

Petteri Harju

# Voimalaitoksen lauhdejärjestelmän kartoittaminen ja kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

5.4.2016

Tekijä Otsikko	Petteri Harju Voimalaitoksen lauhdejärjestelmän kartoittaminen ja kehittäminen
Sivumäärä Aika	55 sivua + 4 liitettä 5.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Käyttömestari Toni Jokela Lehtori Jarmo Perttula
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli voimalaitoksen lauhdejärjestelmän kartoitus ja kehittäminen. Työ tehtiin Suomen Sokeri Oy:n Kantvikin sokerinpuhdistamolle.</p> <p>Ensimmäinen vaihe työssä oli kartoitus, jossa pyrittiin luomaan mahdollisimman tarkka tilannekuva nykyisestä lauhdejärjestelmästä. Voimalaitoksen lauhdejärjestelmästä luotiin PI-kaavio AutoCAD P&amp;ID ohjelmalla. PI-kaavion luomisen jälkeen tutkittiin lauhdejärjestelmän toimintaa ja tehtiin koejärjestelyjä toiminnan havainnollistamiseksi, sekä mahdollisten uusien lauhteenkeruukohteiden löytämiseksi.</p> <p>Lauhdejärjestelmän kehittäminen sisälsi järjestelmässä havaittujen ongelmien tutkimista ja ratkaisemista. Kartoituksessa ilmenneiden ongelmien syyt selvitettiin ja laadittiin kehitysehdotukset ongelmien ratkaisemiseksi. Osana kehittämistä oli uusien lauhteenkeräys- ja säästökohteiden etsiminen energiatehokkuuden parantamiseksi.</p> <p>Työn tuloksena syntyivät PI-kaaviot nykyisestä lauhdejärjestelmästä, lauhdejärjestelmän kehittämisen suunnitelma sekä parannusehdotuksia. Uudessa lauhdejärjestelmässä on jaoteltu eripaineiset lauhteet ja ryhmitetty lauhteenkeruulinjat uudestaan. Insinööriyössä esitetyissä parannusehdotuksissa tarkastellaan kehityskohteita voimalaitoksen lauhdejärjestelmän toimivuuden ja energiatehokkuuden kannalta. Parannusehdotuksia käytetään osana Suomen Sokerin energiatehokkuustoimintaa.</p>	
Avainsanat	lauhde, lauhteenpoisto, lauhdejärjestelmä

Author Title	Petteri Harju Development of a Power Plant's Condensate System
Number of Pages Date	55 pages + 4 appendices 5 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Toni Jokela. Power Plant Supervisor Jarmo Perttula. Senior Lecturer
<p>The goal of this Bachelor's thesis was to examine and develop a power plant's condensate recovery system. The thesis was commissioned by Suomen Sokeri Oy. It involved the examination of the current condensate system and developing solutions to problems that had been encountered with the system.</p> <p>The first step was to create an accurate description of the current condensate recovery system. However, it was discovered that the PI-drawings including the current condensate system were obsolete and incorrect, and therefore new PI-drawings were made before further charting. The drawings were made by using the AutoCAD P&amp;ID program. After the creation of drawings, the study and investigations of the condensate system were started. The charting involved multiple testing arrangements and researching of the condensate recovery theory. It also included investigations of new energy recovery targets.</p> <p>The development phase involved creating solutions to encountered errors during the charting phase and development of new energy recovery targets. New solutions to correct the existing flaws are to be implemented during the summer 2016 revision of the power plant. New energy recovery solutions were represented to technical managers of the power plant's.</p> <p>The outcomes of this Bachelor's thesis consist of PI-drawings, the development plan of the condensate system and energy recovery solutions. The development plan included a new arrangement of condensate recovery lines, which enables new allocation of different pressure condensates. Energy recovery solutions represent new energy saving solutions that are being used in the energy efficiency program of Suomen Sokeri Oy.</p>	
Keywords	condensate, condensate recovery

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn lähtökohdat	2
2.1	Suomen Sokeri Oy	2
2.1.1	Kantvikin tehdas	2
2.1.2	Voimalaitos	2
2.2	Mildola Oy	4
2.3	Energiatehokkuuslaki	5
3	Lauhdejärjestelmän osat ja toiminta	6
3.1	Lauhteenpoisto	7
3.2	Lauhteenpoistimet	7
3.2.1	Mekaaniset lauhteenpoistimet	8
3.2.2	Termodynaamiset lauhteenpoistimet	9
3.2.3	Termostaattiset lauhteenpoistimet	10
3.3	Lauhdeputket	11
3.4	Höyryputkisto	13
3.5	Paisuntahöyry	15
4	Voimalaitoksen lauhdejärjestelmän kartoitus	15
4.1	Lauhdesäiliöön kerättävä lauhde	16
4.2	Lauhdesäiliö ja lauhdepumput	17
4.3	Turbopumput	19
4.4	Kerättävät lauhteet	19
4.5	Pohjapuhallussäiliöön kerättävät lauhteet	30
5	Voimalaitoksen lauhdejärjestelmän kehittäminen	33
5.1	Lauhteenkeräys painetasoittain	33
5.1.1	Lauhteenkeruulinja 1	34
5.1.2	Lauhteenkeruulinja 2	37
5.1.3	Lauhteenkeruulinjat 6 & 7	38
5.2	Omakäyttöhöyryn jakotukki	40
5.3	By Pass -venttiilit	45

5.4	Voimalaitoksen lauhdesäiliö	46
5.4.1	Lauhdesäiliön hönkälämmönvaihdin	47
5.4.2	Lauhdesäiliön eristäminen	47
6	Yhteenveto	52
	Lähteet	54
	Liitteet	
	Liite 1. Voimalaitoksen lauhteenpoistimet	
	Liite 2. Nykyisen lauhdejärjestelmän PI-kaavio	
	Liite 3. Kehitetyn lauhdejärjestelmän PI-kaavio	
	Liite 4. Lauhdeputkien mitoitustauluko	

## Lyhenteet

$A$	Kokonaispinta-ala
$a$	Vuosi
$\beta$	Tilavuuden laajenemiskerroin
$c$	Ominaislämpökapasiteetti
$d$	Halkaisija
DENÅ	Dansk Kedelføring Ekono Norsk Dampkedelforening Ångpannförening
DN	Nimellishalkaisija millimetreissä
€/a	Euroa vuodessa
eko	(Ekonomaiser) Syöttöveden esilämmitin
$\varepsilon$	Emissiivisyys
$g$	Gravitaatiovakio
$h$	Lämmönsiirtymiskerroin
$k$	Lämmönjohtavuus
$l$	Pituus
$\lambda$	Lämmönjohtavuus
luvo	(Luftvorwärmer) Palamisilman esilämmitin
MWh	Megawattitunti

$\dot{m}$	Massavirta
$\text{Nm}^3/\text{min}$	Normitettu ilmamäärä (olosuhteet vakioitu)
$Nu$	Nusseltin numero
$P$	Paine
PI-kaavio	Putkisto- ja instrumenttikaavio
$Pr$	Prantin luku
$Q$	Lämpömäärä, lämpö
$Ra$	Rayleighin luku
$r$	Säde
$\sigma$	Stefan-Boltzmanin vakio
$T$	Lämpötila
t/h	Tonnia tunnissa
$\nu$	Viskositeetti
$V$	Tilavuus
$\dot{V}$	Tilavuusvirta pinta-alassa A
VGB	European technical association for power and heat generation

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on voimalaitoksen lauhdejärjestelmän kartoitus ja kehittäminen. Työ suoritettiin Suomen Sokerin Kantvikin sokerinpuhdistamon voimalaitokselle. Työ rajattiin voimalaitoksen lauhdejärjestelmään, eikä siinä tarkasteltu sokerinpuhdistamon muuta lauhdejärjestelmää. Voimalaitos on ollut toiminnassa usean vuosikymmenen ajan, joten laitos on toiminut useissa erilaisissa tuotantotilanteissa. Tästä syystä myös lauhdejärjestelmä on muuttunut paljon alkuperäisestä, eikä sen nykyinen toiminta ole halutunlaista kaikilta osin. Insinööriyössä tutkittiin tämänhetkisen järjestelmän ongelmia ja kehitettiin uusia ratkaisuja. Insinööriyön taustalla vaikuttaa vuonna 2015 voimaan astunut energiatehokkuuslaki, joka velvoittaa yritykset tarkastelemaan omaa energiankäyttöään.

Työn ensimmäinen osa oli lauhdejärjestelmän kartoitus, jossa tarkoituksena oli havaita nykyisen järjestelmän epäkohdat ja pullonkaulat. Kartoittaminen tehtiin voimalaitoksella lauhdelinjoja ja Suomen Sokerin tietokantoja tutkien. Voimalaitoksen lauhdejärjestelmästä ei ollut olemassa ajantasaista PI-kaaviota, mistä johtuen kartoituksen ohessa luotiin PI-kaavio lauhdejärjestelmästä. Uusi PI-kaavio mallinnettiin vanhojen piirustusten pohjalta käyttämällä ohjelmaa AutoCAD P&ID. Työ sisälsi myös useita koejärjestelyjä, joissa tutkittiin kartoituksessa havaittuja ongelmakohtia ja uusia energian talteenottokohteita.

Työn toinen vaihe käsittelee lauhdejärjestelmän kehittämistä. Siinä esitetään ratkaisuja kartoituksessa havaittuihin ongelmiin. Lisäksi siinä tarkasteltiin kartoituksen yhteydessä suoritettujen kokeiden tuloksia ja kehitettiin uusia ratkaisuja. Kehitysehdotuksien lisäksi työssä esitetään toimia voimalaitoksen lauhdejärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseksi. Näitä toimia olivat uudet lauhteenpoistoratkaisut ja lauhtesäiliön eristäminen. Esitettyjen kehitystoimien taloudellisesta kannattavuudesta tehtiin mahdollisimman tarkat arviot.



## 2 Työn lähtökohdat

### 2.1 Suomen Sokeri Oy

Suomen sokeri Oy on vuonna 1918 perustettu yhtiö, joka myy ja markkinoi sokerituotteita. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2015 noin 150 miljoonaa euroa. Yrityksessä työskentelee Suomessa Kantvikin ja Säkylän tehtailla yhteensä 180 henkilöä. Suomen Sokerin tärkeimmät liiketoiminta-alat ovat elintarviketeollisuus ja vähittäiskauppa. Suomalainen sokeriteollisuus muodostuu Suomen Sokeri Oy:sta ja Sucros Oy:sta, joiden omistajat ovat pohjoismainen Nordic Sugar 80 %:n osuudella ja suomalainen Lännen Tehtaat Oyj 20 %:n osuudella. (Suomen Sokeri ja Nordic Sugar 2016.)

#### 2.1.1 Kantvikin tehdas

Suomen Sokerin Kantvikin tehtaalla puhdistetaan kaikki Suomessa valmistettu raakasokeri ja ulkomailta tuotava ruokosokeri. Kantvikin sokerinpuhdistamolla valmistetaan suuri osa Suomessa myytävistä sokeri- ja siirappituotteista. Tehtaan kapasiteetti on 650 tonnia sokeria vuorokaudessa. Sokerituotteiden pääraaka-aine juurikassokeri tuotetaan Sucros Oy:n Säkylän tehtaalla, tämän lisäksi tuotannossa käytetään ruokoraakasokeria, joka tuodaan maahan muualta. (Suomen Sokeri ja Nordic Sugar 2016.)

Sokerin puhdistuksessa käytetään prosessihöyryä, joka tuotetaan tehtaan viereen sijoitetussa voimalaitoksessa. Prosessihöyryä käytetään sokerin tuotannossa haihdutukseen, liuotukseen, kuumennukseen, keittoon, pesuun, kuivatukseen ja kostutukseen. Käytön jälkeen höyry lauhdutetaan ja kerätään lauhdesäiliöihin, joista se pumpataan takaisin voimalaitokselle.

#### 2.1.2 Voimalaitos

Kantvikin sokerinpuhdistamon yhteydessä on vastapainevoimalaitos, jonka tehtäviin kuuluu tuottaa prosessihöyryä, sähköä ja talousvettä sekä puhdistaa jätevettä sokeritehtaan ja läheisen taajaman tarpeisiin. Laitoksen pääpolttoaine on kivihilli, joka poltetaan Tampella arinakattilassa (25,6 MW). Tämän lisäksi voimalaitoksella on yksi Bosch-maakaasu-/öljykattila (22 MW) sekä kaksi Rosenlew-öljykattilaa (yhteensä 18



saadaan höyryn painetta säädettyä toiselle tasolle. Reduktioventtiilin yhteydessä on vesiruiskutus, jolla pystytään säätämään tuotetun höyryn lämpötilaa.

Voimalaitoksella on kolme apukattilaa, jotka ovat Bosch-maakaasu-/öljykattila sekä kaksi Rosenlew-öljykattilaa. Apukattiloita käytetään prosessin höyrykuorman vaihteluiden tasaamiseen, prosessi- ja omakäyttöhöyryn tuottamiseen pääkattilan seisakin aikana ja höyryn tuottoon Mildola Oy:lle pääkattilan seisakin aikana. Normaalitilassa vuonna 2014 käyttöönotettu Bosch-kattila toimii pääkattilan apuna, ja Rosenlew-kattilat ovat reservissä.

## 2.2 Mildola Oy

Voimalaitoksella tuotetaan prosessihöyryä myös sokerinpuhdistamon vieressä sijaitsevalle Mildola Oy:lle. Mildola Oy on Avena Mordic Grain Oy:n tytäryhtiö, joka valmistaa ja kehittää Kirkkonummella kasviöljyä ja valkuaispuristeita rypsiä ja rapsista (Avena 2016.)

