

Arto Roukala

# Reduktiolämmönvaihtimen säilönnän ja käyttöönoton automatisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööriytyö

30.5.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Arto Roukala Reduktiolämmönvaihtimen säilönnän ja käyttöönoton automatisointi 45 sivua + 2 liitettä 30.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energiatekniikka
Ohjaajat	Vuoropäällikkö, Kari Pulkkinen Koneinsinööri, Petri Parviainen Vanhempi käyttöinsinööri, Tarmo Mansner Lehtori, Jarmo Perttula
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää reduktiolämmönvaihtimen säilönnän ja reduktioajon automatisoinnin taloudellinen kannattavuus Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitoksella. Reduktioajossa ei ollut työtä aloittaessa käyttöönotossa automaatiota, vaan lämmönvaihtimen ylösajossa on käsin operoitavia venttiilejä.</p> <p>Halvan sähkön aikana reduktiolämmönvaihdin otetaan käyttöön tuottamaan enemmän kaukolämpöä verkkoon. Automatisoinnilla saadaan lämmönvaihdin tuottamaan nopeammin kaukolämpötehoa. Säilönnän ansiosta reduktiolämmönvaihdin on jatkuvasti käyttövalmiina ja käyttöönotto on nopeampaa. Automatisoinnilla saadaan myös kattila tuottamaan 3-5 kg/s tuorehöyryä enemmän, joka voidaan käyttää prosessin tehostamiseen.</p> <p>Automatisoinnin kannattavuus selvitettiin laskemalla kokoonpanomuutoksen kustannukset ja tulevat vuosittaiset polttoainesäästöt, kun maakaasun käyttö lämpökeskuksilla vähenee.</p> <p>Työn lopputuloksena on laskelma automatisoinnin vuosituotosta, investoinnin takaisinmaksuaika ja investointiin liittyvät herkkyyksianalyysit.</p>	
Avainsanat	lämmönvaihdin, reduktio, venttiili, säätö, automaatio

Author(s) Title Number of Pages Date	Arto Roukala Automation and preservation of Steam substation and heat exchanger 45 pages + 2 appendices 30 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructor(s)	Kari Pulkkinen, Shift Manager Petri Parviainen, Mechanical Engineer Tarmo Mansner, Senior Production Engineer Jarmo Perttula, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to improve the automation and preservation of a steam substation and a heat exchanger. In this graduate study, the automation of the heat exchanger and steam substation was improved by designing a new layout for the district heating pipes and steam pipes. The objective was to update the old method of using a steam substation and a heat exchanger. In addition, the goal was to improve the operation of the substation and to increase the efficiency of producing electricity and district heat.</p> <p>The study was carried out as follows. Firstly, topic-related literature was studied and the company's employees were interviewed by using questionnaires. Secondly, the new layout for the heat exchanger was planned. Thirdly, request for quotations for new valves were sent to valve suppliers. Finally, calculations for viability were made as well.</p> <p>As a result, the calculations point out that the study is viable. The old system was found outdated and the new and more modern system will be more economic and it is more useful. The new system will generate more steam from the power plant's steam boiler and the steam will be used in heat exchangers. In conclusion, the suggested solutions will be implemented at the company's power plant.</p>	
Keywords	steam, automation, heat, exchanger

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vantaan Energia	2
2.1	Yrityksen toiminta ja organisaatio	2
2.2	Martinlaakson voimalaitos	3
2.3	Jätevoimala	3
3	Lämmönvaihdin	4
4	Voimalaitoksen säädöt	5
4.1	Säädön peruskynnet	6
4.1.1	Kiinteä paineensäätö	6
4.1.2	Liukuva paineensäätö	7
4.2	Voimalaitoksen säätötoteutukset	7
4.2.1	Höyryturbiinin ja sähköntuotannon säädöt	8
4.2.2	Vastapainehöyryntuotannon säädöt	8
4.2.3	Kaukolämmöntuotannon säädöt	8
5	Vedenkäsittely	9
5.1	Yleistä	9
5.2	Lisäveden valmistus	9
5.2.1	Veden epäpuhtaudet	10
5.2.2	Hapenpoisto	11
5.2.3	Kovuudenpoisto	12
5.2.4	Täyssuolanpoisto	12
5.3	Lauhteen puhdistus	14
5.4	Magnetiittikalvo	14
5.4.1	Magnetiittikalvon muodostuminen	15
5.4.2	Magnetiittikalvon merkitys	16
5.5	Seisonta-ajan korroosio	17

6	Reduktiolämmönvaihdin	18
6.1	Lämmönvaihtimen ongelmat	19
6.1.1	Seisontasäilöntä	19
6.1.2	Käyttöönotto	20
6.2	Kaukolämpöventtiilit	21
6.3	Reduktioventtiili	22
6.3.1	Reduktioventtiilin toiminta	22
6.3.2	Venttiilin ongelmat	22
7	Suunniteltu kokoonpano	23
7.1	Uusi kokoonpano	23
7.2	Uudet kaukolämpöventtiilit	25
7.3	Lämpötilamittaus	25
7.4	Reduktioventtiilin esilämmitys	26
7.5	Säätötarpeet	29
7.5.1	Etupainesäätö	29
7.5.2	Kaukolämpöventtiilien säätö, yhteistoiminta	30
8	Kunnossapito	30
8.1	Läppäventtiilit	31
8.2	Reduktioventtiili	31
8.3	Lämmönvaihdin	31
8.4	Työturvallisuus	32
9	Uuden kokoonpanon kannattavuuden tarkastelu (vain työn tilaajan käyttöön)	33
9.1	Kustannukset ja tuotot	34
9.1.1	Laitekustannukset	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
9.2	Kannattavuuslaskelmat	36
9.2.1	Herkkyysanalyysi	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
10	Yhteenveto	37
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Kustannusarviot (Vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 2. Kannattavuuslaskelmat (Vain työn tilaajan käyttöön)	

## Lyhenteet

Al	Alumiini
bar	Paineen yksikkö
CaCO <sub>3</sub>	Kalsiumkarbonaatti
CaO	Kalsiumoksidi, eli kalkki
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
Fe	Rauta
Fe(OH) <sub>2</sub>	Ferrohydroksidi
GWh	Gigawattituntia, energian kulutus.
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Hiilihappo
H <sub>2</sub> O	Vesimolekyyli
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Rikkihappo
HCl	Suolahappo
kg/s	Kilogrammaa sekunnissa, käytetään ilmaisemaan höyryn massavirtaa
LV3	Lämmönvaihdin 3, työssä esiteltävä lämmönvaihdin, jonka ongelmia ratkaistaan
mg	Milligramma
MgCO <sub>3</sub>	Magnesiumkarbonaatti

MW	Megawatti, tehon yksikkö
MWh	Megawattituntia, energian kulutus.
$N_2H_4$	Hydratsiini
$Na_3PO_4$	Trinatriumfosfaatti
NaCl	Natriumkloridi
NaOH	Natriumhydroksidi
$NH_3$	Ammoniakki
$^{\circ}C$	Astetta celsiusta, lämpötilan yksikkö
$^{\circ}dH$	deutscher Härtergrad, Veden kovuuden mittauksessa käytetty kovuuden yksikkö.
$SiO_2$	Pioksidi

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää reduktioajon modernisoinnin taloudellinen kannattavuus Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitoksella.

Insinööriyö suoritettiin Vantaan Energia Oy:n Vantaalla sijaitsevaan Martinlaakson voimalaitokselle, jossa on todettu kehitystarvetta reduktiolämmönvaihtimen säilönnässä, reduktioventtiilin esilämmityksessä ja käyttöönotossa. Nykyisessä reduktioajon kokoonpanossa ei ole automaatiota, eikä sillä kyetä vastaamaan riittävän tehokkaasti kaukolämmön- ja sähköntuotannon tarpeen nopeaan vaihteluun.

Työssä keskityttiin nykyisen reduktioajon kokoonpanon ongelmakohtiin, kuten käyttöönottoon ja säilöntään, voimalaitoksen vesikemiaan, reduktioventtiilin toimintaan ja sen esilämmitykseen, reduktiolämmönvaihtimen toimintaan, säilöntään ja käyttöönottoon, reduktioajon etupainesäätöön ja kaukolämpöventtiilien yhteistoimintaan. Työssä myös perehdyttiin Vantaan energia Oy:n organisaatioon ja sen voimalaitoksiin sekä niissä tuotettuun sähköön.

Tämän insinööriyön tavoite oli saada uudesta kokoonpanosta toimiva, yksinkertainen, käyttäjäystävällinen ja taloudellisesti kannattava toteuttaa. Tarkoituksena on saada modernisoitua Martinlaakson voimalaitoksen reduktioajo vastaamaan tehokkaasti sähkön- ja lämmöntuotannon nopeaan vaihteluun.

Kun lukijalle on selvinnyt laitoksen toiminta ja reduktioajon peruseriaatteet, siirrytään reduktioajon ongelmiin, sekä uusiin komponentteihin ja kustannuksiin. Lukijalle selitetään lämmönvaihtimen toiminta ja tärkeimmät komponentit. Lopputulemana on investoinnin kannattavuuden tarkastelu.

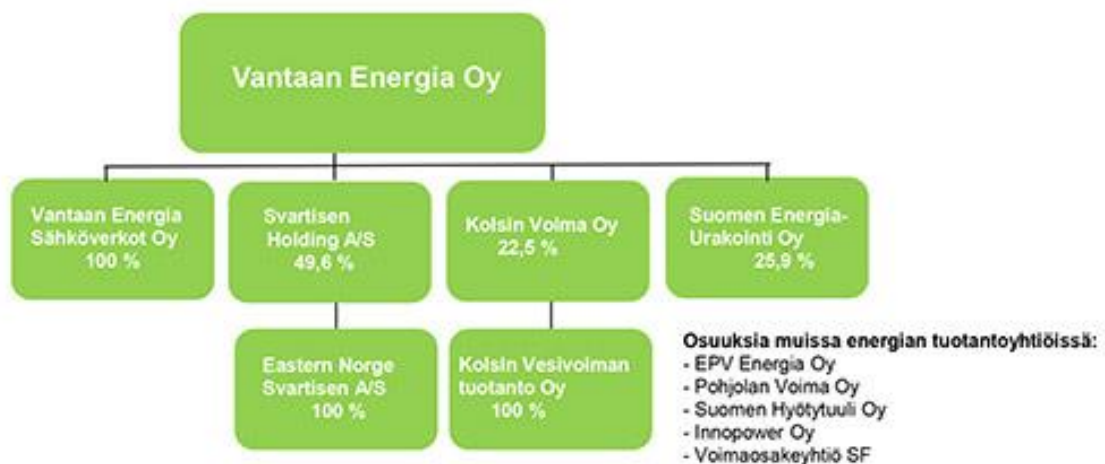


## 2 Vantaan Energia

### 2.1 Yrityksen toiminta ja organisaatio

Vantaan Energia on yksi Suomen suurimpia kaupunkienergiayhtiöitä ja se on Vantaan kaupungin (60 %) ja Helsingin kaupungin (40 %) kanssa yhteisomistuksessa. Yhtiö tarjoaa maakaasua teollisuuden tarpeisiin ja vastaa kaukolämpöverkostojen huoltamisesta sekä uuden verkon rakentamisesta Vantaan alueella. Vantaan Energia myös tuottaa yhteistuotantona sähköä ja kaukolämpöä jätevoimalalla ja Martinlaakson voimalaitoksessa. Molemmissa voimalaitoksissa on korkea hyötysuhde; Martinlaakson voimalaitoksella 90 % ja jätevoimalalla 95 %. Jätevoimala tuottaa 50 % Vantaan kaukolämmön tarpeesta ja n. 30 % vuotuisesta sähkön tarpeesta. Martinlaakson voimalaitoksella tuotetaan 50 % kaukolämmön tarpeesta ja voimalaitoksen sähköntuotannolla ja sähköosuuksilla sähköä tuotetaan loput 70 %. Vantaan Energian sähköverkot Oy on Vantaan Energian tytäryhtiö, joka pitää huolen Vantaan alueen sähköverkkojen rakentamisesta ja kunnossapidosta. Yhtiö on kokonaan Vantaan Energia Oy:n omistama (Kuva 5.). /5./

Vantaan Energia on toiminut ympäristöstandardin ISO-14001 mukaisesti jo vuodesta 1999. Yhtiön liikevoitto oli vuonna 2014 44,2 milj. euroa, joka oli noin 15 % yrityksen liikevaihdosta. /5./



Kuva 1 Vantaan Energia Oy:n organisaatio /5/

## 2.2 Martinlaakson voimalaitos

Martinlaakson voimalaitoksella tuotetaan sähköä ja kaukolämpöä yhteistuotantona, eli voimalaitos on vastapainevoimalaitos. Kattilasta saatu höyry syötetään turbiinille ja osa höyryn energiasta kuluu turbiinin akselin kautta generaattorin pyörittämiseen, jolla tuotetaan sähköä. Turbiinista poistuvasta höyrystä otetaan vielä lämpöenergiaa talteen kaukolämmönvaihtimella. Lämmönvaihtimen jälkeen höyrystä muodostunut lauhdevesi pumpataan takaisin syöttövesisäiliöön. Vastapainevoimalaitoksien hyötysuhde on yleensä korkea, Martinlaakson voimalaitoksenkin hyötysuhde on noin 90 %. /2 - 5/

Martinlaaksossa poltetaan nykyisin kivihiihtä ja maakaasua. Maakaasua käytetään kattilan käyttöönotossa käynnistys- ja tukipolttoaineena. Martinlaakson blokki 2:sen kattila on valmistunut vuonna 1982, ja sen toimitti Ahlström. Kattila on luonnonkiertokattila, eli kattilassa olevan veden kierrättämiseen ei käytetä erillistä pumppua vaan kun vettä lämmitetään, sen tiheys pienenee ja vesi alkaa kulkea putkissa ylöspäin. Kun luonnonkierto on hyvin ja oikein mitoitettu, on kattilan keittopintojen jäähdytys turvattu kaikilla ajokuormilla. Kattila teho on 250 MW ja se tuottaa 100 %:n kuormalla tulistettua höyryä 92 kg/s, 117 bar, 535 °C. /6./

## 2.3 Jätevoimala

Jätevoimala valmistui Itä-Vantaalle, Långmossebergeniin, vuonna 2013, ja ensitulet sytytettiin 2014. Jätevoimalassa poltetaan sekajätettä, joka kerätään Uudenmaan alueelta. Jätevoimalan käyttöönotto vähensi Vantaan Energian hiilidioksidipäästöjä noin 20 % Vantaan alueella ja fossiilisten polttoaineiden käyttöä noin 30 %.

