikaali.

5.4 Kemiallisen torjuntamenetelmän aiheuttamat lisäkustannukset

Henkilökuntaa ei tarvitse palkata lisää kemiallisen torjuntamenetelmän käyttöönoton takia, joten palkkakustannukset eivät tule kasvamaan. Erään toimittajan arvion mukaan natriumhypokloriitin syöttölaitteiston hinta olisi noin 6000-7000 €. Pitoisuudeltaan 15 % natriumhypokloriittiliuoksen hinta on noin 0,60 €/kg ja sitä käytetään jo nyt voimalaitoksen vedenpuhdistuslaitoksella. Kemikaalikulut yhdessä merivesijärjestelmässä neljän kuukauden pumppausajan jälkeen tulisivat olemaan 300 euron ja 8000 euron välillä. (Laine ja Raita 2007, 8.)

Peretikkahapon syöttölaitteisto maksaisi noin 32 000 € ja sillä pystyttäisiin käsittelemään jäähdytysvettä noin 11 m³/s. Valmisteen täysien konttierien kustannusarvio on välillä 1,50-1,80 €/kg. Konttierien hintaan vaikuttavat esimerkiksi kuinka paljon kemikaalia tarvitaan, rahtikustannukset ja säiliöiden koko. Kemikaalikulut yhdessä merivesijärjestelmässä neljän kuukauden pumppausajan jälkeen olisivat noin 3200 €. (Laine ja Raita 2007, 8.)

5.5 Kemikaalivaihtoehtojen vertailu

Kemikaalivaihtoehdot pystytään suhteellisen helposti laittamaan paremmuusjärjestykseen torjuntatehon perusteella. Peretikkahappovalmiste osoitti torjuntatehonsa pienillä pitoisuuksilla jo ensimmäisen viikon kuluessa kemikaalisyötön aloituksesta, kun taas natriumhypokloriittiliuos ei vakuuttanut tehokkuudellaan oikeastaan koko kemikaalin suorituskyvyn mittauksen aikana. Fouling-eliöstön torjunnassa natriumhypokloriittiliuosta kuluisi todennäköisesti huomattavasti suurempi määrä kuin peretikkahappovalmistetta. Natriumhypokloriittiliuoksen pitoisuuden tulisi myös olla torjuntakäytössä suurempi, kun taas peretikkahappovalmiste vaikuttaisi toimivalta jo suhteellisen pienillä pitoisuuksilla.

Torjuntakemikaalin käyttöönoton ja käytön aiheuttamien kustannusten perusteella pystytään myös vertailemaan kemikaalivaihtoehtoja. Peretikkahapon syöttölaitteiston hankintakustannukset saattaisivat parhaimmillaan, tai pahimmillaan, olla lähes 20 000 € kalliimmat kuin natriumhypokloriitin syöttölaitteiston hankintakustannukset. Jos kuitenkin otetaan

huomioon se, että itse torjunnassa peretikkahappovalmistetta kuluu todennäköisesti huomattavasti vähemmän kuin natriumhypokloriittia, saatavat kokonaiskustannukset lopulta olla jonkin verran edullisemmat peretikkahappovalmistetta käytettäessä.

Mahdollisia työturvallisuus- ja ympäristöriskejä vertaamalla on vaikea hahmottaa, kumpi kemikaalivaihtoehdoista olisi parempi tai huonompi. Natriumhypokloriitin käytössä huonoin asia olisi mahdollisuus orgaanisten klooriyhdisteiden syntymiselle, sillä ne ovat lähes hajoamattomia ja kertyvät ravintoketjuun. Peretikkahappovalmisteelta ei näin selkeää huonoa puolta löytynyt. Natriumhypokloriitin suurempi kulutus torjuntakäytössä kuormittaisi todennäköisesti myös ympäristöä enemmän.

Aavistuksen verran paremmalta fouling-torjuntakemikaalilta vaikuttaisi näin ollen peretikkahappovalmiste. Syöttölaitteiston luotettava kokoonpano sekä työntekijöiden huolellinen koulutus sen käyttöön vähentäisi niin työturvallisuus- kuin ympäristöriskejäkin huomattavasti. Kemikaalin vähäisempi kulutus vähentäisi myös tarvetta suurien kemikaalierien varastointiin, mikä osaltaan voisi pienentää mahdollisten häiriöpäästöjen laaja-alaisia vaikutuksia.