Prosessihöyryä tuotetaan normaalitilassa 4.5 t/h. Tuotettu höyry on korkeampipaineista, 4,5 bar, kuin sokerinpuhdistamon käyttämä prosessihöyry, 1,85 bar. Tämä siksi, jotta lauhteenmuodostuminen olisi vähäisempää ulkoilmassa liikkuvissa höyrynsiirto-putkissa. Höyry tuotetaan voimalaitoksella höyryejektorilla, jossa saadaan dynaamisesti sekoittamalla prosessihöyryn lämpötila ja paine nousemaan korkeampipaineisella höyryllä. Tarvittavaa 4,5 barin höyryä on mahdollista tuottaa myös tulistetusta höyrystä reduktioventtiilillä. Kyseistä reduktioventtiiliä käytetään silloin kun tarvitaan 4,5 barin höyryä, mutta turbiini ei ole käytössä. Normaalisti 4,5 barin höyryä pyritään valmistamaan ejektorilla. Tällöin osa valmistettavasta höyrystä kulkee turbiinin läpi, lisäten turbiinin kuormaa ja kasvattaen sähköntuotantoa.

Mildola Oy:n tuotantoprosessissa syntyy kaasuja, jotka sisältävät öljypartikkeleja ja rikkivetyä. Rikkivety aiheuttaa ilmaan päätyessään hajuhaittoja läheiseen taajamaan. Tästä syystä hajukaasut poltetaan Suomen Sokerin voimalaitoksella kivihiihi- ja öljykattiloissa. Hajukaasut pestään lämminvesipesurissa Mildola Oy:n tiloissa, minkä jälkeen kaasu johdetaan putkilinjaa pitkin Suomen Sokerin voimalaitokselle. Hajukaasut ovat pesun jälkeen kosteita, ja ne sisältävät vielä öljypartikkeleita ja rikkivetyä. Tästä syystä voimalaitokselle on rakennettu erillinen hajukaasunpuhdistusjärjestelmä.

Puhdistusjärjestelmän tarkoituksena on estää öljypartikkeleiden kerääntyminen palamisilmapuhaltimiin ja putkilinjoihin. Puhdistuksen ensimmäisessä vaiheessa kaasut jäädytetään merivesivaihtimella noin 20 °C, jolloin kaasussa oleva kosteus tiivistyy ja neste putoaa lämmönvaihtimen pohjalle. Tiivistynyt neste sisältää vettä ja öljypartikkeleita, joten se on johdettava jätevesilaitokselle. Jäädytetyt kaasut lämmitetään seuraavaksi 60 °C:n lämpötilaan voimalaitoksen omakäyttöhöyryllä. Kaasu lämmitetään, jotta se ei sisältäisi nestettä, joka haittaisi voimalaitoksen puhaltimien toimintaa. (Koilisto 2016.)

### 2.3 Energiatehokkuuslaki

Insinööriyön ensisijainen tehtävä oli ratkaisujen etsiminen voimalaitoksen lauhdejärjestelmän ongelmiin, mutta lisäksi sen perustana oli Suomen Sokerin energiakatselmuks-toiminta. Vuonna 2015 voimaan tullut energiategokkuuslaki velvoittaa yritykset tarkastelemaan toimintaansa määräajoin. Lain tarkoitus on edistää ja parantaa yritysten energiategokkuutta, ja sen piiriin kuuluvat seuraavaksi luetellut yritykset.

- Yritykset, jotka myyvät tai jakelevat sähköä, kaukolämpöä, kaukojäähdytystä tai polttoainetta.
- Suuret yritykset, niissä tehtävät yrityksen energiakatselmuksset sekä yrityksen energiakatselmuksen vastuuhenkilöt.
- Kaukolämpö- ja kaukojäähdytysverkot, sähkön lauhdetuotantolaitokset ja sellaiset teollisuuslaitokset, joissa voi syntyä käyttökelpoista ylijäämälämpöä. (Energiategokkuuslaki 2014.)

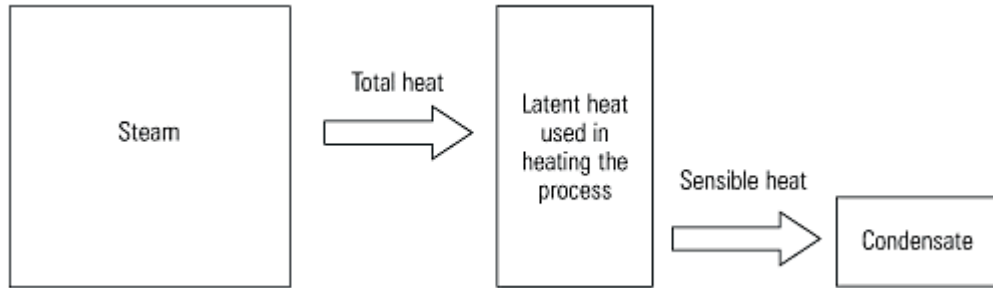
Suomen Sokeri kuuluu energiategokkuuslain piiriin, koska se täyttää edellä mainitut ehdot. Laki velvoittaa yrityksen pakolliseen energiakatselmukseseen, joka tulee suorittaa vähintään 4 vuoden välein. Seuraavassa lainauksessa on lain pykälät 4 ja 5, joissa kerrotaan, mitä energiakatselmuksen tulee sisältää.

#### 4§

##### Yrityksen energiakatselmuks

Yrityksen energiakatselmuks on järjestelmällinen menettely, jolla saadaan riittävästi tietoa koko konsernin tai yrityksen energiankulutusprofiilista, tunnistetaan mahdollisuudet kustannustehokkaaseen energiansäästöön, määritetään säästöns suuruus ja raportoidaan katselmuksen tuloksista. Yrityksen energiakatselmuks-





Kuva 2. Höyryn ja lauhteen energiasisältö (The Steam and Condensate Loop 2007: 14.1.2)

### 3.1 Lauhteenpoisto

Höyryjärjestelmän tehokas ja taloudellinen käyttö edellyttää toimivaa lauhteenpoistoa. Teollisuudessa lauhdejärjestelmät jäävät usein pienemmälle huomiolle kuin esimerkiksi höyryjärjestelmät. Niihin ei usein ole haluja investoida, vaikka lauhteenkierrätys on tärkeää. Kierrätyksellä on mahdollista säästää polttoainetta ja tehostaa prosessia. Lisäksi oikein toteutetulla lauhteenkeräyksellä voidaan vähentää lisäveden- ja jätevedenkäsittelytarvetta. (Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä 2015.)

Epäonnistunut lauhteenpoisto heikentää prosessin tehoa ja voi pahimmillaan estää laitteiden toiminnan. Lauhteen kerääntyessä esimerkiksi lämmönsiirtopinnoille heikenee siirtyvän lämmön teho ja höyryn kulutus kasvaa. Jos höyryputkista ei poisteta lauhdetta, se jää putken pohjalle pienentäen putkessa kulkevan höyryn tilavuutta. Mikäli asiaan ei puututa voi lauhde pahimmillaan myös tukkia putken, jolloin se estää höyryn pääsyn kulutuskohteeseen. (Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät 1978: Osa 2 1-6.)

### 3.2 Lauhteenpoistimet

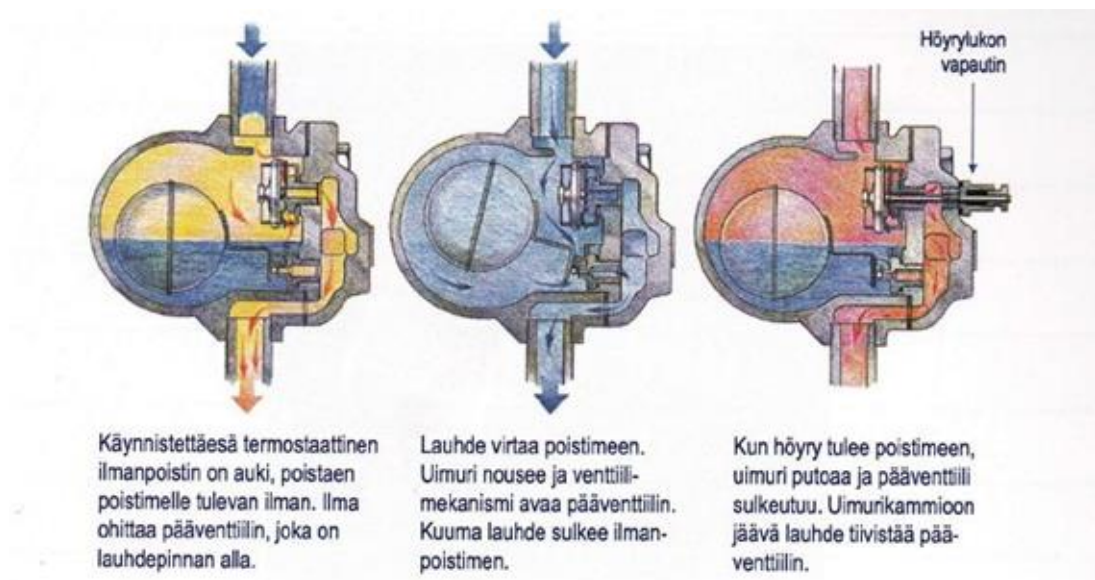
Lauhteenpoistimen tehtävä on erottaa höyryjärjestelmään muodostunut vesi eli lauhde. Lisäksi lauhteenpoistimet poistavat höyryjärjestelmään päässeen ilman. Poistimen tulisi toimia siten, että mahdollisimman vähän höyryä pääsee poistumaan lauhteenpoistimen kautta lauhdeputkistoon. Lauhteenpoistimia on monenlaisia, ja niiden toiminta voi perustua esimerkiksi veden ja höyryn tiheyseroon (uimuripoistimet), tai lauhteen ja höyryn lämpötila-eroon (termodynaamiset poistimet ja termiset poistimet). Näiden kolmen pe-

rusmallin lisäksi on olemassa muita lauhteenpoistimia, kuten labyrinttipoistimet ja pumppulauhteenpoistimet. (The Steam and Condensate Loop 2007: 11.1.5.)

Lauhteenpoistimen eteen on hyvä sijoittaa roskasihti, jotta poistin toimisi mahdollisimman hyvin. Roskasihti voi olla erillinen toimilaite tai se voi olla lauhteenpoistimen yhteydessä. Roskasihtin tarkoituksena on estää putkistosta irtoavien roskien kulkeutuminen lauhteenpoistimeen. Tällaiset palaset voivat lauhteenpoistimeen joutuessaan tukkia poistimen. Tukkeutunut poistin ei joko poista lauhdetta tai se voi jäädä vuotamaan höyryä lauhdelinjastoon. Kumpikaan edellä mainituista vaihtoehdoista ei ole toivottu prosessin kannalta. (Huhtinen 2008: 81–84.)

### 3.2.1 Mekaaniset lauhteenpoistimet

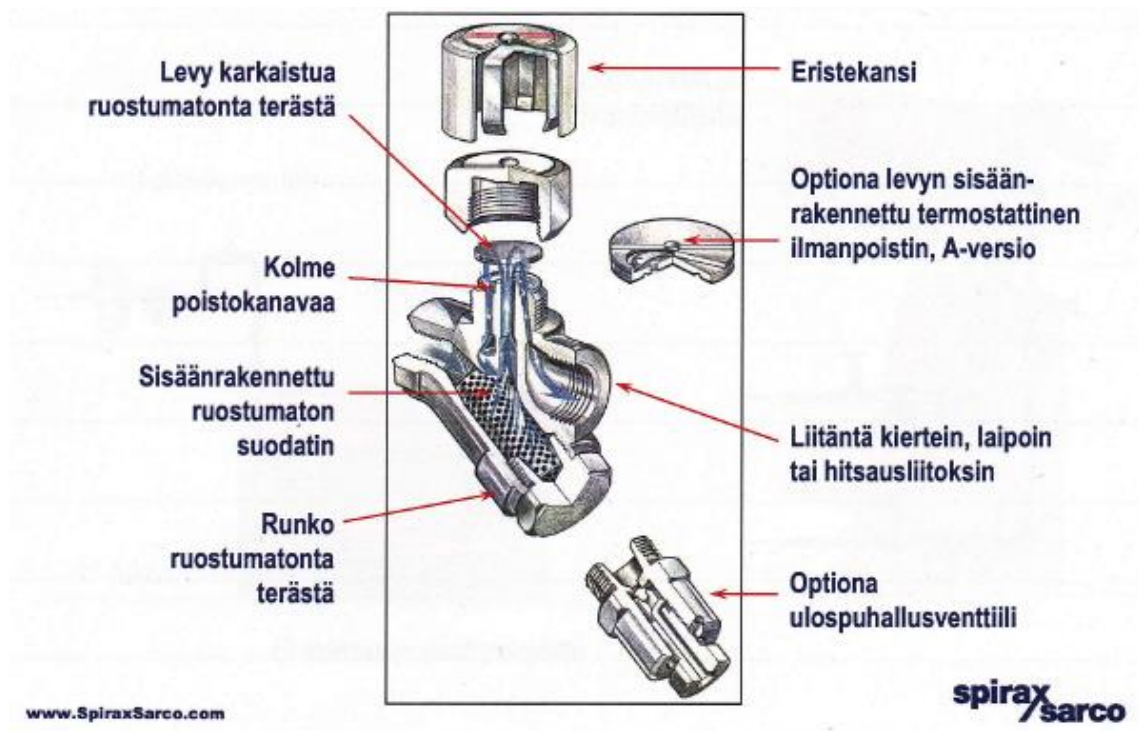
Mekaanisten lauhteenpoistimien toiminta perustuu lauhteen ja höyryn tiheyseroon. Uimuri- ja avouimuripoistimet kuuluvat mekaanisten lauhteenpoistimien ryhmään. Uimuripoistimet sopivat hyvin prosesseihin, joissa lauhdemäärät ovat suuret, ja paineet sekä kuormat vaihtelevat. Kuvassa 3 on esitelty uimurilauhteenpoistimen toimintaa. Mekaaniset lauhteenpoistimet voidaan tarvittaessa eristää, sillä se ei haittaa niiden toimintaa. (Höyry- ja lauhdejärjestelmäkoulutus n.d: 120.)