Jätevoimala tuottaa vuodessa 920 GWh kaukolämpöä ja 600 GWh sähköä. Jätteet poltetaan Hitachin toimittamissa höyrykattiloissa arinatekniikalla, joka on käytetyin poltotekniikka maailmalla, kun polttoaineena on sekajäte. /5./

### 3 Lämmönvaihdin

Lämmönvaihdin on laite, jota käytetään siirtämään lämpöenergiaa kaasujen, nesteiden ja höyryn välillä. Erilämpöiset työaineet on erotettu toisistaan yleisimmin metalliseinämällä. Lämmönvaihtimissa ei yleensä ole ulkoisia lämmön ja työn vuorovaikutuksia. Tyypilliset lämmönvaihdinsovellukset sisältävät yhden tai useamman nesteen lämmitystä, viilentämistä ja haihtumista tai kondensoitumista. Muissa sovelluksissa tarkoituksena on hylkiä lämpöä tai ottaa talteen lämpöä tai sterilisoida, pastöroida, fraktioida, tislata tai kontrolloida nesteen prosessia. Yleisimmissä lämmönvaihtimissa nesteet erotetaan seinämällä toisistaan ja ideaalitapauksessa vuotoja ei tapahdu, eivätkä nesteet sekoitu keskenään. Tällaisia lämmönvaihtimia kutsutaan *suora-lämmönsiirtovaihtimiksi*, lyhyesti *rekuperaattoreiksi*. Lämmönvaihtimia, joissa on ajoittaista lämmönsiirtymistä kylmän ja kuuman nesteen välillä lämmönvaihtimen pintojen lävitse, kutsutaan taas *epäsuoriksi lämmönsiirtovaihtimiksi*, lyhyesti *regeneraattoreiksi*. Näissä vaihtimissa on yleensä nestevuotoja nesteestä toiseen, painevaihteluiden takia. Jos missään lämmönvaihtimessa olevassa nesteessä ei tapahdu faasimuutoksia, voidaan puhua käytännöllisestä lämmönvaihtimesta. /1, s.1 - 5./

Lämmönvaihdin sisältää lämmönsiirtopintoja ja nesteen jakeluelementtejä, kuten meno ja paluu suuttimia tai putkia ja säiliöitä ja ohjauslevyjä. Yleensä lämmönvaihtimessa ei ole liikkuvia osia, mutta on olemassa pyörivä regeneraattorityyppinen lämmönvaihdin, joka on mekaanisesti ohjattu pyörimään jollain tietyllä pyörimisnopeudella. Lämmönvaihtimen lämmönsiirtopinta on pinta vaihtimen ytimessä, joka on suorassa kosketuksessa nesteisiin ja lämpöenergia siirtyy nesteiden välillä johtamalla. Lämpöpintoja voi olla useita. Lämpöpinnat ovat kosketuksessa sekä kuumaan että kylmään nesteeseen. Koska ne siirtävät energiaa nesteiden välillä, kutsutaan niitä primääripinnoiksi. /1, s. 1 - 5./

Yleisimpiä lämmönvaihdintyyppisiä ovat putkilämmönvaihtimet, ajoneuvon jäähdytysjärjestelmän jäähdyttimet, kondensaattorit, haihduttimet, ilman esilämmittimet ja jäähdystornit. Putkilämmönvaihdin on sylinterinmuotoinen säiliö, jonka sisään on rakennettu putkipaketti, joka sisältää suuren määrän putkia ja törmäyslevyjä, jotka hidastavat putkipaketin ulkopuolisen nesteen virtausta, muuttamalla sen suuntaa. Näin saadaan tehostettua nesteiden välistä lämmönsiirtoa. /1, s.1 - 5./

Perinteisesti voimalaitoksissa käytetään höyryn lauhduttamiseen putkilämmönvaihtimia, joita voidaan myös kutsua lauhduttimiksi, koska höyry lauhdutetaan lämmönvaihtimessa. Lauhdutin jäähdyttää höyryn vedeksi, ja siihen käytetään tavallisesti vesistöjen vettä. Kun vettä ei ole saatavilla, kierrätetään systeemin jäähdytysvettä jatkuvasti. Jotta voimalaitoksen hyötysuhde pysyisi hyvänä, käytetään jäähdytysvetenä kaukolämpövettä. Höyryä poistuu myös kierrosta ulospuhalluksien ja vuotojen takia, nämä vajaukset on korvattava lisävedellä. Höyryn lauhduttua lauhduttimessa vedeksi, vesi pumpataan lauhdepumpuilla takaisin syöttövesisäiliöön ja sitä kautta takaisin kattilan vesikiertoon. /4, s. 264./

Lauhduttimeen alkaa säilöntäaikana kerääntymään ilmaa, kun siellä vallitsee kiertoprosessin alhaisin paine (alipaine). Tällainen tilanne nostaa kokonaispainetta lauhduttimessa ja näin ilma toimii eristeenä, huonontaan lämmönvaihtoprosessia. Ilma täytyy saada poistettua lauhduttimesta ennen käyttöönottoa. Ilman poistoon on käytetty yleisesti höyrykäyttöisiä ejektoreita. Ilman poistamiseen lauhduttimesta ja alipaineen muodostamiseen käytetään myös vesirengaspumppuja. Vesirengaspumpun pesään on sijoitettu epäkeskeisesti siipipyörä. Kun pumppu pyörii, alkaa vesipumpun pesän ulko-reunoille muodostua juoksupyörän tiivistämä vesirengas. Pumppu imee ilmaa vesirengaan ja akselin väliin ja puristaa sen pienempään tilavuuteen imu- ja poistoyhteiden välissä. Kun halutaan suurempi alipaine, voidaan juoksupyöriä asettaa useampia sarjaan. /2, s. 100./

Lauhtumista tapahtuu kun höyry koskettaa lämmönvaihtimen pintaa, jonka lämpötila on alhaisempi kuin höyryn oma kyllästymislämpötila. Tällöin höyry tiivistyy lämmönsiirtopintaan nesteenä, eli muuttuu lauhteeksi. Lauhde voi olla nestepisaroina tai lauhtekalvona lämmönsiirtopinnoilla, tästä riippuen puhutaan joko pisara- tai kalvolauhtumisesta. Pesaralauhtuminen antaa paremman lämmönsiirron kuin kalvolauhtuminen. Pesaralauhtumista ei voida ylläpitää kuin tietyn ajan verran erikoistoimenpiteillä. /3, s. 94./

#### **4 Voimalaitoksen säädöt**

Höyryvoimalaitoksen sähkön, kaukolämmön ja prosessihöyryn tuotantoa on ohjattava jatkuvasti. Jos tuotantoa ei ohjata, se vaihtelee koko ajan polttoaineen laadussa, laitosta kuormitettaessa ja voimalaitosprosessissa itsessään esiintyvien vaihteluiden takia.

Esimerkiksi voimalaitoksen tuottaman kaukolämpötehon muutokset aiheuttavat ongelmia kaukolämpöverkossa olevien asuntojen lämmityksessä. /2, s.154./

Voimalaitoksia ohjataan automaatiojärjestelmän avulla. Voimalaitoksen operaattori asettaa halutun sähköntuotannon, höyryntuotannon tai kaukolämmöntuotannon asetusarvon, ja automaatio ohjaa voimalaitosta säätöpiirien avulla tarpeen mukaan. Asetusarvot vaihtelevat sen perusteella, millainen voimalaitos on kyseessä. Laitoksien säätökytkennöissä on eroja, mutta käytännössä laitoksen tehonsäätö perustuu aina kattilan tuottaman tuorehöyryn paineen ohjaamiseen. Voimalaitoksen käyttötarkoitus, rakenne ja kokemukseen perustuvat asiat vaikuttavat laitoksen säätöihin. Yleensä prosessihöyryn tuottoon tarkoitettussa laitoksessa höyryn painetta säädetään kiinteän paineen säädöllä, kun taas sähkön tuottoon höyryturbiinilla tarkoitettussa laitoksessa höyryn painetta säädetään liukuvan paineen säädöllä. /2, s.154./

#### 4.1 Säädön peruskytkennät

Tuorehöyryn paineensäätö on jaettu kahteen pääryhmään: kiinteä paineensäätöön ja liukuva paineensäätöön. Liukuvassa paineensäädössä tuorehöyryn paine muuttuu kattilan tehon mukaan. /2, s. 154./

Kiinteässä paineensäädössä säädin ohjaa polttoaineen syöttöä kattilaan. Kun paine alkaa laskea, kattilan säätö lisää kattilaan syötettävän polttoaineen ja palamisilman määrää, ja paineen noustessa tapahtuu päinvastoin. /2, s. 154./

##### 4.1.1 Kiinteä paineensäätö

Kiinteällä paineensäädöllä on pyritty pitämään kattilan tuottama tuorehöyryn paine vakiona säätämällä kattilaan syötetyn polttoaineen määrää. Jos höyryn paine alkaa laskea, kattilaan aletaan syöttää enemmän polttoainetta ja vastaavasti paineen noustessa polttoaineen syöttöä pienennetään. Jos käytetään ainoastaan kiinteää paineensäätöä, on huonona puolena sen hidas reagoiminen tuorehöyryn paineen vaihteluun. /2, s. 155./

Jos voimalaitoksessa on höyryturbiini, säädetään samaan aikaan turbiinin säätöventtiilillä joko generaattorin taajuuspoikkeamaa, sähkötehoa tai turbiinille syötettävän höyryn painetta. Paineensäädin vahtii höyryn painetta ja antaa asetusarvon polttoaineen virtaussäätimelle, joka ohjaa polttoaineen syöttöä. /2, s. 155./

#### 4.1.2 Liukuva paineensäätö

Liukuvan paineensäätö soveltuu suuriin, pääsääntöisesti sähköä tuottaviin lauhdevoimalaitoksiin. Tapahtuvassa höyrynpaineen säädössä, höyryn paine muuttuu lineaarisesti kattilan tehon mukaan. Tätä säätötapaa voidaan käyttää lieriö- ja läpivirtauskattiloissa. /2, s. 155./

Turbiinin säätöventtiili pidetään tällöin täysin auki ja generaattorin tuottamaa sähkötehoa säädetään kattilalle syötettävän polttoaineen määrällä. Liukuvan paineensäädön toinen variaatio on ohjattu liukuva paineensäätö. /2, s.155./

#### 4.2 Voimalaitoksen säätötoteutukset

Harvoissa tapauksissa pelkästään kattilan tuottama tuorehöyryn paineen ohjaaminen riittää voimalaitoksen koko tuotannon hallitsemiseen. Tämän lisäksi on säädettävä kaukolämpötehoa ja prosesseihin syötettävän prosessihöyryn painetta erilaisilla painetasoilla. /2, s. 156./

Pelkästään kattilan polttoainesyötön säätö aiheuttaa ongelmia, sillä samaan aikaan kun polttoainevirtausta muutetaan, täytyy kattilaan syötettävän palamisilman virtaus muuttua vastaavasti, jotta palamistapahtuma tapahtuu oikein. Tästä syystä palamisilman säätimet on kytketty seuraamaan polttoaineensyötön säätimen lähtöä. Käytännön toteutukset voivat poiketa esitetyistä säätökytkennöistä paljonkin, ja ne voivat olla monimutkaisia. Useasti säätökytkennät sisältävät säätimien lisäksi erilaisia rajoituspiirejä, joiden tarkoitus on pitää höyryn paineen ja lämpötilan muutosnopeudet annetuissa sallituissa rajoissa. /2, s. 156./

#### 4.2.1 Höyryturbiinin ja sähköntuotannon säädöt

Voimalaitoksissa, joissa tuotetaan lauhdesähköä, sähkötehon säätöön on käytettävissä monta eri vaihtoehtoa säädön toteutukseen:

- sähkötehon säätö tulosäätöventtiilillä
- lauhduttimen paineen säätö
- etupainesäätö.