6 YHTEENVETO

Meriveden rehevöityminen ja lisääntynyt laivaliikenne Itämerellä tulevat todennäköisesti kasvattamaan vesieliöstön aiheuttamaa fouling-ongelmaa, varsinkin Itämeren rannikolla olevissa voimalaitoksissa. Fouling-eliöstö aiheuttaa ongelmia erityisesti lauhduttimen lämmönvaihtimissa, mutta myös muualla voimalaitoksen merivesijärjestelmässä. Pääomakustannukset kasvavat, kun lämmönsiirtimiä ylimitoitetaan ja joudutaan hankkimaan erilaisia puhdistuslaitteita. Likaantuminen lisää myös lämmönsiirtovastusta, materiaalien syöpymistä ja kitkapainehäviöitä, jolloin energiaa tuhlaantuu ja pumppaus-, huolto- ja korjauskustannukset kasvavat. Myös käyttökustannukset kasvavat virtaavien aineiden esikäsitelyn sekä lämmönsiirtimien puhdistusten takia. Mahdolliset puhdistusseisokitkin voivat aiheuttaa tuotantotappioita.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli pohtia fouling-torjuntaan käytettävän kemikaalin valintaperusteita. Tähän työhön valintaperusteiksi on valittu torjuntakemikaalin torjuntatehokkuus, kemikaalin syöttölaitteiston hankinnan ja käytön aiheuttamat kustannukset sekä riskinhallintatarpeiden vähäisyys.

Kemikaalin torjuntatehoa paikallisissa olosuhteissa tulisi testata ennen varsinaisen torjunnan aloittamista, sillä esimerkiksi jäähdytysveden lämpötila, pH ja kemiallinen koostumus vaikuttavat torjuntakemikaalin tehokkuuteen. Valitun torjuntakemikaalin tulisi olla suorituskyvyltään mahdollisimman tehokas, ympäristöä vähän kuormittava sekä kustannuksiltaan alhainen. Likaantumisesta aiheutuvia kustannuksia tulisi pyrkiä myös vertailemaan suunnitellun torjuntamenetelmän käyttöönoton ja käytön aiheuttamiin kustannuksiin, vaikka likaantumisen aiheuttamia kustannuksia onkin usein hankala arvioida.

Työturvallisuus- ja ympäristöriskienhallinta tarkoituksena on, ettei onnettomuuksia pääse tapahtumaan, koska niihin varaudutaan jo etukäteen. Onnettomuuksiin varautuminen vaatii usein rahallista panostusta, mutta tämä panostus on usein pienempi kuin onnettomuuden aiheuttamien vahinkojen korjauskustannukset. Erilaisia varautumiskeinoja voivat olla esimerkiksi työntekijöiden suojavälineiden hankkiminen sekä turvamerkinnät ja käyttöohjeet

käytettävissä laitteissa. Myös riskianalyysimenetelmien käyttö voi auttaa erilaisten onnettomuusriskien sekä vaaratilanteiden syiden ja seurausten hahmottamisessa. Erilaisten riskianalyysimenetelmien joukosta valittiin esimerkeiksi työturvallisuuden arviointiin työn turvallisuusanalyysi (TTA) sekä ympäristöriskien arviointiin potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) ja satunnaispäästöriskianalyysi (SARA).

Esimerkkitapauksen, Case Loviisan voimalaitoksen, avulla pyrittiin esittämään, miten kemikaalien valintaperusteita voitaisiin vertailla käytännössä. Esimerkissä kerrottiin aluksi, millaisia ongelmia fouling-ilmiö aiheuttaa sekä mitkä eliölajit aiheuttavat ongelmia juuri Loviisan voimalaitoksella. Seuraavaksi käytiin läpi mahdollisen kemiallisen torjunnan tavoitteita ja kemikaalivaihtoehdot, joista toinen saatetaan valita voimalaitoksen fouling-torjuntakemikaaliksi. Kemikaalivaihtoehtojen esittelyissä käsiteltiin myös niihin mahdollisesti liittyviä ympäristö- ja työturvallisuusriskejä, niiden suorituskykyä fouling-eliöstön torjunnassa sekä torjuntamenetelmän käyttöönoton ja käytön aiheuttamia kustannuksia. Lopuksi esimerkissä vertailtiin torjuntakemikaalin valintaan vaikuttavia tekijöitä toisiinsa ja pohdittiin, kumpi voisi olla parempi vaihtoehto fouling-eliöstön torjuntaan.

Esimerkin kemikaalivaihtoehtoja oli suhteellisen helppoa vertailla suorituskyvyn sekä käyttöönoton ja käytöstä aiheutuvien kustannusten perusteella. Mahdollisten työturvallisuuden tai satunnaispäästöihin liittyvien riskien vertailun avulla ei pystytä työn esimerkkitapauksessa tekemään suurempaa eroa kemikaalivaihtoehtojen välillä. Alustavasti vaikuttaisi siltä, että peretikkahappovalmiste olisi sopivampi Loviisan voimalaitoksen fouling-eliöstön torjuntakemikaaliksi. Valmisteen eliöstöntorjuntakyky vaikutti selkeästi paremmalta kuin natriumhypokloriitin ja pidemmän ajanjakson kuluessa kustannuksetkin tulevat mahdollisesti olemaan hieman alhaisemmat kuin natriumhypokloriitin.