Kuva 3. Uimurilauhteenpoistin ja sen toiminta (Höyry- ja lauhdejärjestelmäkoulutus n.d: 123)

### 3.2.2 Termodynaamiset lauhteenpoistimet

Termodynaamisten lauhteenpoistimien toiminta perustuu höyryn ja lauhteen lämpötilaeroon. Ne ovat rakenteeltaan yksinkertaisia, kevyitä ja lujia, kuten kuvasta 4 voidaan huomata. Tällaiset lauhteenpoistimet toimivat hyvin myös tulistetun höyryn lauhteenpoistossa, lisäksi ne kestävät hyvin vesi-iskuja ja korroosiota. Termodynaamisten lauhteenpoistimien ongelmana on huono toiminta paine-erojen ollessa pienet. (The Steam and Condensate Loop 2007: 11.4.3.)



Kuva 4. Termodynaaminen lauhteenpoistin (Höyry- ja lauhdejärjestelmäkoulutus n.d: 128)

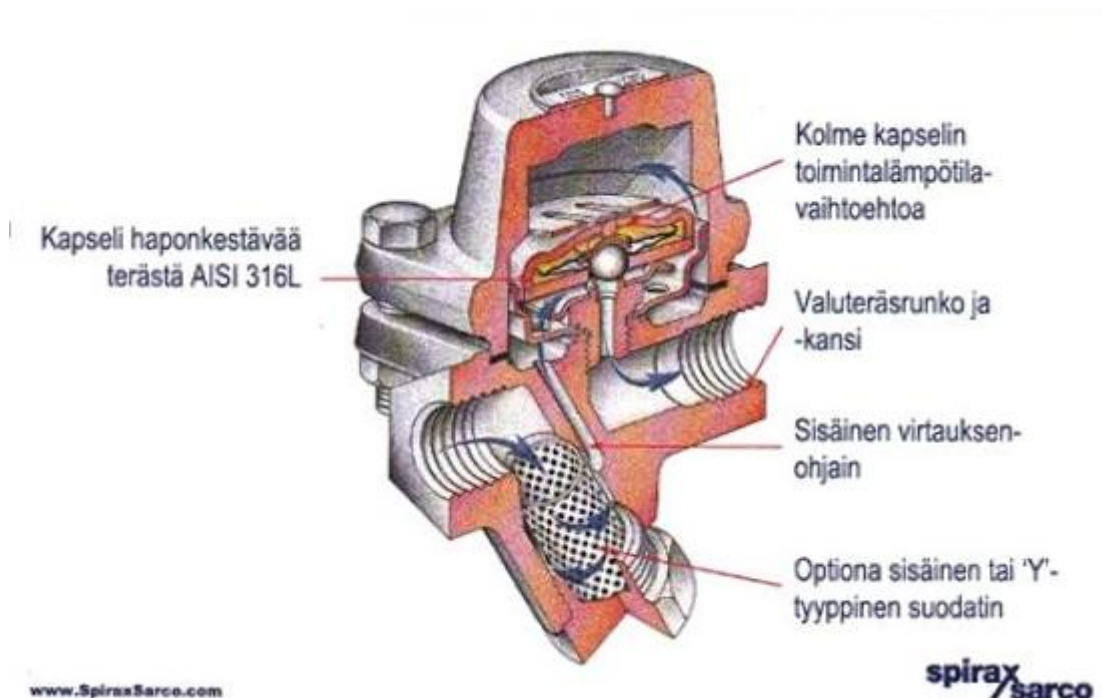
Yleisimmät käyttökohteet termodynaamisille lauhteenpoistimille ovat linjavesitykset korkea- ja matalapainelinjoissa sekä turbiinien vesityslinjat. Termodynaamisten lauhteenpoistimien etuna ovat niiden laaja käyttöalue sekä useat eri asennustavat. Kuitenkin suositeltava asennustapa on sellainen, jossa poistimen kansi on ylöspäin. (Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät 1978.)



### 3.2.3 Termostaattiset lauhteenpoistimet

Termostaattisia lauhteenpoistimia ovat kapseli- ja bi-metallipoistimet. Tällaisten poistimien toiminta perustuu lauhteen ja höyryn väliseen lämpötilaeroon. Poistimeen johtavia putkia ja lauhteenpoistinta ei saa eristää, koska tällöin lauhteenjäähdyminen hidastuu, aiheuttaen poistimen hitaan toiminnan. (Huhtinen 1994: 239.)

Bi-metallilauhteenpoistimien ongelmana on niiden hidas toiminta, eikä niitä voi käyttää, jos lauhdepuolella on vastapainetta. Kapselilauhteenpoistimet soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa lauhdemäärät ja paineet eivät ole kovinkaan suuria. (Steam engineering tutorials 2016.) Kuvassa 5 on esitelty kapselilauhteenpoistimen rakennetta.



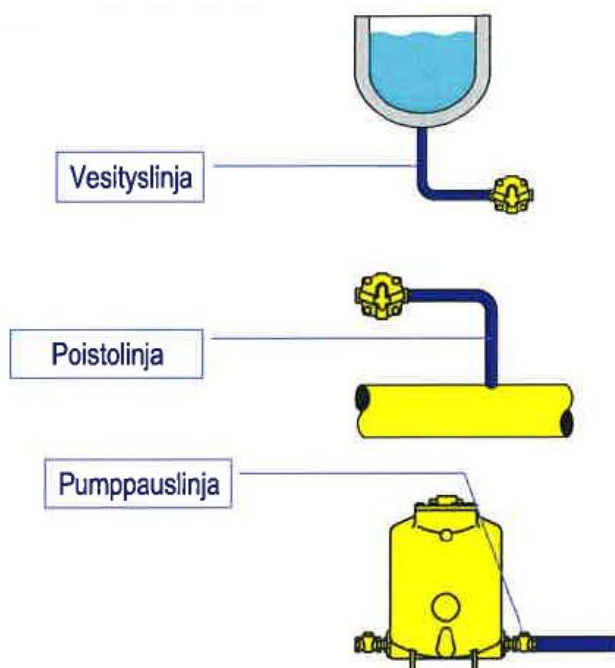
Kuva 5. Termostaattinen kapselilauhteenpoistin (Höyry- ja lauhdejärjestelmäkoulutus n.d: 132)

### 3.3 Lauhdeputket

Lauhdeputkien mitoittaminen on hankalaa ja epävarmaa, koska lauhteenmuodostuminen voi vaihdella todella suuresti riippuen voimalaitoksen käyttötilasta. Seuraavassa luettelossa on esitelty höyryputkissa lauhteenmuodostumiseen vaikuttavia tekijöitä.

- Käynnistysvaiheessa poistuu suuri määrä ilmaa lauhdeputkista.
- Kuuman höyryn alkaessa virrata kylmissä höyryputkissa voi lauhdetta muodostua 2 - 3 kertaa enemmän, kuin normaalisti täydellä kuormalla ajettaessa.
- Laitoksen lämmitessä lauhdemäärät pienenevät normaaliksi. Lauhteen lämpötilan kasvaessa syntyy lauhdelinjoissa paljon paisuntahöyryä. (Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät 1978.)

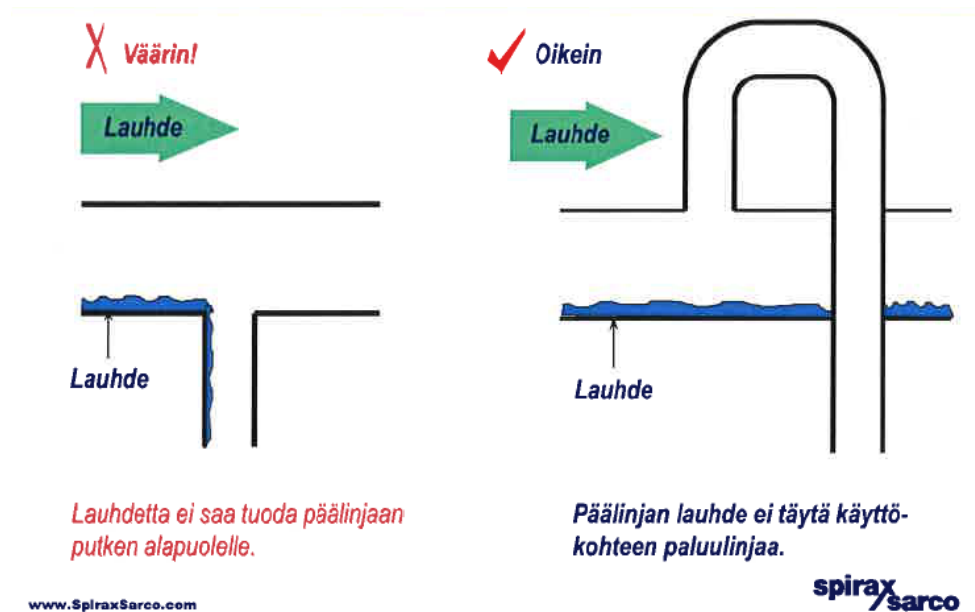
Yleensä lauhdeputkien mitoituksessa parhaan ratkaisun saavuttamiseksi on tehtävä kompromisseja (Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät 1978). Lauhdelinjoja on erilaisia, ja niitä nimetään eri tavalla riippuen putken sijainnista ja käyttökohteesta. Yleisesti lauhdelinjoja nimetään vesityslinjoiksi, poistolinjoiksi tai pumppauslinjoiksi, kuten kuvassa 6 on esitetty. (Höyry- ja lauhdejärjestelmäkoulutus n.d: 150.)



Kuva 6. Lauhdelinjojen tyypit (Höyry- ja lauhdejärjestelmäkoulutus n.d: 150)

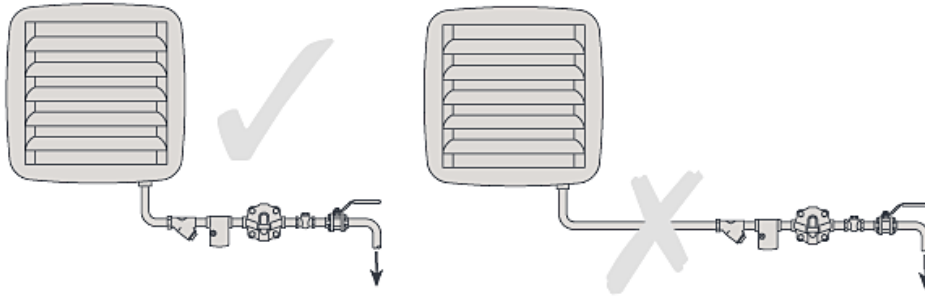
Lisäksi poistolinjat yhdistyvät usein keruulinjoihin, joiden kautta lauhde johdetaan useammalta kohteelta lauhdesäiliöön. Tällaisia lauhdelinjoja kutsutaan lauhteenkeruulinjoiksi. (The Steam and Condensate Loop 2007: 14.2.2.)

Lauhdeputket tulee kallistaa kuten höyryputket 0,5 - 1 cm/m virtaussuuntaan, jotta lauhde virtaisi esteettä lauhdesäiliöön (Huhtinen 2008: 86). Lauhdetta ei saa tuoda lauhteenkeräyslinjaan putken alapuolelta, jotta lauhteenkeruulinjassa virtaava lauhde ei täytä käyttökohteen paluulinjaa (kuva 7).



Kuva 7. Lauhdeputkien yhtymäkohta (Höyry- ja lauhdejärjestelmäkoulutus n.d: 154)

Lauhteenpoistin tulee sijoittaa siten, että se ei ole liian kaukana käyttökohteesta (kuva 8). Ideaalitalanteessa poistimen tulisi olla korkeintaan 2 m:n etäisyydellä kohteesta. Liian pitkä etäisyys laitteen ja lauhteenpoistimen välillä voi aiheuttaa lauhteenpoistimen täyttymisen höyryllä. Tällöin lauhde ei pääse poistumaan ja syntyy höyrylukko. Höyrylukon voi estää pitämällä lauhteenpoistimen ja höyrynkäyttökohteen välin lyhyenä. (The Steam and Condensate Loop 2007: 14.2.5.)



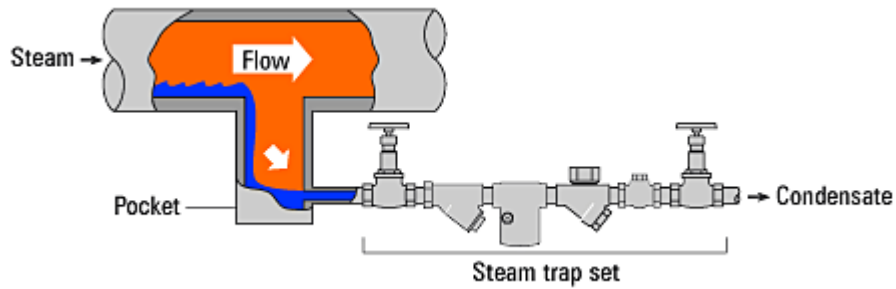
Kuva 8. Lauhteenpoistimen sijoittaminen (The Steam and Condensate Loop 2007: 14.2.5)

### 3.4 Höyryputkisto

Höyryjärjestelmät ovat paljon käytettyjä teollisuuden tuotannossa ja lämmitysjärjestelmissä. Niiden avulla kuljetetaan höyry tuotannosta kulutuskohteelle. Höyryn siirtäminen on helppoa ja sen avulla on mahdollista siirtää suuria määriä energiaa. Lisäksi höyry on myrkytöntä ja sen lämpötila on helposti säädettävissä. Höyryjärjestelmän oikean toiminnan kannalta tulee huolehtia ilman- ja lauhteenpoistosta. (Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä 2015.)