Yleisin säätötapa on liukuva paineensäätö. Muissa säätötavoissa kattilan paine pyritään pitämään vakiona kiinteä paineensäädön avulla ja laitoksen sähkötehoa säädetään turbiinin tulosäätöventtiilillä suoraan tai sähkötehon arvolla tai välillisesti lauhduttimen paineen perusteella. Etupainesäätöä on myös käytetty lauhdesähkön tuottamisessa. Suuremmissa, monipesäisissä höyryturbiineissa säädetään useasti sähkötehoa ja lauhduttimen painetta erikseen siten, että sähkötehon säätöön käytetään säätöventtiiliä ennen höyryturbiinin korkeapainepesää ja lauhduttimen painetta säädetään välipaine ja matalapainehöyryturbiinien välissä olevalla säätöventtiilillä. /2, s. 156./

#### 4.2.2 Vastapainehöyryntuotannon säädöt

CHP-voimalaitoksien päätuote on vastapainehöyry käytössä olevan prosessin tarpeisiin, esimerkiksi paperikoneiden kuivaushöyryksi. Yleisesti kattilan tehoa on säädetty tuorehöyryn paineen perusteella, kiinteän paineen säädöllä. Prosessihöyryn painetta säädetään vastapainehöyryn säädöllä, höyryturbiinin säätöventtiilin avulla. Höyrynpaineen vaihtelu vaikuttaa tuotettuun sähkötehoon. Useasti sähkötehoa ei säädetä lainkaan, tai sitä säädetään kattilan tehonsäädöllä. Prosessihöyry otetaan turbiinin vastapainehöyrystä tai turbiinin välitoista. Jos vastapainehöyryn paine laskee liikaa tai turbiinia ei käytetä, tuotetaan höyryä reduktioventtiilin avulla tuorehöyrylinjasta. /2, s. 156./

#### 4.2.3 Kaukolämmöntuotannon säädöt

Tuotettaessa kaukolämpöä pyritään pitämään voimalaitokselta lähtevän kaukolämpöveden lämpötila samana ja halutun suuruisena. Kaukolämmönvaihtimissa höyry alkaa lauhtua vedeksi. Vaihtimien lämpötilaa säädetään läpi virtaavalla kaukolämpövedellä. Lämmönvaihtimen pinnankorkeutta säädetään käyttäen lauhdepumppuja, säätöventtiili-

liä tai molempia. Kiinteän paineen säädöllä oleva kattila tai kaasuturbiini pyrkii pitämään höyrylinjan paineen vakiona. Kun kaukolämmön kulutus on korkea tai turbiinia ei käytetä, ohjataan tuorehöyry reduktioventtiilin kautta lämmönvaihtimeen. /2, s. 156./

Höyryturbiinin säätämiseen on käytössä monta vaihtoehtoista tapaa. Höyryturbiinin tehoa voidaan säätää muun muassa etupainesäädöllä tai sähkötehoa voidaan säätää säätöventtiilillä. /2, s. 156./

## **5 Vedenkäsittely**

### **5.1 Yleistä**

Vedenkäsittelyllä tarkoitetaan sellaisia toimenpiteitä, joilla tehdään voimalaitoksen vesihöyrypiiriin suotuisat käyttöolosuhteet. Näihin toimenpiteisiin kuuluvat: /7./

- lisäveden valmistus
- lauhteen puhdistus
- terminen kaasunpoisto
- kemikaalien jälkiannostelu
- kattilan ulospuhallus.

### **5.2 Lisäveden valmistus**

Lisävettä valmistetaan korvaamaan lauhde- ja ulospuhallushäviöiden vesi-höyrypiirin vajetilaa. Luonnonvedessä ja kemiallisesti esikäsitellyssä vedessä on aina suoloja, ja näitä vesiä ei voida siksi käyttää sellaisenaan voimalaitoksessa lisävetenä, vaan vesi vaatii monivaiheisen puhdistustoimenpiteen suolojenpoistomenetelmillä. /7./

Tarvittavat puhdistusmenetelmät määräytyvät lisävedeltä vaadittavan puhtausvaatimuksen perusteella. Matalapainekattiloissa selvittää useasti vain pehmennyssuodatti-



mella, mutta kun kattilan paineluokka kasvaa, vaaditaan täydellisesti suolapuhdistettua vettä. /7./

### 5.2.1 Veden epäpuhtaudet

Kun meristä ja järvistä haihtuu ilmakehään vesihöyryä, se on puhdasta, mutta maahan sadepisaroina palaava vesi on sitonut itseensä ilmakehästä kaasumaisia epäpuhtauksia, esimerkiksi happea, typpeä, hiilidioksidia että myös rikin ja typen oksideja. Maahan satanut vesi sitoo maasta itseensä mineraaleja, esimerkiksi

- kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ )
- magnesiumkarbonaattia ( $\text{MgCO}_3$ )
- piioksidia ( $\text{SiO}_2$ )
- natriumkloridia ( $\text{NaCl}$ )
- eri metalleja, esimerkiksi rautaa ( $\text{Fe}$ ) ja alumiinia ( $\text{Al}$ )
- orgaanisia eloperäisen luonnon hajoamistuotteita.

Pahimmat kattilakiven muodostajat ovat kalsium, magnesium ja piioksidi. Kalsium ja magnesium saostuvat kattilavedessä, kun veden lämpötila nousee, ja alkavat kovettua, kun suolapitoisuus kasvaa, muodostaen karbonaatteja ja sulfaatteja. Piioksidi saattaa saostua suolojen kanssa korkeissa lämpötiloissa. Tämän kaiken summa on huonon lämmönjohtuvuuskertoimen omaava kerrostuma, joka on hankala poistaa. Tätä kutsutaan piiloutumisilmiöksi. /7./

Alkalit, natrium ja kalium, alkavat saostua turbiinin siivistöön ja voivat aiheuttaa alkali-korroosiota. Natrium voi olla lähtöisin kaukolämmönvaihtimesta tai pumpuista vuotaneesta jäähdytysvedestä, natriumvuodosta kationinvaihtimesta tai trinatriumfosfaatin ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) syötöstä. /7./

Happi on yksi kattilaveden epäpuhtauksia, joka edistää korroosiota huomattavasti. Jäännöshapella tarkoitetaan termisessä tai kemiallisessa kaasunpoistossa syöttöve-teen jääneen hapen määrää (mg/kg). Hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) kulkeutuu höyryn mukana

lauhduttimeen, ja lauhtuessaan se muodostaa hiilihappoa ( $H_2CO_3$ ), tällöin lauhteen pH-arvo laskee. Tämän seurauksena syntyy syöpymistä, kun vesi happamoituu. Tämä voidaan estää neutraloimalla hiilihappo hydratsiini- ( $N_2H_4$ ) tai ammoniakkiannostelulla (ammoniakki  $NH_3$ ). /2, s. 26./

### 5.2.2 Hapenpoisto

Happi eliminoidaan syöttövedestä lisäämällä siihen laimennettua hydratsiinia, ennen veden syöttämistä kattilaan. Hydratsiini reagoi hapen kanssa ja muodostaa vaarattomia aineita. Se poistaa syöttövedeen jääneen vapaan hapen termisen kaasunpoiston jälkeen. Termisessä kaasunpoistossa jää aina jäännöshapetta, jonka se sitoo. Hydratsiini syötetään syöttövedeen kaasunpoistimen jälkeen. Kun syöttövesi saavuttaa syöttövesisäiliön jälkeen  $200^{\circ}C$  lämpötilan, hydratsiini alkaa hajota ammoniakiksi ja typeksi, näin ollen syöttöveden pH-arvo nousee. Vaikka veden pH-arvon nousu on korroosion kannalta edullista, hydratsiinin tarkoitus ei ole suojella kattilaa korroosiolta vaan sitoa hapetta. Martinlaakson voimalaitoksella on luovuttu hydratsiinin käytöstä vesi-höyrykierroissa, koska sen haittavaikutuksena on magnetiittikerrostuman paksuuntuminen. Hydratsiini on voimakkaasti pelkistävä aine, joka laskee liuoksen Redox-potentiaalin negatiiviselle alueelle. Redox-potentiaali on sähköinen potentiaali, jota tarvitaan elektronien siirtämiseksi hapettimesta pelkistimeen. /7./

Martinlaakson voimalaitoksella käytetään vesi-höyrykierron pH:n säätöön ammoniakki-vesiliuosta. Kattilavesien pH:n nostoon voidaan syöttää tarvittaessa laimeaa lipeä-fosfaattiseosta. /7./

Syöttövesisäiliö on kattilaan syötettävän veden säiliö. Sen päällä sijaitsee kaasunpoistokupu, joten syöttövesisäiliö on oleellinen osa voimalaitoksen vedenkäsittelyä. Kaasunpoistimessa poistetaan veteen liuenneita kaasuja, jotka aiheuttavat korroosiota. Syöttövesisäiliössä oleva vesi lämmitetään turbiinista saatavalla väliottohöyryllä kylläiseksi vedeksi, eli säiliön höyryn painetta vastaavaan höyrystymislämpötilaan. Näin ollen korroosiota aikaansaavien kaasujen, kuten hapen ja hiilidioksidin liukoisuus pienee nollaan. Korroosiota aiheuttavat veteen liuenneet kaasut vapautuvat vedestä, ja ne ohjataan kaasunpoistotornista ulos./2, s. 23./

### 5.2.3 Kovuudenpoisto

Edellä todettiin, että pahimmat kattilakiven aiheuttajat ovat kalsium- ja magnesiumsuolat. Kun veden lämpötila nousee, näiden suolojen liukoisuus pienenee ja suolat alkavat muodostamaan kiinteitä kattilakivikerroksia kattilan kuumille lämpöpinnoille. Kun puhutaan veden kovuudesta, tarkoitetaan silloin kalsium- ja magnesiumsuolojen määrää vedessä. Kovuuden yksikkö on kovuusyksikkö °dH eli Deutscher Härtergrad. Tämä tarkoittaa, että 10 mg kalkkia (CaO) litrassa vastaa 1 °dH yksikköä. °dH-yksikössä vettä luokitellaan taulukon 1. mukaisesti:

**Taulukko 1 °dH-yksikön luokittelu /2/**

Veden kovuus		Kovuusyksikkö	
Erittäin pehmeä		°dH	< 2,1
Pehmeä	2,1 <	°dH	< 4,9
Keskikova	4,9 <	°dH	< 9,8
Kova	9,8 <	°dH	< 21
Erittäin kova		°dH	< 21

Veden pehmennyksen yksi toteutustapa on suodattaa vesi pehmennyssuodattimella, joka vaihtaa kalsium- ja magnesiumsuolat harmittomiin natriumioneihin, jotka liukenevat veteen paremmin, kun lämpötila nousee. Pehmennyssuodattimen sisällä on pieniä hartsipalloja, joiden pinnalla on natriumioneja. Kun vesi on pehennysvaiheessa, se virtaa suodattimen lävitse ja magnesiumionit vaihtuvat tällöin natriumioneihin. Kun natriumionit loppuvat, on suodatin elvytettävä. Tämä tapahtuu siten, että suodattimeen johdetaan n. 10 % natriumkloridiliuosta, joka syrjäyttää hartsipalloihin sitoutuneita natriumioneja, ja kalsium- ja magnesiumionit kulkeutuvat liuoksen mukana pois suodattimesta. /2, s. 29./

### 5.2.4 Täyssuolanpoisto

Täyssuolanpoistossa veden puhdistus tapahtuu ioninvaihtimilla, joita on yleisesti yksi tai useampi sarjassa. Vaihtimien lukumäärä määräytyy vedenlaadun vaatimusten ja veden lähtöpäpuhtauksien perusteella. Ioninvaihdinsarjat voivat koostua seuraavista suodattimista:

- SC = humussuodatin
- K1 = heikko kationinvaihdin
- K2 = vahva kationinvaihdin
- A1 = heikko anioninvaihdin
- A2 = vahva anioninvaihdin
- MB = sekavaihdin.