Fouling-torjuntaan käytettävän kemikaalin valintaa tulisi pohtia eri näkökulmista, jotta valittu kemikaali olisi todellisuudessa parempi tarjolla olevista vaihtoehdoista. Usein joudutaan ongelman kehittymistä ennustamaan vuosien päähän sekä tarkastelemaan nykyhetken tilannetta. Erilaisten näkökulmien tarkastelemisen avulla valintaprosessista voi saada mahdollisimman kattavan.

LÄHDELUETTELO

Fortum. Fortumin Loviisan voimalaitos. 18 s. Esite Loviisan voimalaitoksesta. Saatavissa: Fortum Power and Heat Oy:n Loviisan voimalaitos.

Hammo Simo. 1994. Lämmönsiirtimien likaantuminen. Lappeenranta. 19 s. Lappeenrannan teknillisen yliopiston lämpö- ja virtaustekniikan jatkokurssi. ISBN 951-763-923-6.

Kuronen Juhani. 2007. Yritysturvallisuus. Lappeenranta. 87 s. Lappeenrannan teknillisen yliopiston Yritysturvallisuus-kurssin kurssimoniste.

Käyttöturvallisuustiedote, DEGACLEAN®150. 2006. Degussa. 14 s.

Käyttöturvallisuustiedote, Natriumhypokloriitti 15 %. 2005. Kemira Oyj. 7 s.

Laihonen Pasi ja Vuorinen Ilppo. 1981. Fouling-haitat Suomessa. Turku. 42 s. Turun yliopiston Biologian laitoksen julkaisuja n:o 2. ISSN 0357-5373.

Laine Ari O. Kuvat 1-4. Kuvien julkaisulupa on pyydetty kuvien oikeuksien omistajalta Ari O. Laineelta.

Laine Ari ja Raita Antti. 2005. Fouling-eliöstö merivettä käyttävässä jäähdytysvesijärjestelmässä Loviisan voimalaitoksella. ÅF-Enprima Oy. Fortum Power and Heat Oy:lle tehty raportti. 39 s. Ei julkinen asiakirja.

Laine Ari ja Raita Antti. 2007. Ehdotus merivesijäähdytysjärjestelmien fouling-eliöstön torjuntakemikaaliksi. ÅF-Enprima Oy. Muistio. 12 s. Ei julkinen asiakirja.

Laine Ari ja Raita Antti. 2008. Loviisan voimalaitoksen merivesijärjestelmän fouling-torjuntaan soveltuvan kemikaalin testaus vuonna 2008. ÅF-Enprima Oy. Fortum Power and Heat Oy:lle tehty suunnitelma. 5 s. Ei julkinen asiakirja.

Malmén Yngve, Tiihonen Jyrki ja Wessberg Nina. 2000. Satunnaispäästöriskien arviointi. Helsinki. 133 s. ISBN 952-14-0228-8.

Raita Antti. 2006. Tilannekatsaus Fouling-eliöstöstä Suomen lämpövoimalaitosten jäähdytysvesijärjestelmissä. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.11.2008]. ÅF-Enprima Oy ja Ympäristötutkimus Laine. 26 s. Saatavissa:

[http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/julkaisut%20ja%20tutkimuk-](http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/julkaisut%20ja%20tutkimukset/ymp%C3%A4rist%C3%B6pooli/loppuraportit/tilannekatsaus%20fouling.pdf?SectionUri=%2ffi%2fjulkaisut%2fymparistopooli%2ftutkimusaineisto)
[set/ymp%C3%A4rist%C3%B6pooli/loppuraportit/tilannekatsaus%20fouling.pdf?SectionUri=%2ffi%2fjulkaisut%2fymparistopooli%2ftutkimusaineisto](http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/julkaisut%20ja%20tutkimukset/ymp%C3%A4rist%C3%B6pooli/loppuraportit/tilannekatsaus%20fouling.pdf?SectionUri=%2ffi%2fjulkaisut%2fymparistopooli%2ftutkimusaineisto)

Turunen Arvo. 2008. Loviisan voimalaitoksen merivesijärjestelmän fouling-torjuntaan soveltuvan kemikaalin DegaClean 150 (peretikkahappoliuoksen) ja natriumhypokloriittiliuoksen testaus (jatkoa kesältä 2007). Käyttötiedote (Kä-tiedote). 2 s. Ei julkinen asiakirja.

Työterveyslaitos. 2006a. OVA-ohje: Natriumhypokloriitti. [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.6.2006. [viitattu 3.11.2008]. Saatavissa:
<http://www.ttl.fi/ova/nathyklo.pdf>

Työterveyslaitos. 2006b. OVA-ohje: Peretikkahappo. [verkkodokumentti]. Päivitetty 22.5.2006. [viitattu 3.11.2008]. Saatavissa:
<http://www.ttl.fi/OVA/peretikkah.pdf>