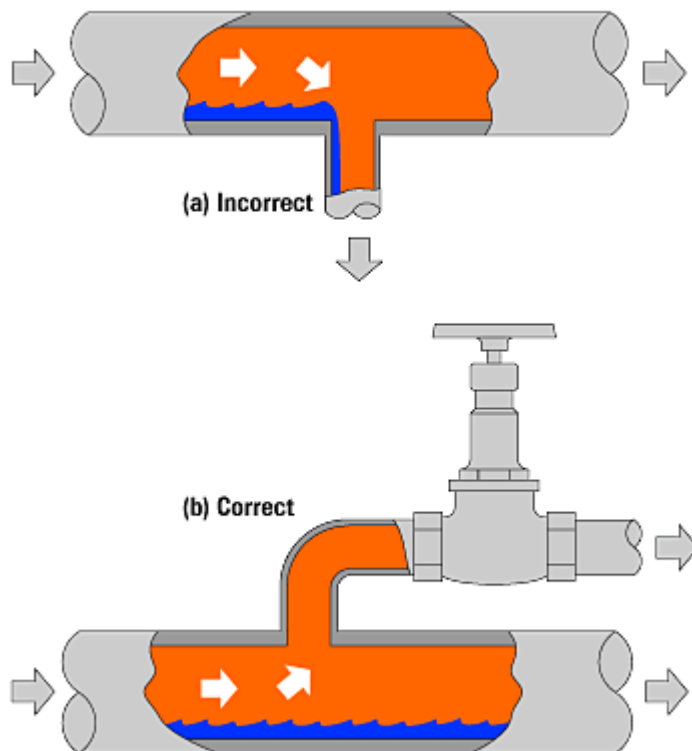
Ilman päästessä höyryputkiin pienenee höyryn tehollinen lämpötila. Lisäksi lämmönsiirtoainnoille pääsevä ilma huonontaa lämmönsiirtoa ja pidentää prosessiaikaa. Ilma aiheuttaa höyryputkiin korroosiovaurioita, ja voi pahimmillaan myös estää höyryn kulun. Tästä johtuen ilma on poistettava höyryjärjestelmästä ilmanerottimien tai lauhteenpoistimien avulla. (Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä 2015.)

Höyryputkistoihin syntyvä lauhde tulee poistaa, jotta voidaan varmistua höyryjärjestelmän oikeasta toiminnasta. Putkistoihin tulisi rakentaa lauhteenpoistimet 25 m välein (Huhtinen 2008: 84). Lisäksi höyryputket tulee kallistaa virtaavan höyryn suuntaan 0,5 - 1 cm/m, jotta varmistetaan lauhteen poistuminen (Huhtinen 2008: 86.). Lauhteen poistumisen varmistamiseksi tulee vesitysyhteiden olla riittävän suuria (kuva 9) (Steam Engineering Tutorials 2016.)



Kuva 9. Lauhteenpoistotasku (Steam Engineering Tutorials 2016)

Päähöryputken ei saa tehdä höyryottoja putken sivusta, eikä varsinkaan putken pohjasta. Höyrytot tulee aina ottaa päähöryputken päältä, jotta vältettäisiin lauhteen joutuminen toimilaitteelle (kuva 10). (Steam Engineering Tutorials 2016.)



Kuva 10. Päähöryputken höyrytot (Steam Engineering Tutorials 2016)

Tulistetun höyryn siirtoon tarkoitettujen putkien lauhteenpoistosta tulee myös huolehtia. Vaikka tulistettu höyry on absoluuttisen kuivaa, on putket vesitettävä erittäin huolellisesti (Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät 1978: Osa 2 53). Tulistettu höyry ei muodosta lauhdetta putkiston ja laitteiden ollessa lämmin, mutta käynnistystilanteessa höyryputkiston ollessa kylmä lauhtuu tulistetustakin höyrystä huomattava määrä lauh-

detta. Tämä poistamaton lauhde voi aiheuttaa suuria vahinkoja joutuessaan toimilaitteelle. (Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät 1978: Osa 2 53.)

### 3.5 Paisuntahöyry

Paisuntahöyryä eli hönkähöyryä muodostuu, kun kuumaa lauhdetta johdetaan pienempään paineeseen, esimerkiksi lauhteenpoistimen läpi. Lauhde on ennen poistinta höyrylinjaa vastaavassa paineessa, mutta kulkiessaan poistimen läpi se siirtyy poistolinjassa vallitsevaan paineeseen. Tällöin osa lauhteesta höyrystyy ja syntyy paisuntahöyryä. (The Steam and Condensate Loop 2007: 11.1.5; Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät 1978: Osa 2 73.)

Paisuntahöyry sisältää paljon lämpöenergiaa ja se on yhtä puhdasta kuin lauhde, mistä johtuen se on erittäin käyttökelpoista. Yleensä on järkevää ja energiatehokasta käyttää hönkähöyryä lämmitykseen. Mikäli hönkähöyry virtaa lauhdesäiliöön saakka, se poistuu hönkäputkea pitkin ulos, jolloin sen lämpöenergiaa menetetään. (Huhtinen 2008: 85). Lauhteenpoistimien yhteydessä esiintyy usein paisuntahöyryä, ja lauhdeputkien ollessa liian pieniä voi hönkähöyry aiheuttaa ongelmia lauhdejärjestelmässä (Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä 2015).

## 4 Voimalaitoksen lauhdejärjestelmän kartoitus

Kartoituksen tarkoitus oli muodostaa mahdollisimman tarkka kuva voimalaitoksen nykyisestä lauhdejärjestelmästä. Se sisälsi myös voimalaitoksella ennalta havaittujen ongelmakohtien tutkimista. Haastavan tehtävästä teki se, että nykyisestä lauhdejärjestelmästä ei ollut olemassa kaikkia ajantasaisia dokumentteja. Lisäksi lauhdejärjestelmässä ei ole virtaus- tai lämpötilamittauksia. Näistä syistä johtuen ensimmäiseksi tehtäväksi muodostui ajantasaisen PI-kaavion luominen nykyisestä höyry- ja lauhdejärjestelmästä. Samalla tarkasteltiin lauhdesäiliöön palautuvaa lauhdemäärää ja tehtiin kartoitus kaikista voimalaitoksen lauhteenpoistimista.

Kartoitus aloitettiin tutkimalla lauhdelinjoja ja piirtämällä niistä ensin karkea hahmotelma käsin. Linjojen kartoittaminen aloitettiin voimalaitoksen lauhteenkeruusäiliöstä, koska säiliöön päätyy suuri osa voimalaitoksen lauhteista. Loput lauhteista päätyvät ulos-

puhallussäiliöön tai suoraan viemäriin. Kun oli tiedossa lauhdelinjien päätepiiste, oli putkia seuraamalla helpompaa löytää kaikki lauhdetta tuottavat laitteet ja niiden väliset lauhdelinjat.

Pohjana uudelle PI-kaavioille käytettiin voimalaitoksen PI-kaavioita vuodelta 1995. Kyseisiä prosessipiirroksia ei ole kuitenkaan vuoden 1995 jälkeen päivitetty, joten ne eivät kuvastaneet tarkasti nykyistä höyry-, syöttövesi- ja lauhdejärjestelmää. Uuteen kaavioon ei mallinnettu koko voimalaitoksen prosessia. PI-kaavio tehtiin tarkaksi vain voimalaitoksen lauhdejärjestelmän osalta.

PI-kaavio luotiin AutoCAD P&ID -ohjelmalla. Valmistunut prosessipiirros on liitteenä 2. PI-kaavion mallintaminen alkoi keskeisimmistä laitteista, joita ovat kattilat, syöttövesipumput, syöttövesisäiliö, turbiini, lauhdesäiliöt, säätölaitteet ja muut säiliöt. Niiden jälkeen kaavioon piirrettiin suurimmat höyry-, vesi- ja lauhdelinjat. Seuraavaksi aloitettiin yksityiskohtaisempi mallinnus, jossa kaavioon mallinnettiin kaikki lauhdelinjat ja lauhteenpoistimet. Lauhteenpoistimien kartoittaminen sekä numerointi tehtiin PI-kaavion luomisen sekä muun kartoituksen yhteydessä. Sen lopputuloksena syntyi liitteen 1 mukainen taulukko, jossa lauhteenpoistimille on annettu tehtaan järjestelmän mukainen numerointi sekä tiedot paineesta, putkikoosta ja lauhteenpoistinmallista.

#### 4.1 Lauhdesäiliöön kerättävä lauhde

Syntyvän lauhteen määrä vaihtelee voimalaitoksen ajotilasta riippuen. Suomen Sokerille on vuonna 2012 tehty energiakatselmus sokerinpuhdistamon lauhdejärjestelmästä. Tämän Spirax Sarcon tekemän katselmuksen mukaan voimalaitoksella syntyy lauhdetta 1 t/h. Raportissa ei kuitenkaan ole selvennetty, kuinka kyseinen lauhdemäärä on arvioitu. Tästä johtuen järjestettiin koe, jossa määritettiin säiliöön palautuvan lauhteen määrä. Määrittämiseen käytettiin pumppuihin asennettuja käyttötuntimittareita ja lauhdepumppujen datalehden tietoja pumppujen tuotosta nostokorkeuden funktiona.

Voimalaitoksen lauhdepumput on mitoitettu siten, että 20 m:n nostokorkeudella ja 0,9 barin vastapaineella niiden tuottama tilavuusvirta on 4,4 m<sup>3</sup>/h. Käyttötuntimittarit kytkettiin lauhdepumppuihin ja niiden käyntiä seurattiin kahden viikon ajan kahdessa voimalaitoksen ajotilassa.

Ensimmäinen testi tehtiin ajanjaksolla 2.2.2016 - 5.2.2016 yhteensä 96 tunnin ajalta. Kyseisellä ajanjaksolla sokerinpuhdistamolla ei ollut tuotanto käynnissä, joten voimalaitos ei myöskään ollut normaaliajotilassa. Tänä aikana lauhdepumput olivat käyneet yhteensä 19,29 tuntia, jolloin tunnissa pumpattu lauhdemäärä on

$$\dot{V}_1 = \frac{4,4 \frac{m^3}{h} * 19,29h}{96h} = 0,884 \frac{m^3}{h}$$

Toinen koe tehtiin 5.2.2016 - 8.2.2016 yhteensä 77 tunnin aikana. Kyseisellä ajanjaksolla voimalaitos oli normaaliajotilassa. Lauhdepumput olivat pumpanneet tänä ajanjaksona 22,08 tuntia, jolloin tunnissa pumpattu lauhdemäärä on

$$\dot{V}_2 = \frac{4,4 \frac{m^3}{h} * 22,08h}{77h} = 1,262 \frac{m^3}{h}$$

Koejärjestelyn tuloksista voidaan todeta, että voimalaitoksella syntyy lauhdetta 0,88 - 1,26 t/h riippuen voimalaitoksen ajotilasta. Saatujen lauhdemäärien keskiarvo on 1,07 t/h. Tästä voidaan todeta, että Spirax Sarcon vuonna 2012 tekemässä energiakatselmuksessa arvioitu lauhdemäärä 1 t/h pitää paikkaansa.

#### 4.2 Lauhdesäiliö ja lauhdepumput

Voimalaitoksen lauhdesäiliö (kuva 11) sijaitsee laitoksen alakerrassa, mistä johtuen lauhdeet virtaavat siihen ilman ylimääräistä pumppausta. Lauhdesäiliö on malliltaan avoin eikä siitä ole piirustuksia. Säiliötä ei ole eristetty, koska ennen siinä ei ollut paisuntahöyryn talteenottoa. Säiliö on muodoltaan lieriö ja sen halkaisija on 1,5 m ja pituus 3 m. Tästä voidaan laskea lieriön tilavuuden kaavalla säiliön tilavuuden olevan riittävällä tarkkuudella 5,3 m<sup>3</sup>. Lauhdesäiliössä on seuraavat valmiit liitännät:

- 2 kpl DN 40
- 5 kpl DN 100
- 2 kpl DN 25
- 2 kpl DN 50
- Vapaana 1 kpl DN 40



Vapaa liitäntä on peräisin Tampella-kattilan öljypolttimen lauhteenpoistolinjasta. Polttimella poltettiin aikaisemmin raskasta polttoöljyä, jota lämmitettiin omakäyttöhöyryllä. Lämmityksestä syntynyt lauhde poistettiin DN 40-putkilinjaa pitkin lauhdesäiliöön. Kyseinen lämmitysjärjestelmä ei ole enää käytössä, minkä vuoksi linjassa olevaa DN 40-putkiyhdistettä voi tarvittaessa käyttää.