Humussuodatin ymmärretään yleensä vahvaksi anioninvaihtimeksi, jota elvytetään alkalisella suolaliuoksella. Kationinvaihtimissa kationit vaihtuvat vetyioneihin. Tämän toiminnan perusteena on polymeeripohjainen hartsimassa, joka vetää puoleensa positiivisia ioneja. Kun ioninvaihtimien vaihtokyky heikkenee, vaihtimet on elvytettävä. Kationinvaihdin elvytetään laimennetulla  $H_2SO_4$  - tai  $HCl$  - liuoksella. Ennen elvytyksen aloittamista on suoritettava vastavirtahuuhtelu. Elvytyksen aikana ioninvaihtomassa luovuttaa siihen sitoutuneet kationit elvytysliuokseen ja ottaa vastaan rikki- tai suolahapon  $H^+$ -ionit. Elvytysliuokset syrjäytetään vaihtimista suolattomalla vedellä ennen sarjan käyttöönottohuuhtelua. Ioninvaihtosarjoja on oltava kaksi tai kolme rinnakkain, ettei syöttöveden puhdistusta tarvitse keskeyttää ioninvaihdinsarjojen elvytyksen ajaksi. /2, s. 30./

Anioninvaihtimissa epämetallit ( $Cl^-$  ja  $SO_4^{2-}$ ) vaihtuvat hydroksyyli-ioneiksi ( $OH^-$ ). Kationinvaihtimesta vapautuneet  $H^+$ -ionit ja anioninvaihtimesta vapautuneet  $OH^-$ -ioni yhdistyvät puhtaaksi vesimolekyyliksi ( $H_2O$ ). Anioninvaihtimet elvytetään laimennetulla natriumhydroksidiliuoksella ( $NaOH$ ). Elvytyksessä  $OH^-$ -ionit syrjäyttävät kiinnittyneet anionit mm. kloridit, sulfaatit ja piioksidit ioninvaihtomassasta. Käyttöjakson aikana vesi virtaa yleensä vaihtimen ylhäältä alaspäin. Elvytyksessä vesi voi virrata myötä- tai vastavirtaan työvirtaukseen nähden. Nykyisellään kuitenkin vastavirtaan, kun on havaittu, että tällöin elvytys on tehokkaampaa. /2, s. 30./

### 5.3 Lauhteen puhdistus

Lauhteen puhdistuksessa poistetaan korroosiotuotteita ja lämmönvaihdinvuotojen aiheuttamia epäpuhtauksia. Lauhteenpuhdistuslaitoksia tarvitaan teollisuuden voimalaitoksissa ja kaukolämpöä tuottavissa voimalaitoksissa. Lauhdetta voidaan puhdistaa mekaanisesti mm. patruunasuodattimilla ja magneettisuodattimilla. Mekaanisia suodattimia ovat aktiivihilisuodatin, kynttiläsuodatin (patruunasuodin) ja päällystesuodatin (Precoat-suodin). Puhdistusta voidaan täydentää ioninvaihtimilla (kationi- ja anionimassoilla). /2, s. 34./

Aktiivihilisuodatinta käytetään puhdistamaan öljyistä lauhdetta. Jos öljyisessä lauhdeessa on ruostetta, on aktiivihilisuodattimen käyttöä harkittava, sillä ruoste ja öljy alkavat tukkia suodatinta. Aktiivisuodatinta käytetään sellaisilla laitoksilla, joissa ei ole eroteltu öljyistä lauhdetta puhtaasta lauhteesta. Tällaisia laitoksia ovat sellaiset, joissa prosessihöyryä käytetään monissa eri laitteissa ja öljyä voi päästä lauhteeseen häiriötilanteissa.

Kynttiläsuodattimessa on monia lieriönmallisia patruunoita. Ne on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, ja niiden ympärille on kudottu tekokuitu- tai puuvillalankaa.

Päällystesuodattimet ovat sylinterin muotoisia säiliöitä. Ne sisältävät huokoisia elementtejä, jotka on päällystettävä määräajoin suodattavalla aineella. Kun suodatin on likaantunut, se huuhdellaan ja päällystetään uudelleen.

Lauhteesta on poistettava suola samalla tavalla kuin lisävedestä, ioninvaihtimilla. Normaalisti käytetään vain yhtä kationinvaihdinta ja sekavaihdinta. Vaihtimet on elvytettävä samalla tavalla kuin muutkin ioninvaihtimet. /2, s. 34./

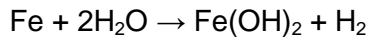
### 5.4 Magnetiittikalvo

Magnetiitti on keraaminen ja hauras materiaali, ja sen mekaaninen kestävyys ei ole hyvä. Höyrykattilan käyttöolosuhteissa teräksen pinnalle muodostuu syöpymistä kestävä magnetiittikalvo. /7./

#### 5.4.1 Magnetiittikalvon muodostuminen

Hapettomassa puhtaassa vedessä muutoin korroosiolle herkkä teräs muuttuu korroosiolle immuuniksi, sillä lämpötilasta riippuen teräksen pinnalla tapahtuvat seuraavat kemialliset reaktiot:

Lämpötila alle 60 °C:



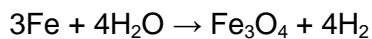
Alhaisessa lämpötilassa muodostunut sakka on huokoisempaa kuin korkeassa lämpötilassa muodostunut. Kaukolämmönvaihtimien lauhdepuolella lämpötila on juuri otollinen edellä mainitun sakan muodostumiselle.

Lämpötila 60 °C - 250 °C



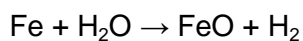
Syntyvä sakka on musta magnetiitti, tämä on hieman löyhempi kuin seuraavassa kohdassa mainittu.

Lämpötila 250 °C - 570 °C



Muodostunut magnetiitti kalvo on musta ja tiivis. Paras korroosiosuoja.

Lämpötila > 570 °C



Syntyy huokoinen wusfiitti, joka ei anna korroosiosuojaa. Kattilan peittauksen jälkeen suoritetaan magnetiittikalvoajo, joka suoritetaan alhaisemmalla pH-alueella. Pyritään saamaan aikaan tiivis magnetiittikerrostuma. /7./

#### 5.4.2 Magnetiittikalvon merkitys

Muodostunut  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -magnetiitti kerros on haluttu kerrostuma. Vesikemian tehtävänä on luoda hyvät olosuhteet magnetiittikalvon muodostumiselle ja sen säilymiselle teräksen pinnalla.

Eräät veden epäpuhtaudet, esimerkiksi  $\text{Cl}^-$ , aiheuttavat pieninäkin pitoisuuksina magnetiittipanssarin heikentymisen ja teräksissä jopa jännityskorroosiota.

Muodostunut magnetiittikalvo ei merkitse sitä, että korroosio on täysin pysähtynyt, vaan sitä, että on saavutettu kohtuullinen tasapainotila.

Löyhä pintakerros voi olla vaarallinen varsinkin silloin, jos se on kasvava, sillä se voi eristää lämmön siirtymistä. Tällöin voi olla mahdollista, että teräkselle sopiva lämpötila ylittyy ja sen seurauksena on mahdollinen putkirikko. Irtaantunut magnetiittipöly toimii höyry- ja vesivirrassa samoin kuin hiekkapuhallin ja tällöin aiheuttaa tuhoja. Löyhä magnetiittikerros ja irtaantunut ruoste on poistettava järjestelmästä. /7./

Magnetiittikerroksen vaurioitumiseen voivat vaikuttaa seuraavat seikat:

- mekaaninen vaurioituminen
- putkivärähtelyt
- suuret virtausnopeudet
- pyörteet
- lämpötilan vaihtelut
- kemiallinen tuhoutuminen; jos vesi on hapanta
- happi.

Emäksisellä pH-alueella (pH = 9,0 - 9,5) rikkoutunut magnetiittikalvo korjautuu itsestään nopeasti, mutta on huomioitava, että jos magnetiittikalvo korjautuu useasti, se on silloin merkki jatkuvasta korroosiosta. Rikkoutunut magnetiittikalvo voidaan huomata, kun kattilaveden rautapitoisuus kasvaa. Kalvon korjaantuminen taas huomataan, kun kattilaveden rautapitoisuus palautuu normaalitilaan. /7./

Syöttöveden ja sen kautta myös höyryn puhtaudesta riippuu, kuinka kauan magnetiittikalvo kestää ja kuinka nopeasti kalvo paksunee.

Magnetiittikalvon tarkka paksuus voidaan tutkia vain näytepaloista mikroskoopin avulla. Magnetiittikerroksen paksuuntumiin muodostuvia kriittisiä lämpötiloja voidaan havaita liuenneen vedyn analysaattorin avulla, koska höyryn vetykonsentraatio muuttuu niin sanottujen kuumien kohtien muodostuessa. Tämän analysaattorin avulla voidaan tutkia magnetiittikalvon muodostumista niin sanotun magnetiittiajon yhteydessä, koska liuenneen vedyn pitoisuus laskee kun magnetiittikalvoa muodostuu. /7./

### 5.5 Seisonta-ajan korrosio

Voimalaitoksien vesi-höyrypiirissä veden tai höyryn kanssa kosketuksiin joutuvat metallipinnat ovat alttiita korrosioaurioille. Kattilan ja muiden komponenttien korrosioalttiisuus riippuu niissä käytettävän veden pH-arvosta sekä epäpuhtauksien määrästä ja laadusta. Jos vesi on puhdasta, se alkaa heti reagoimaan raudan kanssa, jolloin näiden rajapinnalle muodostuu suojaava magnetiittikalvo. Magnetiittikalvo alkaa liueta veteen, kun pH-arvo on alle 5 tai yli 12. Ellei veden pH-arvoa pystytä hallitsemaan ja pitämään sallitulla alueella, vesi-höyrypiiriin alkaa muodostua korrosioaurioita. /7./

Kun seisokkiolosuhteet ovat kontrolloimattomia, happi pääsee helposti tunkeutumaan voimalaitoksen vesihöyrykiertoon ja tästä syystä seisokeissa piilee aina happikorrosion vaara. Happi on suurin korrosion aiheuttaja raudalle. Vallitsevista kemiallisista olosuhteista riippuen, hapen vaikutus saattaa olla vaihteleva, koska happi voi kiihdyttää ja hidastaa raudan korrosiota. Seisonta-aikana on pidettävä huoli, ettei säilöttävään laitteeseen pääse happea. /7./

Lämpötilan ollessa alle 60 °C, happi kiihdyttää korrosiota. Happipitoisessa ja puhtaassa vedessä rauta syöpyy ja korrosionopeus kasvaa nopeasti, kun happipitoisuus suurenee. Veden pH-arvon nostolla eli alkaloinnilla teräksen korrosionopeus vähenee nopeasti pH-arvon kasvaessa. /7./

Kun lämpötila-alue on 60 - 250 °C, hapettomassa ja puhtaassa vedessä raudan korrosio pysähtyy jo neutraalissa vedessä, pH-arvo on silloin noin 7. Tällaisessa tilanteessa rauta reagoi veden kanssa muodostaen rautaa suojaavaa ferrohdyksidia



( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ), joka muuttuu magnetiitiksi. Pinnalle muodostuva ohut magnetiittikalvo pysäyttää raudan korroosion käytännöllisesti katsoen kokonaan. Lämpötilan ylittäessä  $250\text{ }^\circ\text{C}$  happi ei enää aiheuta korroosiovaaraa, koska puhtaassa vedessä oleva happi edistää magnetiittikalvon muodostumista. Magnetiittikalvo on paras tunnettu korroosiosuoja. /7./

Magnetiittikalvolla ja teräksellä on kuitenkin eri lämpölaajenemiskertoimet. Magnetiitti on keraamista ainetta, jonka muodonmuutoskyky on huomattavasti huonompi kuin teräksellä. Tästä syystä kattilan alasajotilanteessa raudan ja magnetiittikalvon muodonmuutokset tapahtuvat eri nopeuksilla, kun materiaalien alkaessa jäähtyä. Kattilan alasajotilanteessa lämpötila on niin alhainen, ettei magnetiittikalvoa enää muodostu vaurioituneen kalvon tilalle. Vantaan Energialla on tavattu seisonta-ajan korroosiota, ja sitä käsitellään kappaleessa 6. /7./

## 6 Reduktiolämmönvaihdin

Työssä käsiteltävä reduktiolämmönvaihdin on putkilämmönvaihdin, jossa lämmittävänä aineena on tulistettu höyry ja lämmitettävänä aineena kaukolämpövesi. Vantaan Energialla käytetään lämmönvaihtimelle nimitystä LV3. Lämmönvaihtimen on toimittanut Ahlström Oy, ja sen valmistusvuosi on 1984. Tämän reduktiolämmönvaihtimen käyttötarkoitus on toimia reduktiohöyryn lauhduttimena. Reduktiota käytetään kattilan käynnistyksissä, jotta tuorehöyryn arvot saadaan turbiinille sopivaksi. Kattilan ja turbiinin pysäytyksissä reduktiota käytetään, jotta pysäytyksistä saadaan hallitumpia ja tasaisempia.

Nykyisin reduktiolämmön tuotantotarve on merkittävästi lisääntynyt vaihtelevan sähköhinnan takia. Halvan sähkön aikaan sillä mahdollistetaan halvemman polttoaineen käyttö lämmöntuotannossa.

Reduktiolämmönvaihdin LV3 tuottaa n. 100 MW kaukolämpötehoa maksimijolla. Suurin sallittu vaippapuolen paine on 6 baarin ja lämpötila  $300\text{ }^\circ\text{C}$  ja putkipuolen suurin sallittu paine 16 bar ja lämpötila  $120\text{ }^\circ\text{C}$ .

## 6.1 Lämmönvaihtimen ongelmat

### 6.1.1 Seisontasäilöntä

Reduktiolämmönvaihtimen (LV3) yksi ongelma on ollut sen seisontasäilöntä. Vaihtimessa on aina kosteutta ja lauhdetta, jolloin lämmönvaihtimeen vuotaneen ilman happi ja hiilidioksidi ovat aiheuttaneet korroosiota vaihtimen putkipaketteihin. Korroosiosta puhki menneet putket on löydetty painekokeilla, ja putkia on tulpattu. Vuonna 2013 reduktiolämmönvaihtimeen vaihdettiin sen sisällä oleva putkipaketti, kun aikaisemmin suoritetussa painekokeessa oli havaittu suuri määrä puhki ruostuneita putkia. Aikaisempi esitys ongelman korjaamiseksi oli, että suuri määrä putkia olisi tulpattu hitsaamalla. Tämä olisi kuitenkin aikaan saanut lämmönvaihtimen tehon laskun, joten Vantaan Energialla päädyttiin vaihtamaan lämmönvaihtimen sisällä oleva putkipaketti. Putkipaketin vaihdolla saatiin lämmönvaihtimen tuottamaan suunniteltu määrä kaukolämpötehoa. Kuvassa 2. näkyy, miten muodostunut lauhde ja reduktiolämmönvaihtimen sisällä ollut ilma ovat saaneet aikaan korroosiota. Korroosion muodostuminen voidaan estää oikeaoppisella säilönnällä.

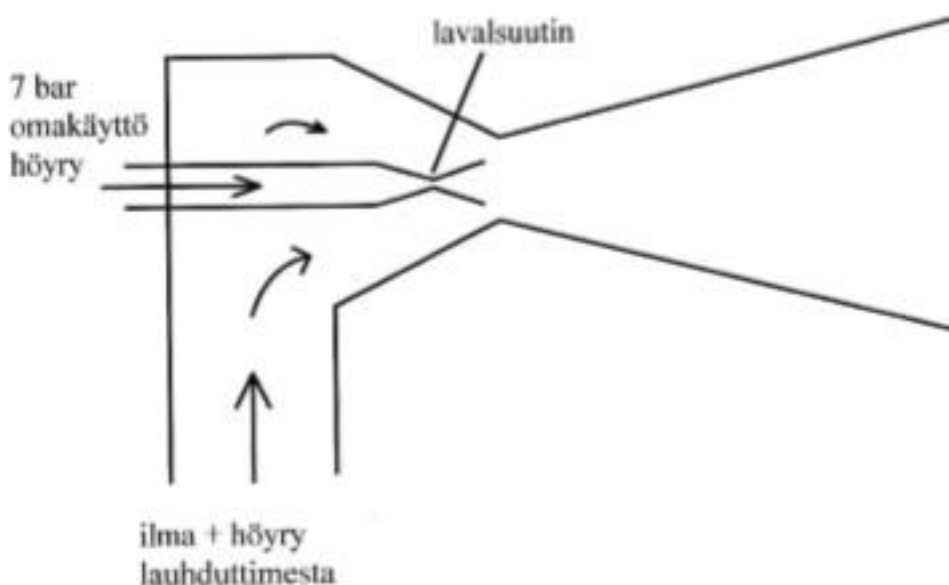


**Kuva 2** Lämmönvaihtimeen muodostunutta korroosiota

Nykyisin reduktiolämmönvaihtimeen syötetään säilöntäajaksi höyryä, jotta vaihdin pysyi lämpimänä ja pienessä ylipaineessa säilöntäaikana. Tämä on toteutettu siten, että on tehty pieni höyrylinja 10 barin apuhöyrylinjasta ja se on liitetty lämmönvaihtimeen menevän matalan paineen puolen höyrylinjaan. Tämä toteutus on huonosti säädettävissä käsin säädettävien venttiilien vuoksi. Nykyisillä laitteilla on ollut vaikea huolehtia vaihtimen pitämisestä höyrynpaineessa. /6./

### 6.1.2 Käyttöönotto

Reduktiolämmönvaihtimen käyttöönotossa on turhia välivaiheita käsikäyttöisten venttiilien takia, eikä sen automaatiota ole suunniteltu vastaamaan kaukolämmön ja sähkön yhteistuotannon nopeaa vaihtelua. Nykyisellä ajotavalla, kun vaihdinta otetaan käyttöön, operaattoreiden täytyy käydä laittamassa tyhjiöinti-ejektorit päälle käsin. Tähän käytetään tyhjiökoneikkoa, jolla imetään ilma linjoista pois. ja tällöin saadaan putkistoon käyttöönottoa varten tarvittava alipaine. Tyhjiökoneikon höyryejektorit (kuva 3) toimivat höyryllä, ja niiden käyttöhöyry otetaan 10 barin apuhöyrylinjasta. Tyhjiöejektorit käyttävät apuhöyryä 0,2 kg/s. Kun tyhjiöejektorit saavat aikaan imun, kulkeutuu imussa höyryä pois reduktiolämmönvaihtimesta 0,3 kg/s. Tämä höyry menee tällä hetkellä kaukolämmöksi tai sitten ulospuhallukseen. Kaiken kaikkiaan 0,5 kg/s höyryä voitaisiin säästää, jos tyhjiöejektoreita ei tarvitsisi käyttää. Tämän jälkeen päästään avaamaan reduktioventtiili, jossa tuorehöyryn paine ja lämpötila lasketaan 170 °C:seen ja 1 barin paineeseen. Höyry kulkeutuu reduktioon tuorehöyrylinjasta, jossa höyryn lämpötila on 535 °C. Korkean lämpötilan vuoksi höyryyn ruiskutetaan reduktioventtiilissä syöttövettä, jotta höyryn lämpötilaa saadaan laskettua.



Kuva 3 Höyrytoimisen ejektorin toimintaperiaate

Martinlaakson voimalaitoksen blokki 2:sen höyrykattilaa ei ole voitu ajaa täydellä teholla epätarkan käsiajon vuoksi. Reduktioventtiiliä ei saada käsiajolla säädettyä sellaisella tarkkuudella kuin haluttaisiin. Käsiajolla venttiili liikkuu liian suurissa pykälissä auki tai kiinni, eikä tällöin säätö ole tarkkaa. Tästä johtuen joudutaan kattilatehoon jättämään hieman reserviä.

## 6.2 Kaukolämpöventtiilit

Martinlaakson voimalaitoksella on reduktiolämmönvaihtimeen kulkevien kaukolämpövesilinjojen sulkemiseen käytetty Neles Oy:n (nykyään Metso Flow Control OY) läppäventtiilejä, kokoluokaltaan DN600 ja DN700. Alustavissa keskusteluissa mietittiin, voidaanko läppäventtiiliä käyttää, kun kaukolämpöveden reduktiolämmönvaihtimesta poistuvaa lämpötilaa halutaan säätää.

Vantaan Energia Oy:n jätevoimalla on toteutettu vastaavanlainen kokonaisuus ja siellä on käytetty Metso Flow Control Oy:n läppäventtiilejä säätöön. Tämä seikka on otettava huomioon, että nykyaikaiset läppäventtiilit voivat olla päteviä myös säädettävyydeltään.

Martinlaakson voimalaitoksella on kolme blokkia, joista kahden kautta voidaan ajaa kaukolämpöä tämän reduktiolämmön vaihtimen kautta.

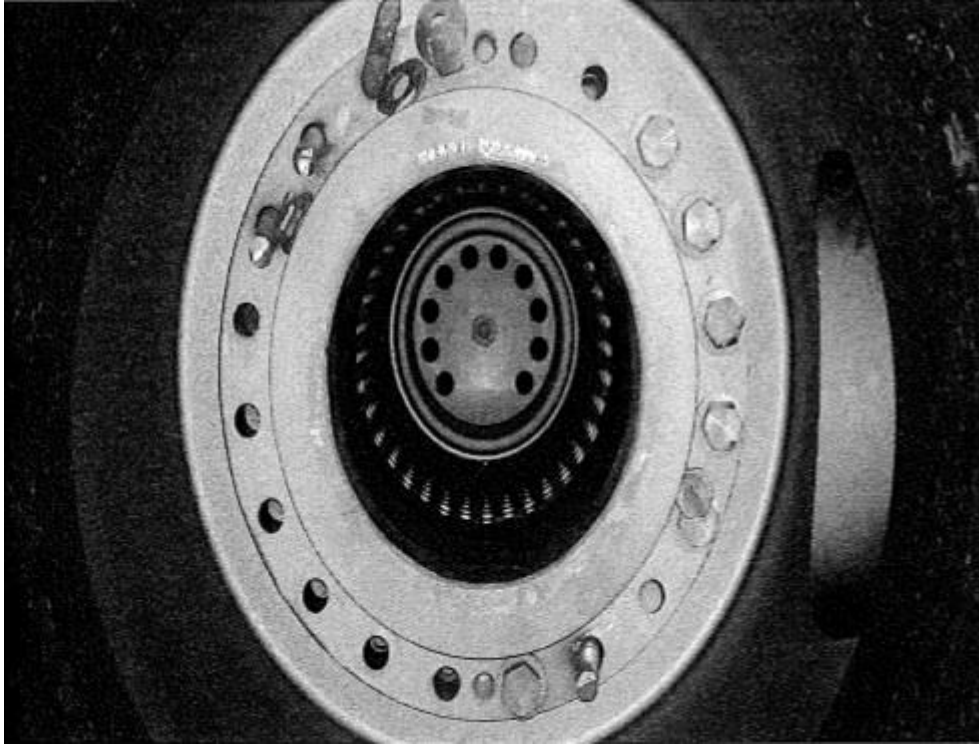
## 6.3 Reduktioventtiili

### 6.3.1 Reduktioventtiilin toiminta

Reduktioventtiili on höyrymuuntoventtiili, jolla alennetaan höyryn painetta. Sitä käytetään voimalaitoksissa laskemaan tuorehöyryn painetta esimerkiksi lämmönvaihtimelle sopivaksi. Reduktioventtiilillä voidaan alentaa höyryn painetta radikaalisti, esimerkiksi 116 barista 10 bariin. Reduktioventtiili avataan yleensä silloin, kun sähkön hinta on alhainen ja on kannattavampaa tuottaa enemmän kaukolämpöä. Kaukolämpöä voidaan tuottaa enemmän ohittamalla turbiini ja ohjaamalla tulistettu höyry reductioventtiilille ja sen kautta reductiolämmönvaihtimeen. Reduktioventtiiliä käytetään myös laitoksen ylös- ja alasajotilanteissa sekä laitoksen höyryntuotannon häiriötilanteissa.

### 6.3.2 Venttiilin ongelmat

Nykyisen reductioventtiilin yksi ongelma on esilämmityksen puutos. Ilman esilämmitystä venttiiliin kohdistuu suuria lämmönvaihteluita, jotka aiheuttavat lämpörasituksia ja materiaalien väsymismurtumia. Venttiilistä on katkennut istukkarenkaan kiinnityspultteja. Tämä huomattiin, kun alasajossa reductioventtiili jäi 9 % auki-asentoon. Kuvasta 4 huomataan katkenneet istukkarenkaan pultit. Epäillään, että istukkarenkaan karkaisun takia lukitusrenkaat eivät pureutuneet kunnolla ja lukitusprikat ovat päässeet värähtelemään ja leikanneet pultit poikki. Reduktioventtiili oli useasti revision aikana huoltokohteenä. Vantaan Energialla ajokaudella 2014 - 2015, reductioventtiili oli kaksi kertaa huollossa katkenneiden istukkarenkaiden pulttien takia. Useilla voimalaitoksilla on totuttu huoltamaan vuotuisessa revisiohuollossa reductioventtiili juuri siksi, että ne eivät ole kestäneet lämpörasituksia ja suuri paine-ero venttiilin yli ja nopea virtaus rasittavat venttiiliä lisää. Lämpörasituksia saadaan hallittua hyvällä esilämmityksellä.