Kuva 11. Voimalaitoksen lauhdesäiliö ja lauhdepumput

Voimalaitoksen lauhdepumput ovat Lowaran 3SV07N007T/D-mallisia keskipakopumppeja, joiden teho on 0,75 kW ja maksiminostokorkeus 52 m. Suuri osa nesteen siirtoon tarkoitetuista pumpuista ovat keskipakopumppuja, koska ne sopivat moniin eri käyttökohteisiin (Kaukolämmön käsikirja 2006). Voimalaitoksen lauhdepumput on kytketty rinnan, ja ne toimivat lauhdesäiliön pinnanmittauksen ohjaamana. Lauhdepumppujen painepuolelle on asennettu takaiskuventtiilit, jotta lauhde ei pääse kulkemaan väärään suuntaan pumpun läpi.

Lauhesäiliöön on rakennettu jäähdytysvesilinja, joka mahdollistaa lauhdesäiliön jäähdyttämisen, jos lauhde kiehuu säiliössä. Kiehumista on esiintynyt tilanteissa, joissa 28 barin höyrylinjassa oleva lauhteenpoistin on vuotanut, ja höyry on virrannut lauhdesäiliöön. Kiehuminen aiheuttaa mekaanisia rasituksia säiliössä ja putkistoissa, joita pyritään estämään lisävesilinjasta tuodulla jäähdytysvedellä.

#### 4.3 Turbopumput

Suomen Sokerin voimalaitoksella on kaksi höyrykäyttöistä syöttövesipumppua, joita kutsutaan turbopumpuiksi. Pumput toimivat Tampella arinakattilasta saatavalla 23 - 28 barin tulistetulla höyryllä. Höyryn energia muutetaan pumpun pyörimisen kautta työksi. Pumpuissa höyryn paine laskee 1,85 bariin, minkä jälkeen höyry johdetaan prosessihöyrylinjaan tai voimalaitoksen katolle.

Voimalaitoksella pumppuja käytetään nykyään harvoin, koska ei ole kustannustehokasta pumpata syöttövedettä höyryllä. Tämä johtuu pienien höyryturbiinien huonosta hyötysuhteesta. Lisäksi käytettäessä 28 barin höyryä syöttöveden pumppaukseen, pienee höyryturbiinin läpi virtaavan höyryn määrä ja sähköteho.

Turbopumppuja tärkein tehtävä voimalaitoksella on taata arinakattilan syöttöveden saanti. Arinakattilalta edellytetään riippumatonta vedensyöttöä sähköhäiriön aikana, sillä arinalla olevaan polttoaineeseen on varastoitunut huomattava määrän lämpöenergiaa. Tällöin keittoputkissa oleva vesi jatkaa höyrystymistä vielä pitkään, ja lieriöön on saatava syöttövedettä kuivakeiton estämiseksi. Tällöin turbopumpuilla on mahdollista tuottaa syöttövedettä kattilaan ja varmistaa kattilan turvallinen alasajo, vaikka sähkötoimiset syöttövesipumput eivät toimi. (Koivisto 2016.)

#### 4.4 Kerättävät lauhteet

Voimalaitoksella lauhdetta syntyy höyryä käyttävistä laitteista sekä höyryputkien vesityksistä. Lauhde kerätään lauhdesäiliöön, josta se pumpataan takaisin syöttövesisäiliöön. Lauhdetta säiliöön virtaa keskimäärin 1,07 t/h, ja normaaliolosuhteissa lauhdesäiliön lämpötila on 90 -100 °C välillä. Kerättävä lauhde virtaa lauhdesäiliöön neljän lauhteenkeruulinjan kautta. Lisäksi lauhdesäiliössä on jäähdytysvesilinja ja paisuntahöyryn

talteenottoa varten hönkälämmönvaihdin. Nämä kuusi linjaa ja lauhteenpoistimet on numeroitu työn yhteydessä luotuun PI-piirrookseen.

Lauhteenkeruulinja 1 sijaitsee voimalaitoksen alakerrassa, ja se on tehty kahdesta putkikoosta. Linja on säiliöltä höyryluvon poistolinjalle kokoa DN 50, ja siitä eteenpäin kokoa DN 25. Lauhdetta siihen muodostaa voimalaitokselta sokerinpuhdistamolle lähtevässä päähöyrylinjassa sijaitseva lauhteenpoistin 0136, luvu 0138, Mildola Oy:n hajukaasunlämmönvaihtimen lauhteenpoistin 0139 sekä turbopumppujen korkeapainehöyrylinjassa sijaitseva lauhteenpoistin 0152.

Voimalaitoksen kivihilikattilassa on käytössä höyryluvo, joka lämmittää kattilan palamisilmaa omakäyttötukista johdetulla 1,85 barin höyryllä. Palamisilmaa lämmittäessä höyry lauhtuu, ja se poistetaan lauhteenpoistimella 0138.

Turbopumput sijaitsevat voimalaitoksen tasolla +25, ja ne saavat käyttövoimansa 28 barin höyrystä. Pumppujen painepuolen 28 barin höyrylinjassa on pisanerotin ja lauhteenpoistin 0152. Lisäksi pumppujen matalapainepuolella sijaitsevat lauhteenpoistimet 0165 ja 0166, jotka poistavat matalapaineisen höyryn lauhteet suoraan viemäriin.

Hajukaasunlämmitin sijaitsee voimalaitoksen tasolla +25, ja siinä lämmitetään merivesijähdyttimeltä tuleva hajukaasu. Lämmittimen toiminnassa on ilmennyt vikoja, sillä lämmönsiirrin on suunniteltu lämmittämään hajukaasun 58 asteiseksi, mutta tällä hetkellä kaasu lämpenee vain noin 50 °C:seen. Lämmönvaihtimessa lauhtuva höyry poistetaan uimurilauhteenpoistimella 0139.

Lauhteenkeruulinja 1:n toiminnassa on voimalaitoksella havaittu ongelmia, jotka ovat ilmenneet lämmönvaihtimen toiminnassa ja putkien vesi-iskuina. Tästä syystä työssä tutkittiin, aiheuttaako lauhteenpoisto kyseiset ongelmat.

Mildola Oy:n lämmönvaihtimessa lämmitetään hajukaasuja 1,85 barin omakäyttöhöyryllä. Höyry johdetaan lämmönvaihtimelle DN 25-putkea pitkin, ja sen määrää säädetään säätöventtiilillä 302-TICA652. Lämmönvaihtimessa lauhtuva höyry poistetaan DN 25-pistolinjaa pitkin lauhteenkeruulinjaan 1.

Ensimmäinen ongelma lauhteenkeruulinjassa on sen rakenne. Lauhteenkeruulinja ja osa poistolinjoista on kallistettu väärin (kuvat 12 ja 13). Lauhdeputket tulee myötäkallistaa 1 - 0,5 cm/m lauhdesäiliötä kohti, jottei lauhde pääse kerääntymään putkistoihin (Huhtinen 2008: 84). Lisäksi lauhteenkeruulinjaan liittyvät poistolinjat on liitetty sivulta, vaikka ne tulisi aina liittää yhdysputkeen ylhäältä päin (kuva 13). (Steam Engineering Tutorials 2016.)



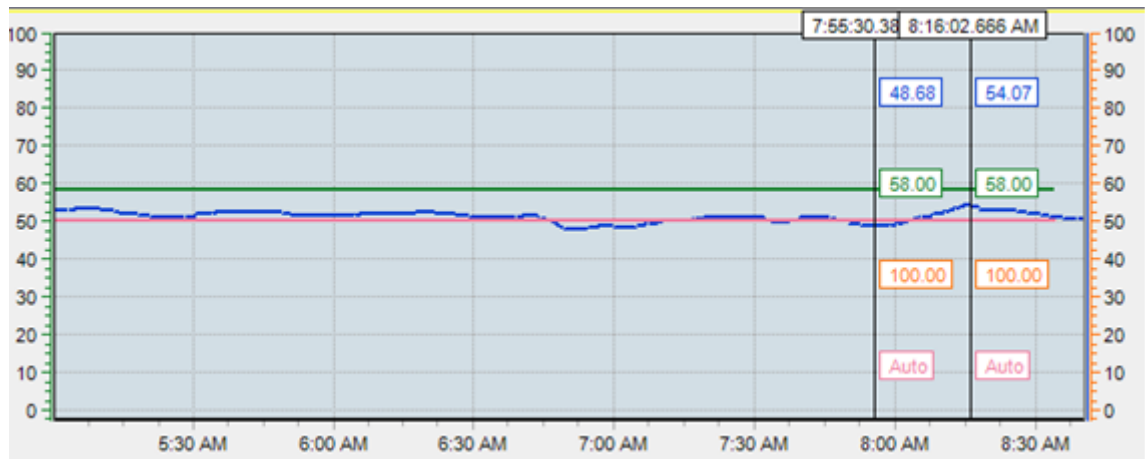
Kuva 12. Mildola Oy:n hajukaasunlämmönvaihtimen poistolinja



Kuva 13. Lauhteenkeruulinjan 1 kallistus ja putkiliitos

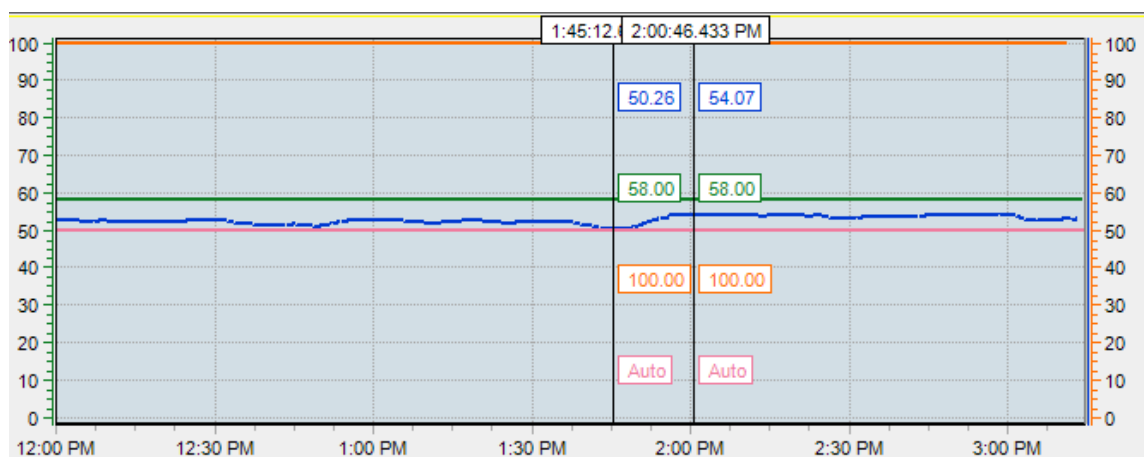
Lauhteenkeräyslinjaan poistetaan turbopumppujen korkeapainelinjassa sijaitsevalta pisanerottimelta 28 barin lauhdetta, vaikka muut lauhteenkeruulinjaan tulevat lauhdetet ovat 1,85-barisia. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia paisuntahöyryn kanssa, sillä korkeapaineisen lauhteen tullessa ilmakehän paineeseen, se muodostaa suuren määrän paisuntahöyryä.

Lämmönvaihtimen lauhteenpoistumista testattiin 26.1.2016 koejärjestelyllä, jossa irrotettiin lämmönvaihtimen poistolinjassa sijaitseva laippaliitos. Tällöin lauhde pääsi virtaamaan vapaasti voimalaitoksen viemäriin kulkematta lauhteenkeruulinjan 1 kautta. Voimalaitoksen automaatiojärjestelmästä saadusta historiatrendistä (kuva 14) voidaan huomata, että hajukaasun lämpötila nousi lämmönvaihtimen jälkeen klo 7.55 - 8.16 välisenä aikana 48,7 °C:sta 54,1 °C:seen. Tämän jälkeen lämpötila ei enää noussut, ja avattu laippaliitos suljettiin, minkä jälkeen lämpötila alkoi välittömästi laskea kohti 50 °C:ta.



Kuva 14. Lämmönvaihtimen toiminnan koe 1

Koe toistettiin samana päivänä klo 13.45 (kuva 15), jolloin oli huomattavissa samanlainen lämpötilanmuutos hajukaasuissa lämmönvaihtimen jälkeen.



Kuva 15. Lämmönvaihtimen toiminnan koe 2

Näiden kahden kokeen tulosten perusteella voitiin todeta, että Mildolan hajukaasunlämmittimen huono toiminta saattaa hyvinkin johtua ongelmista lauhteenpoistossa. Lauhdeputkissa havaitut rakenteelliset ongelmat saattavat aiheuttaa kyseisen virheellisen toiminnan. Kuitenkin epäilyn aiheina olivat lisäksi lauhdeputkien mitoitukset. Hajukaasunlämmönvaihtimen jälkeisen vesitys- ja poistolinjan mitoituksien tarkistamiseksi oli lauteenkeruulinjassa virtaavien lauhdeiden määrät ensin selvitettävä. Aikaisemmin todettiin, että voimalaitoksen lauhdelinjoissa ei ole virtausmittauksia, joten syntyvien lauhdeiden määrittämiseen oli käytettävä arvioita ja laskuja.

Voimalaitoksella syntyvistä lauhdeista suuri osa johdetaan lauhdesäiliöön lauhteenkeruulinja 1:n kautta. Lauhteenkeruulinjaan virtaa lauhdetta luvolta ja hajukaasunlämmönvaihtimelta, jotka ovat ainoita huomattavia määriä lauhdetta tuottavia laitteita voimalaitoksella. Laitoksen muut lauhteenpoistolinjat ovat pääasiassa höyryputkien vesityksiä varten, eikä höyryputkista lauhdu merkittäviä määriä lauhdetta. Laskujen perustana oletettiin, että noin 90 % lauhdeista virtaavan lauhteenkeruulinja 1:n kautta. Tämän jälkeen laskettiin luvon ja Mildolan hajukaasunlämmittimen lauhdemäärät.

Lauhdemäärien laskeminen tehtiin 4.3.2016 voimalaitoksen ollessa ajotilassa. Tällöin lauhdesäiliöön syntyy noin 1,26 m<sup>3</sup>/h lauhdetta. Laskuissa on käytetty seuraavia arvoja:

Syntyvä lauhde $\dot{V}_{lauhde}$	1,26 m <sup>3</sup> /h
Lauhteen ominaistilavuus $v_{lauhde}$	0,00104 m <sup>3</sup> /kg (150 °C)
Tuloilman lämpötila $T_{in}$	36 °C
Polttoilman lämpötila luvon jälkeen $T_{out}$	113 °C
Ilman referenssilämpötila	77 °C
ilman ominaislämpökapasiteetti $c_{pi}$	1,01 kJ/kg·C
Ilman tiheys $\rho_i$	0,9994 kg/m <sup>3</sup>
Polttoilman virtaus $\dot{V}_{ilma}$	26900 m <sup>3</sup> /h
Lauhteen lämpötila $T_{lauhde}$	152 °C
Lauhdejärjestelmän paine $P_1$	1 bar
Prosessihöyryn paine $P_2$	1,85 bar
Prosessihöyryn lämpötila $T_1$	155 °C
Omakäyttöhöyryn entalpia $h_1$	2775 kJ/kg
Kylläisen lauhteen entalpia $h_2$ ( $h'1bar$ )	418,9 kJ/kg

Lauhteenkeräyslinjaan 1 palautuva lauhde:

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} \quad (1)$$

$$\dot{m}_{lauhde} = \frac{1,26 \frac{m^3}{h} * 0,9}{0,00104 \frac{m^3}{kg}} = 1092 \text{ kg/h}$$

Polttoilmamäärä:

$$\dot{m}_{pilma} = \frac{26900 \frac{m^3}{h}}{3600 \text{ s}} * 0,9994 \frac{kg}{m^3} = 7,47 \frac{kg}{s}$$

Luvon teho  $Q_{luvo}$ :

$$Q_{luvo} = \dot{m} * c_p * \Delta T \quad (2)$$

$$Q_{luvo} = 7,47 \frac{kg}{s} * 1,01 \frac{kJ}{kg * C} * (113 \text{ } ^\circ\text{C} - 36 \text{ } ^\circ\text{C}) = 581 \text{ kW}$$

Höyryluvun teho  $Q_{luvo}$ :

$$Q_{luvo} = \dot{m}_h * (h_1 - h_2) \quad (3)$$

Palamisilman lämmittämiseen tarvittavaan höyrymäärä:

$$\dot{m}_h = \frac{Q}{(h_1 - h_2)} = \frac{581 \text{ kW}}{(2775 - 418,9) \text{ kJ/kg}} = \frac{0,245 \text{ kg}}{s} = 887,7 \text{ kg/h}$$

Höyryluvulta lauhtuu 887,7 kg lauhdetta tunnissa. jolloin lauhteenkeruulinjassa virtaava muu lauhde:

$$\dot{m} = 1092,1 \frac{kg}{h} - 887,7 \frac{kg}{h} = 204,4 \frac{kg}{h}$$

Oletetaan, että suurin osa kyseisestä lauhteesta syntyy Mildolan hajukaasunlämmittimestä, jolloin sitä syntyy noin 200 kg/h. Kyseisellä lauhdemäärällä on mitoitettu tarvittava putkikoko koko lauhteenkeruulinjalle 1 käyttäen liitteenä 4 olevaan lauhdeputkien mitoitustaulukkoa.

Mitoitustaulukossa valitaan höyrylinjan paineeksi 1,85 bar ja lauhdejärjestelmän paineeksi ilmanpaine. Näillä arvoilla etsitään 200 kg/h lauhteelle putkikoko, joka on DN 20:n ja 25:n välissä. Lauhteenkeruulinjassa 1 lauhdeputket eivät laske lauhdesäiliötä kohti. Tästä johtuen lauhdelinja on todennäköisesti täynnä vettä ja tulee käyttää taulukossa olevaa ylempää arvoa, joka on DN 25 (The Steam and Condensate Loop 2007: 14.3.8.)

Samalla tavalla tarkastamalla huomataan lauhteenkeruulinjan 1 alkuosan (DN 50) olevan myös oikein mitoitettu. Näistä tuloksista voidaan todeta lauhdeputkien olevan oikein mitoitettuja lauhteenkeruulinjassa 1.

Lauhteenkeruulinja 2 sijaitsee voimalaitoksen alakerrassa ja siihen muodostuu lauhdetta useasta kohteesta. Mildolan tehtaalle tuotetaan 4,5 barin höyryä normaalitilassa höyryejektorilla. Ejektori sijaitsee tasolla +25, ja sen jälkeen on höyrylinjassa ruiskutusyksikkö 302-TICZA638, joka kontrolloi tuotetun höyryn lämpötilaa. Ruiskutusyksikköä ennen sijaitsee lauhteenpoistin 0142, jonka jälkeen poistin 0143. Näiden lauhteenpoistimien lauhdeet yhdistyvät samaan poistolinjaan.

Tampella-kattilan 28 barin höyrystä on mahdollista valmistaa 4,5 barin höyryä myös reduktioventtiilillä. Ennen reduktioventtiiliä 302-PICA219 on höyryputkessa lauhteenpoistolinja, jossa on kaksi käsiventtiiliä. Näillä venttiileillä voi tarvittaessa käsin poistaa lauhdetta kyseisestä linjasta. Itse reduktioventtiili sijaitsee tasolla +25, jonka jälkeisessä höyrylinjassa sijaitsee lauhteenpoistin 0145. Nämä lauhteenpoistolinjat yhdistyvät lauhteenpoistimien 0142 ja 0143 poistolinjaan, joka yhdistyy lauhteenkeruulinjaan 2.

Lauhteenkeruulinjaan 2 liittyy myös poistolinja, johon virtaa lauhdetta tasolla +30 sijaitsevilta lauhteenpoistimilta. Turbiinin tuorehöyryn 28 barin linjassa sijaitsee lauhteenpoistin 0150, johon liittyy ennen Tampella-kattilan pääsulku sijaitseva lauhteenpoistolinja. Tässä linjassa on kaksi käsiventtiiliä, jotka on asennettu pääsulkuventtiiliä edeltävän höyryputken lauhteenpoistoa varten.



Voimalaitoksen syöttövesisäiliö-tasolla +30 sijaitsevat Mildola Oy:lle lähtevien höyrylinjojen säätöventtiilit. Mildolan höyrylinjan pääsulkuventtiilin jälkeen sijaitsee kaksi lauhteenpoistinta 0147 ja 0151. Samalla tasolla yhdistyy Bosch- ja Rosenlew-kattiloiden Mildolan höyrylinja Tampella-kattilan Mildolan höyrylinjaan. Höyrylinjaa käytetään silloin, kuin pääkattila Tampella ei ole käytössä ja tarvitaan 4,5 barin prosessihöyryä. Tämän höyrylinjan säätöventtiiliä 302-PV631 ennen sijaitsee lauhteenpoistin 0149, ja ennen linjan pääsulkuventtiiliä sijaitsee lauhteenpoistin 0148. Näiden poistimien lauhdeet yhdistyvät lauhteenpoistimien 0147 ja 0151 poistolinjaan. Tässä poistolinjassa on vielä lauhteenpoistin 0153 ja siihen liittyy lauhteenpoistimen 0150 poistolinja. Tämä lauhteenpoistolinja, johon yhdistyvät useiden poistimien lauhdeet, kulkee voimalaitoksen alakerrassa olevaan lauhdenkeruulinjaan 2. Lauhteenpoistin 0153 on asennettu jälkikäteen, ja sen tarkoituksena on vuototapauksessa estää lauhteenpoistimen 0150 linjasta virtaavan korkeapaineisemman 28 bar höyryn virtaus väärään suuntaan.

Turbiiniin 28 barin tuorehöyrylinjassa voimalaitoksen alakerrassa sijaitsee kaksi lauhteenpoistinta 0133 ja 0134. Näiden lauhteenpoistimien tarkoituksena on estää veden pääsy turbiiniin, sen turbiinin käynnistysvaiheessa. Lauhteenpoistimien 0133 ja 0134 poistolinjaan liittyy turbiinin vastapainepuolella prosessihöyrylinjassa sijaitsevan lauhteenpoistimen 0137 poistolinja. Tämä lauhteenpoistolinja liittyy lauhdenkeruulinjaan 2.

Lisäksi lauhdenkeruulinjaan 2 liittyy vielä poistolinja, joka on tarkoitettu lauhteenpoistamiseen Rosenlew-kattiloiden prosessihöyrylinjassa olevan paineensäätöventtiiliä 302-PIC221 edeltävästä höyrylinjasta. Lauhdenkeruulinjan päädyssä on käsiventtiili, josta voi ohjata lauhden lauhdesäiliön sijaan viemäriin.

Lauhdenkeruulinjassa 2 havaittiin samanlaisia ongelmia, kuin lauhdenkeruulinjassa 1. Voimalaitoksen alakerrassa sijaitsevia lauhdeputkia ei ole myötäkallistettu lauhdesäiliöön päin, kuten kuvasta 16 voidaan huomata. Tämän lisäksi lauhdenkeruulinjaan liittyviä lauhdelinjoja ei ole liitetty ylhäältäpäin.



Kuva 16. Lauhteenkeruulinja 2

Lauhteenkeruulinja 3 on Bosch-kattilan lauhteenpoistimien keräilylinja. Lauhdetta kerätään tasolla +25 sijaitsevistä höyrylinjoista. Bosch-kattilassa tuotettu höyry on 8 - 9,5 barin paineista ja sitä on mahdollista ohjata kahteen eri käyttökohteeseen. Ensimmäinen vaihtoehto on ohjata höyry suoraan 1,85 barin prosessihöyrylinjaan paineensäätöventtiin 302-PIC503 kautta. Venttiin edessä sijaitsee lauhteenpoistin 0156 ja prosessihöyrylinjan pääsulkuventtiin edessä lauhteenpoistin 0157. Bosch-kattilalla on mahdollista tuottaa höyryä Mildola Oy:lle Rosenlew-kattiloiden höyrylinjan kautta. Tätä tarkoitusta varten on rakennettu yhdyslinja, joka yhdistää Bosch- ja Rosenlew-kattiloiden höyrylinjat. Tässä yhdyslinjassa sijaitse lauhteenpoistin 0155. Lauhteenpoistimien 0155,0156 ja 0157 poistolinjat yhdistyvät lauhteenkeruulinjaan 3. Huomioitavaa on, että Bosch-kattilan lauhteenpoistimiin ei ole asennettu By Pass eli ohituslinjaa (kuva 17).



Kuva 17. Bosch-kattilan lauhteenpoistin 0157

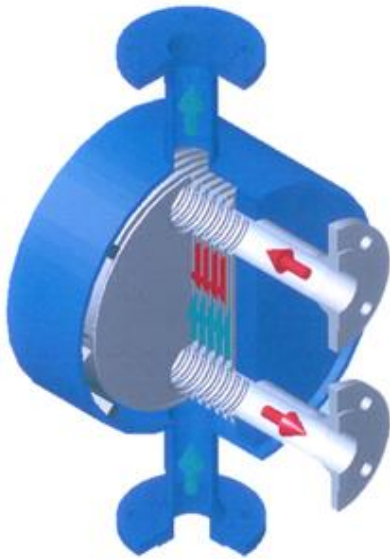
Lauhteenkeruulinjaan 4 lauhdetta syntyy syöttövesisäiliö-tasolla +30 sijaitsevasta terminen kaasunpoiston hönkälämmönvaihtimesta. Kaasunpoisto tapahtuu kaasunpoistotornilla, joka on sijoitettu syöttövesisäiliön päälle. Kaasunpoistimet rakennetaan usein syöttövesisäiliön päälle torneiksi. Torniin johdetaan omakäyttöhöyryä alaosasta ja lisävesi ylhäältä. Lisävesi tippuu levyjen kautta ja virtaa samalla höyryn läpi, jolloin se höyrystyy ja siitä poistuu kaasuja. Terminen kaasunpoisto poistaa lisävedestä happea ja CO<sub>2</sub>:sta. Kaasunpoistimen yläpäässä on paisuntahöyrylle putki, joka johtaa höyryn lämmöntalteenoton kautta katolle. (Huhtinen 1994: 305.)

Lämmöntalteenotto tapahtuu hönkälämmönvaihtimessa, joka lämmittää syöttövesisäiliöön tulevaa lisävettä. Lämmönvaihtimessa lauhtuvasta paisuntahöyrystä muodostuva lauhde poistuu lauhteenpoistimen 0154 kautta lauhdesäiliöön (kuva 18). Hönkälämmönvaihtimen lauhteenpoistin on putkikokoa DN 40 ja lauhdelinja kokoa DN 50. Lauhteenpoistin on alkuperäinen eikä toiminnasta ei ole varmuutta. Poistinta ei voinut irrottaa voimalaitoksen ollessa ajotilassa, joten sen toimintaa ei pystytty testaamaan.



Kuva 18. Hönkälämmönvaihtimen lauhteenpoistin 0154

Voimalaitoksen lauhdesäiliössä muodostuva hönkähöyry ohjataan säiliön vieressä olevaan hönkälämmönvaihtimeen (kuva 19). Vaihdin lämmittää syöttövesisäiliöön pumpattavaa lisävettä. Hönkälämmönvaihdin on Vahterus Oy:n valmistama malliltaan hitsattu levylämmönsiirrin, jonka teho on 70 kW. Lämmönvaihtimeen tuleva hönkähöyry ohjataan voimalaitoksen katolle. Hönkähöyry sisältää paljon energiaa, ja hyödyntämättömänä sen mukana menetetään paljon lämpö-energiaa (Huhtinen 2008: 85).