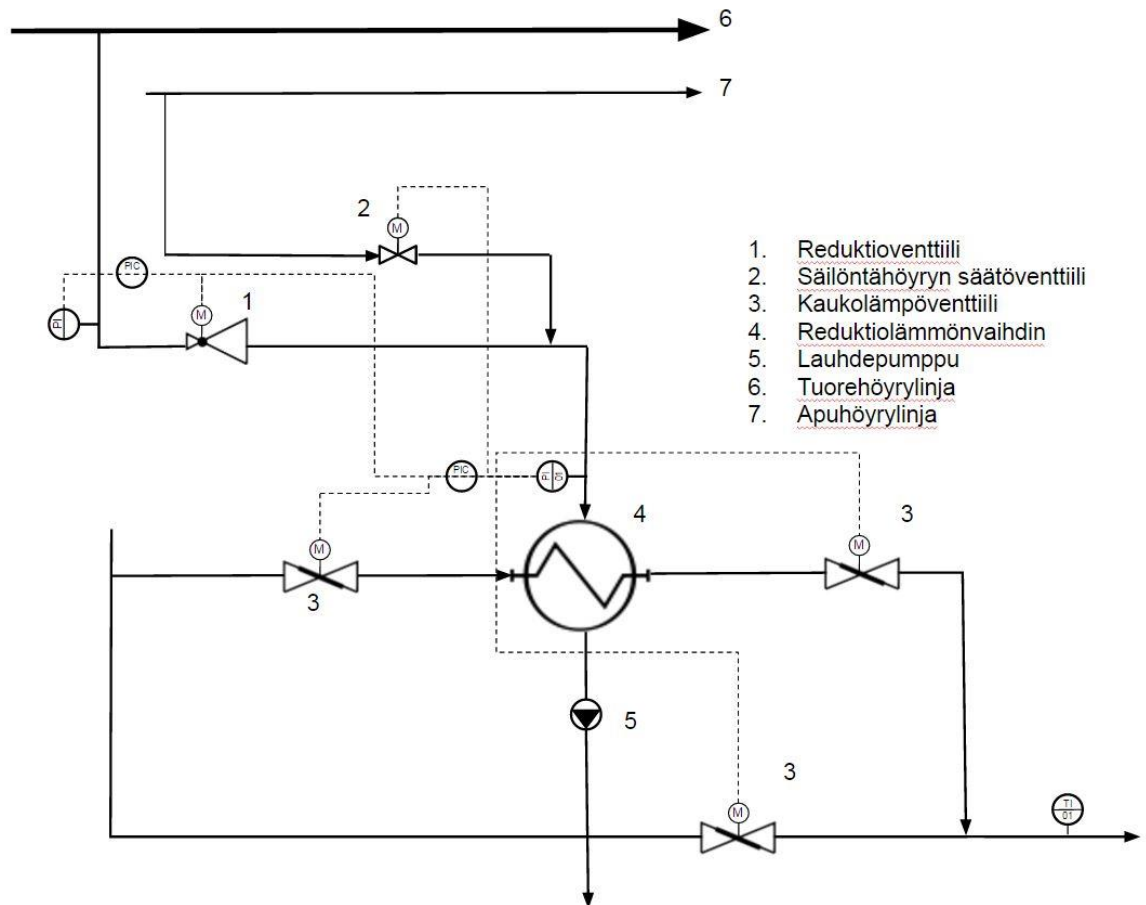


Kuva 4 Reduktioventtiilistä katkenneet istukan pultit

## 7 Suunniteltu kokoonpano

### 7.1 Uusi kokoonpano

Uuteen kokoonpanoon (kuva 5) tullaan tarvitsemaan neljä kappaletta uusia säätöventtiilejä kaukolämpölinjoihin ja reduktion jälkeen lämpötilamittauspisteet kaukolämpölinjaan. Vanhaa reduktioventtiiliä voidaan käyttää myös uudessa kokoonpanossa. Venttiilille täytyy rakentaa esilämmitys, joka voidaan toteuttaa valmistajan ohjeiden mukaisesti.



Kuva 5 Uuden kokoonpanon PI-kaavio

Uuden kokoonpanon tavoitteena on tehdä reduktioajosta helpompaa, kustannustehokkaampaa ja poistaa ylimääräisiä välivaiheita sen käyttöönotossa ja pysäytyksessä. Automaatiota tullaan lisäämään edellä mainittujen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Uusi toimintamalli poistaa ylimääräisiä välivaiheita kuten tyhjiökoneikon käytön, jolla imetään happi ja höyry pois lämmönvaihtimesta, näiden jälkeen voidaan vasta alkaa avata reduktioventtiiliä. Uudessa kokoonpanossa tyhjiökoneikkoa ei tarvita, eikä operaattoreiden tarvitse poistua valvomosta, kun reduktiolämmönvaihdin on koko ajan ns. stand by - tilassa. Kun reduktioon ajetaan höyryä, voidaan tämä käsky antaa automaatiolle, jolloin automaatio alkaa ajamaan tuorehöyryä reduktioon. Uudella kokoonpanolla tullaan säästämään aikaa ja pystytään vastaamaan nopeammin kaukolämmöntarpeeseen.

## 7.2 Uudet kaukolämpöventtiilit

Kaukolämpölinjojen nykyiset venttiilit ovat läppäventtiilejä, ja kaukolämpölinja on kokoluokaltaan DN600. Tällaisia venttiilejä käytetään usein tässä kokoluokassa säätöventtiileinä ja ne toimivat siinä hyvin. On otettava huomioon nykyisten venttiilien ikä, niiden toimilaitteet ja se, voidaanko nykyisiä käyttää reduktionajon säätöön. Säätöön voidaan käyttää pallo- tai segmenttiventtiilejä, jotka toimivat kyseisessä kokoonpanossa säätöventtiileinä mainiosti. Pallo- tai segmenttiventtiilin käytössä on muutamia huonoja puolia. Venttiilit ovat tässä kokoluokassa hyvin painavia, ja niiden hankintahinta on moninkertainen verrattuna saman kokoluokan läppäventtiilin hankintahintaan. Pallo- ja segmenttiventtiilin käyttö uudessa kokoonpanossa vaatisi suurempia putkimuutoksia ja putkiin täytyisi vaihtaa uudet laipat. Tämä voidaan suoraan lisätä venttiilien hankintakuluihin. Läppäventtiilien uusinnan yhteydessä ei tarvitse muokata kaukolämpöputkistoa, vaan voidaan käyttää nykyistä putkistoa muokkaamattomana, sillä läppäventtiilien kiinnitys-laipat ovat standardisoituja. Valmistajat kertovat, että läppäventtiiliä voidaan käyttää säätöön, ja tässä kokoluokassa ne ovat hyvinkin yleisiä, juuri hankintahintansa takia. Nykyaikaiset läppäventtiilit ovat hyvin säädettävissä.

## 7.3 Lämpötilamittaus

Reduktiolämmönvaihtimen painetta säädetään kaukolämpöveden lämpötilan mukaisesti. Vaihtimen paineen säätöä käytetään lämpötilan pitämiseksi sallituissa arvoissa. Lopullinen kaukolämmön lämpötila määräytyy sekoituksen jälkeen. Sekoituksen jälkeiseen lämpötilaan vaikuttavat kokonaiskaukolämpövirtaus sekä reduktiovaihtimen teho. Lämpötilan mittauspisteen valinnassa on otettava huomioon, se että lämmönvaihtimesta poistuva kuuma ja lämmönvaihtimen ohi ohjattu kaukolämpövesi yhdistyvät. Tämän jälkeen kaukolämpöveden virtaus putkessa on laminaarista, eikä vesi ole vielä sekoittunut kunnolla. Tämä johtaa siihen, ettei yhtä tai kahta lämpötila-anturia voida käyttää, koska veden lämpötila ei ole sama putken poikkipinta-alalla. Vantaan Energia Oy:llä on tästä jo aikaisempaa kokemusta jätevoimalalta, kun ensimmäinen toteutus lämpötilamittauksesta reduktion jälkeen oli aivan liian lähellä kylmän ja kuuman veden yhteyskohtaa ja voitiin hyvin nopeasti todeta, että lämpötilan mittaustuloksiin tässä kohdassa ei voida luottaa. On huomioitava, että vedellä kestää jopa kymmeniä metrejä, ennen kuin se on sekoittunut kunnolla. Jätevoimalalla onkin uusi mittauspiste sijoitettu noin 22 m:n päähän yhdyskohdasta, ja mittaustulokset ovat olleet järkeviä siinä kohdassa. Tätä

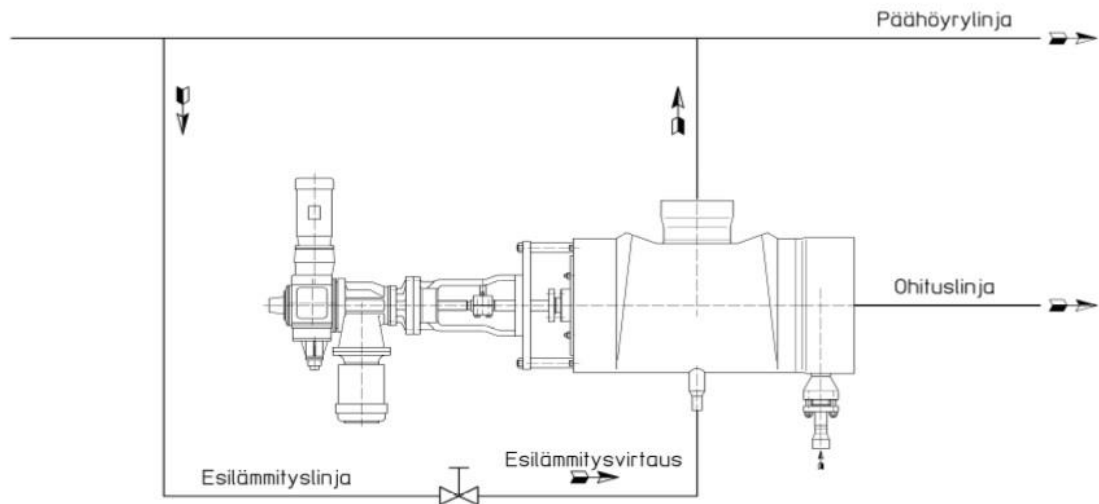


idea voidaan käyttää hyödyksi myös Martinlaakson voimalaitoksella. Uudet lämpötilamittauspisteet tuleekin sijoittaa mahdollisimman kauas yhdyskohdasta. Voimalaitoksen 1-blokin kaukolämpölinjassa se voidaan toteuttaa, kun nykyinenkin mittauspiste on vasta kaukolämpöpumpun jälkeen. Siihen voidaan rakentaa myös tulevan kokoonpanon lämpötilamittauspiste. 2-blokin kaukolämpölinjaan taas on vaikeampi sijoittaa lämpötilamittauspiste tarpeeksi kauas yhdyskohdasta, sillä kaukolämpövettä voidaan ajaa montaa kautta nykyisen mittauspisteen ohitse. Martinlaaksossa on monta mahdollisuutta, miten kaukolämpövettä pumpataan, joten tässäkin on otettava huomioon, että missään tilanteessa kaukolämpövesi ei ohita uutta mittauspistettä. Lämpötilamittaus voidaan asentaa 2-blokin tilanteessa myös vanhalle paikalleen, noin 4 m:n päähän yhdyskohdasta, mutta on käytettävä useampaa lämpötila-anturia, että saadaan aikaan niin sanottu verho, jonka avulla saadaan kaukolämpöveden lämpötilasta keskiarvo. Verho saadaan aikaan kolmella tai neljällä lämpötila-anturilla, jotka mittaavat jokainen lämpötilaa, ja näiden keskiarvo tulee olemaan säädössä käytettävä arvo. Anturit sijoitetaan putkeen samalle linjalle, tasaisin välein putken ympärille.

#### 7.4 Reduktioventtiilin esilämmitys

Reduktioventtiilin esilämmityksen suunnitteluun ja rakentamiseen voidaan hyödyntää valmistajan toimittamaa käyttöohjetta. Esilämmityksellä saadaan eliminoitua lauhteen syntyminen, ja lämpörasituksen vaara pienenee. Jos reductioventtiili on jatkuvassa käytössä, silloin lauhteen muodostuminen on vähäistä, mutta jos venttiili on käynnistys/sammutustyyppisessä käytössä, suositellaan käytettäväksi esilämmitystä. Esilämmityksellä saadaan pidennettyä reductioventtiilin käyttöikää ja venttiilin huoltotarve vähenee huomattavasti.

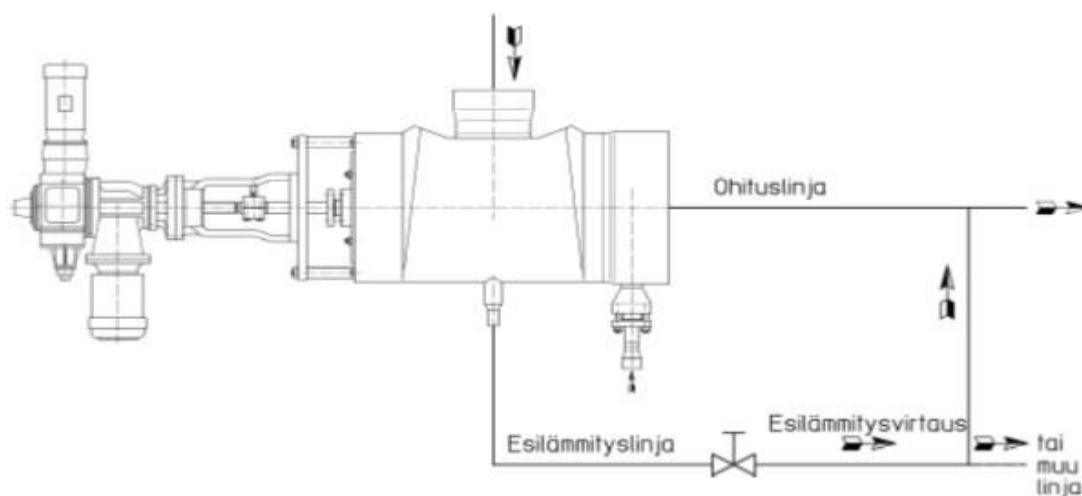
Esilämmityksen toteuttamiseen on muutamia vaihtoehtoja. Kuvassa 6 on käytetty luonnollista painehäviötä höyrylinjassa. Lämmitys tapahtuu reductioventtiilistä vastavirtaan.