Kuva 19. Lauhdesäiliön hönkälämmönvaihdin (Suomen Sokeri Oy 2016)

#### 4.5 Pohjapuhallussäiliöön kerättävät lauhteet

Toisena osana voimalaitoksen lauhdejärjestelmää ovat pohjapuhallussäiliöön kerättävät ja viemäritävät lauhteet. Osaa voimalaitoksella syntyvistä lauhteista ei kerätä talteen, koska niissä on tai niissä epäillään olevan epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia ei haluta takaisin kattiloiden kiertoan eikä turbiiniin, joten niitä sisältävät lauhteet johdetaan pohjapuhallussäiliöön tai viemäriin. Pohjapuhallussäiliö sijaitsee voimalaitoksen alakerassa, ja sinne tulevat lauhteet johdetaan viemäriin. Pohjapuhallussäiliöön laskee viisi lauhde- tai tyhjennyslinjaa. Pohjapuhalluslinjat on numeroitu lauhdejärjestelmästä luotuun PI-kaavioon.

Pohjapuhalluslinjaan 1 lauhdetta muodostavat Tampella-kattilan lieriöiden ja ekon tyhjennyslinjat. Kattilassa on ylä- ja alalieriö, ja niissä kummassakin on kaksi tyhjennyslinjaa, joissa sijaitsee kaksi käsisulkuventtiiliä. Kaikki neljä tyhjennyslinjaa yhdistyvät pohjapuhalluslinjaan 1, josta ne virtaavat pohjapuhallussäiliöön.

Pohjapuhalluslinja 2 on syöttövesisäiliön tyhjennyslinja. Linjan avulla voi laskea syöttövesisäiliöstä vettä pois esimerkiksi korjaustöiden ajaksi. Linjaan yhdistyy myös vesilukkosäiliön tyhjennyslinja. Voimalaitoksen syöttövesisäiliössä ei ole varoventtiiliä, vaan paineen nousun varolaitteena on vesilukko.

Kolmanteen pohjanpuhalluslinjaan yhdistyvät kaikki tasolla +25 sijaitsevat Rosenlew-apukattiloiden lieriöiden tyhjennyslinjat ja nuohoimien lauhteenpoistolinjat. Rosenlew 1:n nuohoimien lauhteenpoistimet 0162 ja 0163 on asennettu rinnan, kuten myös Rosenlew 2:n lauhteenpoistimet 0161 ja 0162. Rosenlew-apukattiloissa on nuohoimet, koska ne ovat alun perin toimineet raskaalla polttoöljyllä. Kuitenkin tällä hetkellä kattiloissa poltetaan kevyttä polttoöljyä, ja ne ovat harvoin käytössä uuden Bosch-apukattilan valmistuttua 2012. Rosenlew 1:n ja 2:n nuohoimien lauhteenpoistimet ovat iäkkäitä, eikä niiden toiminnasta ole takuuta.

Rosenlew-kattiloissa ei normaaliolosuhteissa mikään laite tuota lauhdetta tai pohjapuhallusvettä, koska ne eivät ole käytössä. Kuitenkin kattilan lauhde- ja tyhjennysputket ovat pinnalta mitattuina 60 – 70 °C, vaikka putkien pitäisi olla tyhjiä. Lämpö viittaa siihen, että niihin virtaa höyryä tai kuumaa vettä jostain. Vettä putkiin ei voi virrata, koska Rosenlew-kattiloiden syöttövesipumput eivät ole käytössä, eikä niiden lieriöistä vähene

vesi. Tästä johtuen putkia lämmittää todennäköisesti paisuntahöyry, joka syntyy pohjapuhallussäiliössä.

Neljänteen pohjapuhalluslinjaan virtaa ulospuhallusvettä syöttövesisäiliötasolla +30 sijaitsevasta ulospuhallussäiliöstä. Kattiloiden lieriössä on ulospuhallusputki, josta höyry-vesipinnan alapuolelta puhalletaan vettä lieriössä vallitsevan paineen avulla ulospuhallussäiliöön. Ulospuhalluksella pyritään vähentämään kattilaveden epäpuhtauksia. Johtokyky pyritään pitämään DENÅ:n vesisuositusten mukaisena. DENÅ on yhteispohjoismaalainen ohjeistus kattilalaitoksen vesille eri paineluokittain ja kattilatyypeittäin. Ohjeet pohjautuvat saksalaisen VGB:n kokemuksiin ja laatuvaatimuksiin. (Huhtinen 1994: 300).

Kaikissa voimalaitoksen höyrykattiloissa on ulospuhalluslinja, mutta vain Tampella-kattilassa on ulospuhallukseen automaattinen säätöventtiili. Tätä säätöventtiiliä ohjaa mittaus 302-QICA311, joka mittaa kattilaveden johtokykyä. Tampella-kattila kohdalla sallittu johtokyky on alle 350 mS/m. Ulospuhallussäiliöön kerättävä vesi sisältää epäpuhtauksia, joten säiliössä erotellaan höyry vedestä. Ulospuhallussäiliöstä höyry ohjataan syöttövesisäiliöön, mutta vesi virtaa pohjapuhallussäiliöön.

Ulospuhallussäiliöstä ulospuhallusvesi laskee virtausmittauksen 302-FIQ282 ja ulospuhalluksen säätöventtiilin 302-LIC227 kautta Alfa Lavalin tasolla +30 sijaitsevaan lämmönvaihtimeen. Kyseisellä lämmönvaihtimella on ollut tarkoitus lämmittää lisävettä, mutta se ei ole ollut käytössä, vaihtimen vuodon vuoksi. Tällä hetkellä lämmönvaihdin on ohitettu ja ulospuhallusvesi virtaa putkilinjaa pitkin pohjapuhallussäiliöön.

Viimeiseen eli viidenteen pohjapuhalluslinjaan tulee lauhdetta Tampella-kattilan nuohoilta ja toisen turbopumpun vaihdelaatikoista. Nuohoimia käytetään kattiloissa lämpöpintojen puhdistukseen. Lämpöpintoihin kiinnittynyt lika ja kerrostumat heikentävät lämmönsiirtoa huomattavasti. Vaikutus on suurin tiheissä lämpöpinnoissa, kuten ekossa, sillä kerrostumat haittaavat lämmönsiirtoa ja savukaasujen virtausta (Huhtinen 1994: 214.)

Tampella-kivihiihikattilassa on yhteensä kahdeksan nuohointa, joista kolme sijaitsee ekossa, yksi tulipesässä, kaksi tulistimien solassa ja kaksi tulistimilla. Lisäksi kattilassa on yksi ääninuohoin. Muut nuohoimet ääninuohointa lukuunottamatta toimivat höyryllä, jota kuluu nuohouksen aikana yhteensä noin 2.5 t/h. Ennen nuohouksen aloittamista

lämmitetään nuohoushöyrylinja, jonka päässä sijaitsevat rinnankytketyt lauhteenpoistimet 0158 ja 0159. Nuohoushöyrylinjasta poistuva lauhde ja höyry virtaavat pohjapuhallussäiliöön (kuva 20).



Kuva 20. Tampella-kattilan lauhteenpoistimet 0158 ja 0159 sekä venttiili 302-HC310

Toisessa voimalaitoksen turbopumpussa syntyy vaihdelaatikosta lauhdetta. Tätä lauhdetta ei kerätä talteen, koska siinä voi suurella todennäköisyydellä olla öljyä. Turbopumpun vaihdelaatikkolauhde poistetaan Tampella-kattilan nuohoimien poistolinjaan lauhteenpoistimen 0164 kautta.

## 5 Voimalaitoksen lauhdejärjestelmän kehittäminen

Lauhdejärjestelmän kartoitus antoi voimalaitoksen lauhdejärjestelmän tilasta tarkan kuvan. Järjestelmässä havaittiin muutamia ongelmia ja kehityskohteita. Suurin osa lauhdejärjestelmän ongelmista aiheutui lauhdeputkien vääristä kallistuksista ja liitoksista. Lisäksi voimalaitoksella syntyvät eripaineiset lauhteet oli yhdistetty samoihin keruulinjoihin. Näistä syistä johtuen lauhdeputkistoissa esiintyi vesi-iskuja ja ongelmia paisuntahöyryn kanssa. Voimalaitoksen lauhdesäiliön ja pumppujen huomattiin olevan tarkkailematon yksikkö, jonka toiminnassa oli selviä puutteita.

Lisäksi kartoituksessa havaittiin useita yksittäisiä kehittämiskohteita, kuten mahdolliset energian talteenotto-kohteet. Tällaisia olivat voimalaitoksen käyttämän höyrynjakotukin lauhteenpoisto ja lauhdesäiliön eristäminen. Lauhdejärjestelmässä huomattiin myös lauhdesäiliön hönkälämmönvaihtimen alimitoitus sekä osasta lauhteenpoistimia puuttuivat ohitusventtiilit. Havaittuihin ongelmiin ja kehityskohteisiin laadittiin korjaussuunnitelmat ja kehitysratkaisut.

### 5.1 Lauhteenkeräys painetasoittain

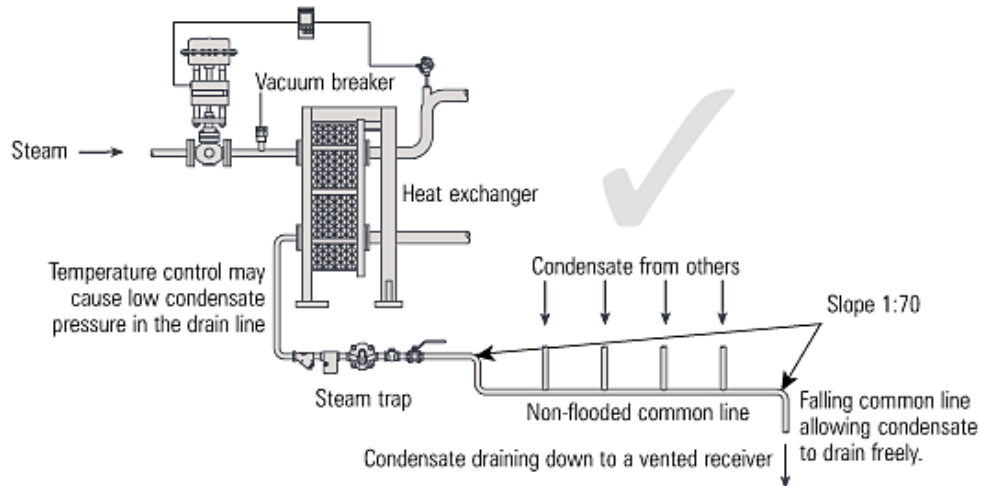
Lauhdejärjestelmän vesi-iskujen ja paisuntahöyryongelmien ratkaisemiseksi katsottiin järkeväksi erotella eripaineiset lauhteet tarkemmin toisistaan. Erottelu toteutetaan siten, että 1,85, 4,5 ja 28 barin lauhteet johdetaan erillisissä linjoissa lauhdesäiliöön. Kaikilta lauhteelta tuottavilta komponenteilta ei ole mahdollista rakentaa omaa lauhteenpoistolinjaa lauhdesäiliöön. Voimalaitoksella ei ole tilaa tällaiselle järjestelylle, eikä se olisi taloudellisesti kannattavaa. Tästä syystä aivan kaikkien eripaineisten lauhteiden erottelua ei kannattanut toteuttaa. Kaikki korjattavat tai uudet lauhdelinjat tulee rakentaa tässä työssä esitettyjen lauhdelinjojen rakennus- ja lauhteenpoistoperiaatteiden mukaisesti.

Uudesta lauhdejärjestelystä luotiin liitteen 3 mukainen PI-kaavio AutoCAD P&ID -ohjelmalla. Kaavio on tehty aiemmin mallinnetun nykyisen lauhdejärjestelmän PI-kaavion pohjalta (liite 2). Kaaviossa on järjestelty lauhdelinjat uudestaan ja lisätty uusia lauteenkeruulinjoja.



### 5.1.1 Lauhteenkeruulinja 1

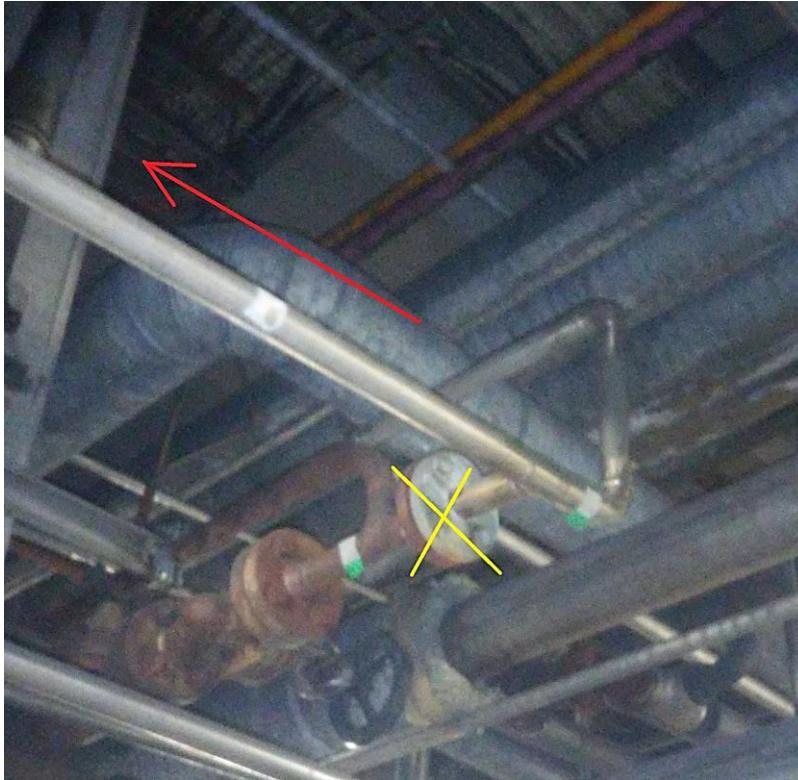
Kartoituksessa tutkittiin lauhteenkeruulinjaa 1 ja havaittiin ongelmia. Eripaineiset lauhteet ja lauhdeputkien kallistusvirheet aiheuttavat vesi-iskuja ja ongelmia paisuntahöyryn kanssa. Oli myös syytä epäillä, että Mildola Oy:n hajukaasunlämmönvaihtimen huono toiminta johtuisi näistä vioista. Lauhteenkeruulinjan ongelmien korjaamiseksi esitetään kuvan 21 mukaista tapaa.