**Kuva 6 Luonnollisen painehäviön käyttö esilämmityksessä, venttiilistä vastavirtaan.**

Kuvasta 6 nähdään, että esilämmityslinja otetaan päähöyrylinjasta ja liitetään reduktioventtiilin lauhteenpoisto-yhteeseen. Tällöin höyry kulkeutuu reduktioventtiilin lävitse ja palaa takaisin päähöyrylinjaan. Esilämmityslinjaan on asennettava säätö- ja sulkuventtiili. Tässä tapauksessa on pidettävä huoli, että höyry pysyy saturaatio-alueen yläpuolella. Höyry kulkee tässä asennustavassa reduktioventtiilistä vastavirtaan.

Reduktioventtiilin esilämmitys myötävirtaan, toteutetaan kuvan 7 mukaan. Päähöyrylinjasta normaalisti reduktioventtiilille ja venttiilitulppaan porataan noin 10 mm:n kokoinen reikä. Tämä saa aikaan jatkuvan ”vuodon”. Tähän reikään laitevalmistaja toimittaa kierretulpan, joka asennetaan painekokeen ajaksi. Esilämmityslinja asennetaan reduktioventtiilistä ohituslinjaan.



Kuva 7 Lämmitys reduktioventtiilistä myötävirtaan

Yksi tapa saada aikaan esilämmitys on se, että avataan reduktioventtiiliä käytön aikana 5 - 10 %. Tällöin saadaan aikaan se, että höyry kulkee reduktioventtiilin lävitse höyrylinjaan, joka kulkeutuu reduktiolämmönvaihtimeen. Samalla saadaan reduktiolämmönvaihtimeen säilöntälämpötila ja ylipaine. Tällainen reduktioventtiilin itsensä käyttö esilämmitykseen on huono ratkaisu sillä se saa aikaan ylimääräistä kulumista ja loppujen lopuksi reduktioventtiili voi jäädä vuotamaan, vaikkei niin haluttaisi. Valmistaja suosittelee erillisen lämmityshöyrylinjan rakentamista reduktioventtiiliin. Näin saadaan varmistettua, että venttiilin tärkeät tiivistepinnat eivät kulu turhaan ja saadaan turvallisesti toteutettua venttiilin esilämmitys.

#### Reduktiolämmönvaihtimen standby-säilöntä

Kun reduktiolämmönvaihdinta ei käytetä, on hyvä saada sen höyrypuolelle ylipaine. Nykyään reduktiolämmönvaihtimeen kulkee säilöntähöyrylinja, jota voidaan käyttää hyödyksi vaihtamalla nykyiset käsiventtiilit sähkösäätöisiin. Reduktiolämmönvaihtimeen on saatava säilöntäajaksi noin 1 barin ylipaine. Ylipaine estää ilmavuodot lämmönvaihtimeen. Nykyinen höyrylinja tulee matalapainehöyrylinjasta, jossa on noin 10 barin paine. Venttiiliä säätämällä, saadaan hallittua paineen kasvamista ja pysymään korkeintaan 1 barin paineessa. 1 barin paine tarkoittaa sitä, että lämpötila tulee olemaan lämmönvaihtimessa yli 100 °C.

## 7.5 Säätötarpeet

Uuteen kokoonpanoon halutaan kaukolämmönvaihtimen höyrynpainetta säätämään kaukolämpöventtiilit, jotka ohjelmoidaan seuraamaan lämpötilaa kun lämpötilalla määrätään oikea paine lämmönvaihtimeen. Tähän halutaan myös mukaan etupainesäätö, jolla voidaan säätää turbiinille menevää tuorehöyryä syöttävän kattilan painetta. Tällä voidaan säätää tuotettua kaukolämmön määrää, sekä tuotettua sähkön määrää.

Uuden kokoonpanon toiminnan tulee seurata haluttua automatiikkaa. Kun uusi kokoonpano on säilöntä-tilassa, on reduktiolämmönvaihtimen jälkeinen kaukolämpöventtiili ja reduktioventtiili kiinni ja reduktiolämmönvaihtimen ohituslinjan läppäventtiili täysin auki. Käyttöön otossa reduktiolämmönvaihtimen lämmityshöyrylinjan säätöventtiili alkaa sulkeutua, kun reduktioventtiili alkaa aueta. Samalla reduktiolämmönvaihtimen jälkeinen kaukolämpöventtiili alkaa aueta, kun kaukolämpöveden lämpötila alkaa reduktiolämmönvaihtimessa nousta. Automatiikka tulee pitämään määrätyn lämpötilan ja paineen reduktiolämmönvaihtimessa.

### 7.5.1 Etupainesäätö

Etupainesäätöä on käytetty yleisesti prosessihöyryä ja sähköä yhteistuottavissa laitoksissa. Säädöllä voidaan pitää joko kattilan paine tai höyryturbiinille kulkevan höyrylinjan paine vakiona säätöventtiilin avulla. Lisäksi etupainesäädöllä ohjataan laitoksen sähkö- tai lämpötehoa kattilan polttoainesyöttöä säätämällä. Sähköteho korjautuu tällöin asetetulle tasolle hitaammin tämän muutostilanteen jälkeen. Kaikissa tapauksissa sähkötehoa ei säädetä lainkaan, vaan käyttäjä ohjaa polttoaineensyöttöä käsiajolla, tai kattila on voitu kytkeä myös kiinteän paineen säätöön. Sähkötehon sijasta voidaan tietyissä säätöratkaisuissa säätää kattilan lämpötehoa. (2. s.155)

Etupainesäädöllä voidaan ohjata tuorehöyry turbiinin ohi reduktioon. Tämä tarkoittaa sitä, että säätöventtiilille on asetettu tietty raja, ja kun se ylittyy, automaatio alkaa avaamaan reduktioventtiiliä, jolloin tuorehöyry virtaa turbiinin ohi, reduktioventtiilin kautta lämmönvaihtimeen.

Tällainen kokonaisuus on toteutettu jätevoimalalla ja Vantaan energia Oy haluaisikin vastaavan etupainesäätöohjauksen myös Martinlaakson voimalaitokselle. Tämä on varma ja nopea tapa vastata höyrytuotannon muutoksiin. Etupainesäätöä voidaan

käyttää helpottamaan sähköntuotannon tarpeen vaihteluissa, joissa kattilatehon tuotantarve on suurempi kuin sähköön tuottamiseen tarvittava. Esimerkiksi yöaikaan kun sähköä ei tarvitse tuottaa samaa määrää kuin päivällä, mutta kaukolämmölle on enemmän tarvetta, voidaan etupainesäädöllä laskea turbiinin sähkötehoa ja kaikki tästä yli jäävä höyry muunnetaan kaukolämmöksi.

### 7.5.2 Kaukolämpöventtiilien säätö, yhteistoiminta

Kaukolämpöventtiilejä säädetään automatiikalla, joka seuraa lämmönvaihtimen painetta ja lämpötilaa. Kaukolämpöventtiilit sulkeutuvat tai aukenevat sitä mukaa, miten paine ja lämpötila muuttuu vaihtimessa, Venttiilit pyrkivät pitämään operaattorin määräämän lämpötilan ja paineen. Yhteistoiminnassa lämmönvaihtimen jälkeinen venttiili ja ohitusventtiili toimivat yhdessä. Kaukolämpölinjat yhdistyvät vaihtimen jälkeen ja kylmä ja kuuma kaukolämpövesi sekoittuvat. Tässä on huomioitava edellä mainittu sekoittuminen lämpötilamittausten takia ja lämpötilamittauspiste on sijoitettava tarpeeksi kauas yhdyskohdasta.

Kaukolämpövesi lämpenee reduktiolämmönvaihtimessa 110 - 120 °C:seen. Tällöin se on yleensä liian kuumaa syötettäväksi kaukolämpöverkkoon ja sitä on jäähdytettävä. Tämä tapahtuu ohituslinjan kylmemmällä kaukolämpövedellä. Kaukolämpövedet sekoittuvat yhdyskohdassa ja veden lämpötila laskee. Kaukolämpöverkkoon syötettävän veden lämpötila on keliolosuhteista riippuen 80 - 115 °C. Kaukolämpöveden lämpötilaa on tärkeä seurata, sillä lämpötilalla on suora yhteys reduktiolämmönvaihtimen paineeseen.

## 8 Kunnossapito

Suunnitellun kokoonpanon huollot koostuvat komponenttien valmistajien vaatimista tai suositelluista huolloista. Enimmäkseen kyseessä on ennakkoivaa huoltoa ja ajokaudella laitteiden toiminnan seuranta. Lämmönvaihtimien kunnossapitoa ohjaa paineastialaki.

## 8.1 Lämpäventtiilit

Lämpäventtiilit on suunniteltu toimimaan monissa eri tilanteissa ja oikeanlainen ennakkohuolto voi auttaa estämään suunnittelemattomia alasajoja tai huoltotoimenpiteitä ja näin ollen tuo säästöjä kun laitos voidaan pitää käytössä. Metso Flow Control suosittelee omille venttiileilleen tarkistuksia aina viiden vuoden välein. Varastossa oleville venttiileille on myös hyvä suorittaa kuntotarkastus tasaisin väliajoin.

Tarkistuksien ja huoltojen välit riippuvat kokoonpanosta ja prosessin kunnosta. Vantaan energialla ei ole erillistä huoltosuunnitelmaa lämpäventtiilien suhteen, vaan niitä on huollettu ja vaihdettu tarvittaessa.

## 8.2 Reduktioventtiili

Valmistaja lupaa, että heidän reductioventtiilinsä ovat lähestulkoon huoltovapaita ja huolellinen käyttöönotto varmistaa venttiilin huolettoman toiminnan.

Reduktioventtiilille on aiemmin tehty huolto noin 10 vuoden välein.

Nykyään venttiilin käyttö on niin paljon runsaampaa, että tulevaisuudessa tullaan höyrymuuntoaseman komponentit tarkastamaan 4 vuoden välein. Varsinkin ruiskutusvesisuuttimen kunnan tarkastaminen on tärkeää. Tarkastaminen on tosin melko työlästä, koska se käytännössä vaatii venttiilin kannen avaamista ja suutinpään näkeminen vaatii myös istukkarenkkaan poistamiseen. Venttiilin karatiiviste on tarkastettava ja vaihdettava jos vuotoja ilmenee.

## 8.3 Lämmönvaihdin

Lämmönvaihtimet tarkastetaan sisä- ja ulkopuolelta joka vuosi suoritettavassa vuosihuollossa. Lisäksi lämmönvaihtimille tehdään paineastialainsäädännön vaatimat täys- ja välitarkastukset 4 ja 8 vuoden välein.

Vuosittaisessa vuosihuollossa tarkastetaan vaihtimen sisäpuolinen ja ulkopuolinen kunto. Vuosihuollon aikana lämmönvaihdin ei ole käytössä ja se on erotettu muusta pro-

sessista. Sisäpuolisessa tarkastuksessa lämmönvaihtimen yläpuolinen luukku avataan ja täytetään putkipaketti vedellä. Vaippapuoli paineistetaan paineilmalla ja mahdollisia vuotoja tarkkaillaan 15 minuutin ajan. Ulkopuolisessa tarkastuksessa käydään vaihdin ja sen varusteet silmämääräisesti läpi, etsimällä vuotoja ja tarkastamalla tukirakenteet.

Täystarkistuksessa reduktiolämmönvaihdin erotetaan prosessista ja tyhjennetään kaukolämpö- ja laudepuoli. Päätykammioiden miesluukut avataan ja suoritetaan sisäpuolinen tarkastus. Tarkastuksen jälkeen suoritetaan mahdolliset korjaukset ja suljetaan alaluukku. Putkipaketti täytetään tämän jälkeen putkien yläpäähän asti suolattomalla vedellä. Höyrypuoli paineistetaan paineilmalla 6,6 barin paineella. Kaukolämpöveden varoventtiili tarkistetaan ja koestetaan kunnossapitoverstaalla.

Tarkastuksien jälkeen luukut suljetaan ja kaukolämpöpuoli täytetään kaukolämpövedellä ja veden paine nostetaan 20,8 bariin.

Höyrypuolen varoventtiilit testataan höyryllä käyttöönoton aikana.

#### 8.4 Työturvallisuus

Vantaan Energian tavoite on 0 tapaturmaa ja työturvallisuuden jatkuva parantaminen.

Hyvä motivaatio, ammattitaito ja ennakoiva työsuojelu edistävät työn tuloksellisuutta. Vantaan Energian tavoitteena on, että tehdään mielekästä työtä terveellisessä, turvallisessa ja viihtyisässä työympäristössä. Työturvallisuus on kaikkien Vantaan Energialla työskentelevien toimijoiden yhteinen asia.

Turvallisuustoiminnan tavoite on luoda turvallinen, terveellinen ja kehittävä työympäristö, jossa tapaturmat, aineelliset vahingot ja vaaratilanteet on pyritty ennalta ehkäisemään ja kokonaan eliminomaan. Projekteissa, joissa työn kesto ja henkilömäärä edellyttää työsuojelun toimintaa, käynnistämistä vastaa kyseisen projektin johtaja.

Tapahuneista tapaturmista, läheltä piti -tilanteista, merkittävistä aineellisista vahingoista sekä vaaratilanteista on kaikissa tapauksissa ilmoitettava laitoksen edustajalle.

Vantaan Energian vastuulla olevissa töissä tapahtuneista työtapaturmista tulee tehdä työtapaturmailmoitus yhdessä vahingoittuneen, hänen esimiehensä ja Vantaan Energian työnjohtajan kanssa.

Jos ulkopuoliselle tapahtuu tapaturma, virallinen tapaturmaraportti tulee toimittaa laitoksen edustajalle.

Laitoksen edustaja huolehtii siitä, että tarpeelliset tiedot ja ohjeet työhön kohdistuvista työpaikan vaara- ja haittatekijöistä välitetään toimittajalle. /8/

## **9 Uuden kokoonpanon kannattavuuden tarkastelu**

Kannattavuus tulee toimintavarmuudesta ja käyttöönoton nopeudesta. Uusi kokoonpano tulee olemaan käyttöönotossa nopeampi, kun lämmönvaihdin saadaan tuotantoon nopeammin ja vaihdin tuottaa enemmän tehoa kuin vanhalla ajotavalla. Toimintavarmuus liittyy säilönnän ja tuorehöyrysäätöjen automaatioon. Automaation avulla reduktiolämmönvaihdin tulee olemaan jatkuvassa käyttöönottovalmiudessa. Lämmönvaihdin on kokoajan lämmin ja valmiina otettavaksi käyttöön. Säilöntähöyryn ansiosta vaihdin on jatkuvassa hapettomassa tilassa, eikä korroosiota siis synny. Tällöin päästään eroon myös höyryjektorien käytöstä, kun lämmönvaihdinta ei tarvitse ilmata enää ennen käyttöönottoa. Myös turbiinin ja reduktion yhteisajo helpottuu, kun etupainesäätö hoitaa sen, että kattilalla voidaan ajaa täyttä tehoa myös tuotantolaitteiden tehon muutoksissa. Etupainesäätö ajaa tuorehöyryn turbiini ohitse reduktioon. Etupainesäädön ansiosta kattilan hallittavuus paranee. Paremman hallittavuuden ansiosta kattilasta saadaan 3 - 5 kg/s tuorehöyryä lisää.

Lämmönvaihtimen säilöntäaikainen ylipaine nostaa lauhdepumppujen etupainetta. Kun vaihtimen paine kasvaa, se nostaa myös pumppujen imupainetta, eli pumpun tuotto kasvaa. Myös pumpuissa ilmenevä kavitaatio-ongelma poistuu. Kun lauhdetta voidaan pumpata enemmän pois vaihtimesta, voidaan kaukolämpöä tuottaa vastaava määrä enemmän. Tämä mahdollistaa sen, että halvan sähkön aikana voidaan nostaa reduktiolämpötehoa.

Lauhteen lämpötila kasvaa kun paine, jossa höyry lauhtuu, on aikaisempaa suurempi. Kun lauhtunut höyry pumpataan takaisin syöttövesisäiliöön, ei sitä tarvitse enää läm-



mittää niin paljoa kuin ennen, ja tällöin syöttövesisäiliöön syötettävän höyryn määrää voidaan pienentää ja säästettävä höyry voidaan käyttää muualla, esimerkiksi kaukolämmöksi.

Voimalaitoksen häiriötilanteissa on etupainesäätö valmis ohjaamaan osan tuotetusta höyrykuormasta reduktioon. Tällöin ei tarvitse välttämättä pysäyttää voimalaitoksen höyryntuotantoa, jos häiriöitä ilmenee.

### 9.1 Kustannukset ja tuotot

Työ jaetaan kiinteisiin ja juokseviin kuluihin. Kustannukset koostuvat uusien venttiilien hankinnasta ja niiden asennustöistä. Asennustöihin kuuluu telineiden rakennus, eristeiden purku kaukolämpölinjasta, putkimuutokset ja niiden NTD-tarkastus sekä itse venttiilien asennus. Arvioidut kustannukset ovat liitteenä.

Mahdollisia kustannuksia tarkastellaan molemmilta näkökannoilta, eli jos läppäventtiilit uusitaan tai jos pelkät toimilaitteet uusitaan. Lämpötilamittauspisteen hankinta kuuluu molempiin tapauksiin.

Jos venttiilien uusinta ei ole tarpeellista, on toimilaitteet uusittava, koska nykyisistä toimilaitteista ei mene asentotietoa voimalaitoksen valvomoon.

Kiinteät kulut:

- venttiilien ja toimilaitteiden hankintakulut
- lämpötila-antureiden ja kolmenpisteen tarkastuksen kulut
- asennuskulut.

Juoksevat kulut:

- säilöntähöyryn ulospuhallus
- kunnossapitokulut.

On huomioitava, että jatkuviin kuluihin kuuluva säilöntähöyryn ulospuhallus on pienempää kuin nykyisellä kokoonpanolla.

Tuottoa saadaan, kun kokoonpanolla saadaan säästettyä ulospuhallushöyryä ja kattilaa voidaan ajaa täydellä teholla, eikä kaukolämpöä tarvitse tuottaa lämpökeskuksilla tehon nousun osalta. Kattilasta voidaan saada 3 - 5 kg/s tuorehöyryä lisää vanhaan ajomalliin verrattuna. Syynä tähän on parempi tuorehöyryn hallittavuus reduktiolla, kun ajetaan täydellä teholla. Tuorehöyryn arvot ovat 115 bar ja 535 °C, kun katsotaan entalpia h,s-piirroksista, saadaan 3 590 kJ/kg. Tuorehöyryn paine ja lämpötila lasketaan reduktioventtiilissä ruiskutusvedellä, jonka lämpötila on 130 °C ja entalpia @ 130 °C 546,38 kJ/kg. Lauhteen entalpia saadaan höyrytaulukosta @ 70 °C 293,07 kJ/kg. /9./ Lämmönvaihtimen tehosisäys saadaan laskettua energiataseella:

$$P_{LV3lisäys} = (\dot{m}_1 \cdot h_1) + (\dot{m}_2 \cdot h_2) - (\dot{m}_3 \cdot h_3)$$

jossa P on tuotettu teho,  $\dot{m}$  on massavirta,  $h_1$  on tuorehöyryn entalpia ja  $h_2$  on ruiskutusveden entalpia ja  $h_3$  in lauhteen entalpia. Ruiskutusvesi kasvattaa vaihtimeen menevän höyryn energiamäärää.

Lisääntyneen tuorehöyryn massavirran  $\dot{m}_1$  voidaan olettaa olevan 3 kg/s, mutta ruiskutusveden ja massavirta reduktion jälkeen eivät ole tiedossa. Nämä saadaan selville kun lasketaan massa- ja energiataseet reduktioventtiilin ympäri:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_x$$

ja

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 = \dot{m}_x h_x$$

jossa  $\dot{m}_x$  on massavirta reduktioventtiilin jälkeen ja  $h_x$  on entalpia reduktioventtiilin jälkeen. Entalpia reduktion jälkeen saadaan h,s - piirroksista @ 170 °C ja 1 bar = 2 820 kJ/kg.

Kun sijoitetaan annetut arvot yhtälöpariin ja ratkaistaan massavirrat, saadaan:

$$\dot{m}_2 = 1,02 \text{ kg/s ja } \dot{m}_x = 4,02 \text{ kg/s}$$

Nyt kun tiedetään ruiskutusveden massavirta ja lauhteen massavirta, voidaan sijoittaa alkuperäiseen kaavaan ja laskea saatava lisälämpöteho  $P_{LV3\text{lisäys}} = 10\,149,2 \text{ kW}$

Kun, tiedetään hintaero, voidaan laskea polttoaineissa säästetty tuotto kaavalla:

$$Q_{\text{saatu}} = P \cdot Q_{\text{he}}$$

jossa  $Q_{\text{saatu}}$  on säästöä tunnissa,  $P$  on saatu lämpöteho ja  $Q_{\text{he}}$  on polttoaineidenhintaero.

Kun otetaan esimerkiksi edelliskauden reduktion käyttötunnit, voidaan laskea saatava kustannussäästö ajokaudelle kaavalla:

$$q = Q_{\text{saatu}} \cdot h$$

jossa  $q$  on kustannussäästö vuodessa ja  $h$  on käyttötunnit.

## 9.2 Kannattavuuslaskelmat

Kun kaikki kustannukset ja vuosittaiset saadut tuotot on laskettu, voidaan tutkia kokoonpanon taloudellista kannattavuutta (liite 2). Takaisinmaksuajan laskemiseen tarvitaan tuotot vuodessa ja hankintakustannukset. Hankintojen takaisinmaksuaika saadaan kaavasta:

$$TMA = \frac{H}{q}$$

missä  $TMA$  on takaisinmaksuaika,  $H$  on investointikustannus ja  $q$  vuotuinen tuotto. Tätä kaavaa voidaan käyttää kun korkokantaa ei oteta huomioon.

Kun otetaan huomioon Vantaan Energian käyttämä laskentakorkokanta kaukolämmön-tuotannossa käytettävien laitteiden kustannuksissa, käytetään kaavaa:

$$\frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{H}{q}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)}$$

missä,  $i$  on käytetty korkokanta,  $H$  on investointikustannus ja  $q$  vuotuinen tuotto. Takaisinmaksuajan lasku yllä olevilla kaavoilla ei ota huomioon mitä tapahtuu takaisinmaksuajan jälkeen.

Kun halutaan tietää, mitä tapahtuu takaisinmaksuajan jälkeen, voidaan käyttää laskentakaavana nettonykyarvon menetelmää. Nettonykyarvomenetelmän ajatus on muuntaa kaikki investointiin liittyvät kassavirrat nykyrahaksi, tätä kutsutaan nimellä diskonttaaminen. Nykyarvoon muunnetut kassavirrat lasketaan yhteen ja tulosta voidaan kutsua investoinnin nykyarvoksi.

Nettonykyarvon laskentakaava:

$$K = H * \frac{q_1}{(1+i)^1} + \frac{q_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{q_n}{(1+i)^n}$$

jossa  $K$  on investoinnin nykyarvo,  $H$  on investointikustannus,  $q$  on vuosittainen tuotto ja  $i$  on käytetty korkokanta.

Alkuinvestointi riippuu hankituista venttiileistä, mutta vuosittainen kassavirta pysyy vakiona.

## 10 Yhteenveto

Työn tavoite oli saada reduktioajon automatisoinnista toimiva ja kannattava. Työn edessä huomataan, että kuinka tärkeää on nykypäivänä kyetä vastaamaan nopeasti sähkön ja kaukolämmön vaihtelevaan tuotantoon.

Nykyaikainen reduktioajo on valmis vastaamaan sähkön ja lämmöntuotannon nopeisiin muutoksiin. On kannattavaa modernisoida reduktioajon puutteellinen automaatio, että käyttöönoton nopeus kasvaisi. Martinlaakson tapauksessa hiilikattilasta voidaan saada 3 - 5 kg/s tuorehöyryä enemmän tuotantoon, kun reduktioajo on valmiina ottamaan

höyrykuorman nopeasti vastaan. Myös jatkuva standby-säilöntä pitää huolen, ettei korroosiota pääse syntymään ja täten laskee kunnossapitokuluja. Standby-säilönnän ansiosta myös lauhteen lämpötila ja paine kasvavat. Täten myös syöttövesisäiliöön menevän lämmityshöyryn määrää voidaan laskea. Höyry, joka jää syöttövesisäiliön veden lämmityksestä yli, voidaan käyttää prosessihöyrynä.

Investointi on laskelmallisesti kannattava jo siinä tapauksessa kun tuorehöyryä saadaan 3 kg/s enemmän. Investoinnin takaisinmaksuajat ovat lyhyet ja niissä on huomioitu jokavuotinen revisiotarkastus ja 8 vuoden välein suoritettava paineastialain mukainen paineastiatarkastus. Investoinnin takaisinmaksuaika ei juurikaan heittele, vaikka kustannukset kasvaisivatkin radikaalisti, eikä laitetoimittaja vaikuta juurikaan investoinnin takaisinmaksu-aikaan.

Herkkyysanalyysien perusteella voidaan automatisointia edelleen pitää kannattavana, vaikka kustannukset kasvaisivatkin. Saatu kustannussäästö on niin merkittävä, että investoinnin kannattavuus ei kärsi.

## Lähteet

- 1 K.Shah Ramesh & P.Sekulic Dusan, Fundamentals of Heat Exchanger Design. John Miley & Sons Inc., Hoboken New Jersey. 2003 .
- 2 Huhtinen Markku, Korhonen Risto, Sipilä Tuomo & Uspalainen Samu. Voimalaistekniikka Opetushallitus, Helsinki. 2013.
- 3 Wagner Walter, Lämmönsiirto, Opetushallitus Helsinki, 1998.
- 4 Näretie V. & Arpalahhti Esko, Höyrykoneet, Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki. 1981.
- 5 Tietoa konsernista 2015, Vantaan Energia Oy
- 6 Ahlström kattilan käyttöopas 1984, Vantaan Energia Oy
- 7 BH50A0400 Vedenkäsittelyopas 2013, Vantaan Energia Oy
- 8 Turvallisuusopas 2016, Vantaan Energia OY
- 9 Cengel Yunus A. & Boles Micheal A. Thermodynamics An Engineering Approach, Eight edition, McGraw-Hill Education, 2 Penn plaza New York, 2015.