Kuva 21. Lämmönvaihtimet ja lauhteenpoisto (Steam Engineering Tutorials 2016)

Kuvassa 21 on esitetty, miten lauhteenkeruulinja tulee rakentaa laskevana lämmönvaihtimelta, ja kuinka siihen tulee liittää muut poistolinjat. Lämmönvaihtimen lauhteenpoisto toteutetaan nykyisellä uimurilauhteenpoistimella, sillä uimuripoistimet ovat yleisesti käytettyjä lämmönvaihtimien yhteydessä (The Steam and Condensate Loop 2007: 11.6.2). Lauhteenkeruulinja 1 on putkikooltaan vanhassa järjestelmässä DN 50 höyryluvon poistolinjalle asti, minkä jälkeen se supistuu kokoon DN 25 ennen lauhteenpoistimia 0136 ja 0138. Insinööriyön kartoitusosiossa laskettiin, että lauhteenkeruulinjan 1 putket on mitoitettu oikein, joten niiden kokoa ei tarvitse muuttaa.

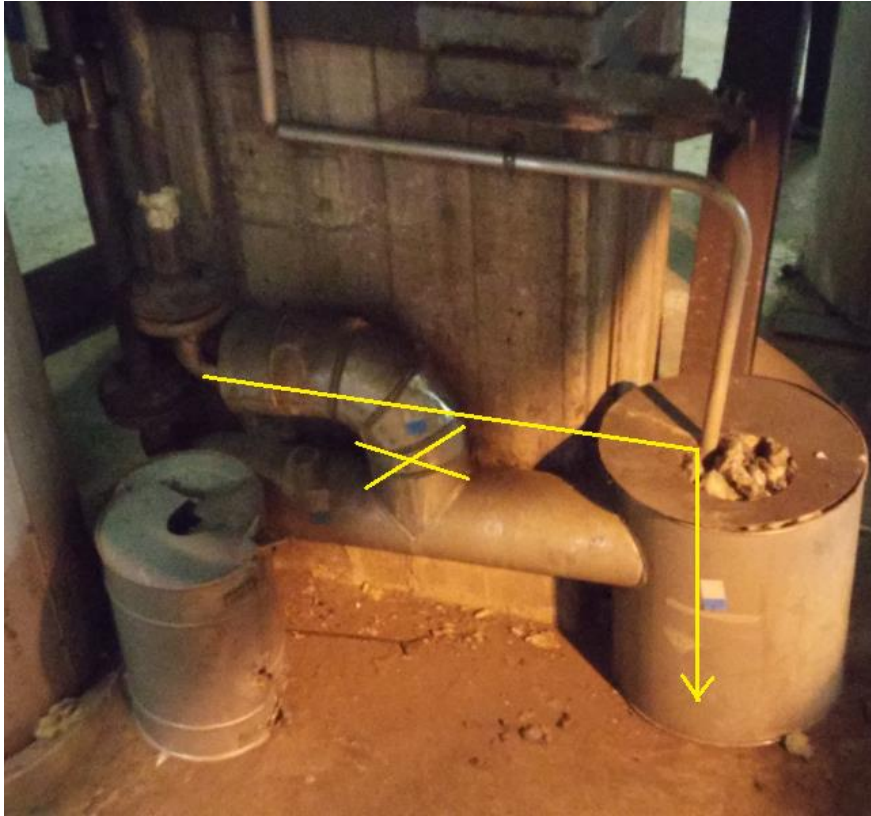
Lauhteenkeruulinjasta 1 erotetaan kuvassa 22 keltaisella ristillä merkitty turbopumppujen 28 barin poistolinja. Kuvan punainen nuoli kuvaa lauhteen virtaussuuntaa. Lauhteenkeruulinjaan ei tule tämän toimenpiteen jälkeen korkeapaineista lauhdetta, jolloin lauhteelle jää tarpeeksi tilaa virrata putkistossa.



Kuva 22. Lauhteenkeruulinjan 1 muutostyöt

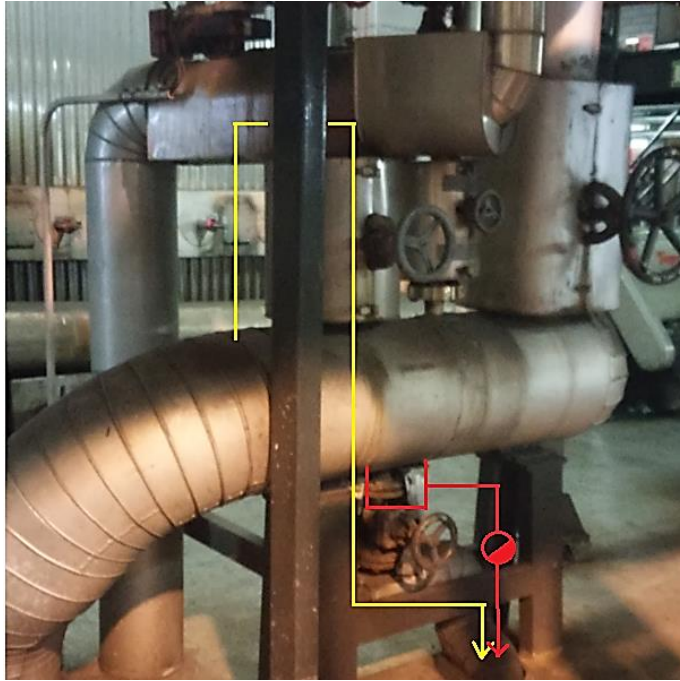
Lauhteenkeruulinjaan 1 yhdistetään 1,85 barin reduktioventtiilin 302-PICA219 jälkeisen lauhteenpoistimen 0144 poistolinja sekä höyrynjakotukin pohjaan lisättävän uuden lauhteenpoistimen 0167 poistolinja. Tällöin edellä mainitut lauhteet virtaavat 1,85 barin lauhteenkeruulinjaan. Kyseiset poistolinjat ovat höyryputkien vesityksiä, eikä niistä synny merkittäviä määriä lauhdetta. Tämän vuoksi ei ole tarpeellista tarkastella uudelleen lauhteenkeruulinjan 1 mitoituksia.

Lauhteenpoistin 0144 erotetaan nykyisestä lauhteenkeruulinjastaan keltaisella ristillä merkitystä kohdasta voimalaitoksen tasolla +25 (kuva 23). Poistolinja yhdistetään alakerrassa lauhteenkeruulinjaan 1, jolloin reduktioventtiilin jälkeinen 1,85 barin lauhde ei enää yhdisty 28 barin lauhdelinjaan.



Kuva 23. Reduktioventtiilin lauhteenpoistolinjan erotus tasolla +25

Omakäyttöhöyryn jakotukkiin rakennetaan lauhteenpoistotasku ja lauhteenpoistin. Lauhteenpoistotaskuun tulee lauhteenpoistolinja, josta lauhde laskee punaisen nuolen osoittamalla tavalla (kuva 24) tasolta +25 voimalaitoksen alakertaan, jossa se yhdistyy lauhteenkeruulinjaan 1. Öljynlämmitys- ja höyrysammutusjärjestelmän höyryotto muutetaan höyrynjakotukin yläosaan kuvan 24 keltaisen nuolen osoittamalla tavalla.



Kuva 24. Jakotukin uusi höyryotto ja lauhteenpoisto

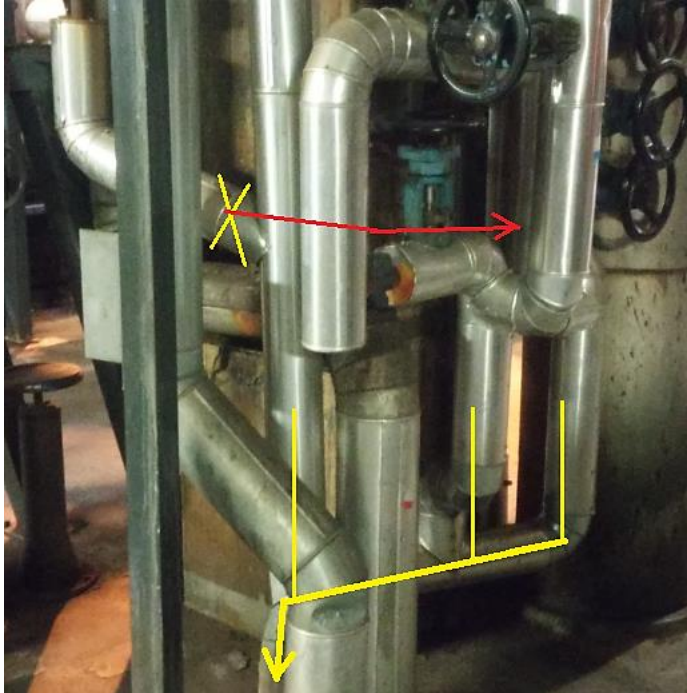
Molemmat uudet lauhteenpoistolinjat tuodaan tasolta +25 lattian läpi valmiina olevista läpivienneistä (kuvat: 22, 23), minkä jälkeen putkilinjat yhdistyvät lauhteenkeruulinjaan 1 voimalaitoksen alakerrassa. Jakotukin uutta höyryottoa ja lauhteenpoistoa on esitelty tarkemmin tämän työn osiossa 5.2.

### 5.1.2 Lauhteenkeruulinja 2

Lauhdejärjestelmän kartoituksessa havaittiin myös lauhteenkeruulinjassa 2 rakenteellisia ongelmia. Tällaisia ongelmia olivat lauhdeputkien väärät kallistukset ja liitokset. Kaikki rakenteelliset virheet tulee korjata ja lisäksi keruulinjaan tulevien lauhteiden määrää vähennetään. Nykyisessä lauhdejärjestelmässä lauhteenkeruulinjaan 2 yhdistyy lauhteita yli kymmeneltä vesityskohteelta, mikä on liian suuri määrä. Tästä johtuen lauhteenkeruulinjaan 2 tulevien poistolinjojen määrää pienennetään ja eripaineiset lauhteet johdetaan muiden lauhteenkeruulinjojen kautta lauhdesäiliöön.

Alakerrassa sijaitsevaan lauhteenkeruulinjaan 2 virtaa lauhteiden erottelun jälkeen vain 4,5 barin lauhteita tasolta +25. Tällaista lauhdetta syntyy ejektorin ruiskutusyksikön molemminpuolisista lauhteenpoistimista 0142 ja 0143 sekä välipainehöyryn reduktioventtiiliin 302-PC635 jälkeiseltä poistimelta 0145. Näiden poistimien lauhteet yhdisty-

vät tasolla +25 poistolinjaan, josta lauhde virtaa alakerrassa sijaitsevaan lauhteenkeruulinjaan 2. Kuvassa 25 keltaisella ristillä merkitty 28 barin vesityslinja erotetaan nykyisestä lauhdelinjastaan. Vesityslinja johdetaan punaisen nuolen osoittamalla tavalla 28 barin lauhteenpoistimen 0150 poistolinjaan.



Kuva 25. Lauhteenkeruulinjan 2 muutostyöt

Lauhteenkeruulinjaan 2 johdetaan lauhde myös turbiinin matalapainehöyrylinjassa sijaitsevalta lauhteenpoistimelta 0137, ja Rosenlew-kattiloiden tehdashöyrynsäätöventtiililtä 302-PIC221. Tämä lauhde on eripaineista kuin keruulinjan muut lauhteet, mutta vesityslinjassa ei ole lauhteenpoistinta eikä kyseistä höyrylinjaa käytetä usein. Lisäksi lauhteenkeruulinja 2 on valmiiksi oikeankokoinen, ja kun se korjataan laskevaksi lauhdesäiliötä kohti, ei paisuntahöyryn kanssa enää tule ongelmia.

### 5.1.3 Lauhteenkeruulinjat 6 & 7

Uudessa lauhdejärjestelmässä yksittäisiin lauhteenkeruulinjoihin johdetaan pienempi määrä poistolinjoja. Tällöin eripaineisia lauhteita ei enää liitetä samoihin lauhteenkeruulinjoihin. Lauhteiden kerääminen useamman lauhteenkeruulinjan kautta helpottaa vuotavan lauhteenpoistimen paikantamista ja eristämistä. Kuitenkin tällöin on rakennettava uusia lauhteenkeruulinjoja.

Uusia lauhteenkeruulinjoja rakennetaan kaksi kappaletta. Ne on numeroitu liitteessä 3 olevassa PI-kaaviossa numeroilla 6 ja 7. Uudet lauhteenkeruulinjat johdetaan voimalaitoksen lauhdesäiliöön, jossa oli vapaana yksi DN 40-putkiyhde. Lauhteenkeruulinja 6 liitetään tähän yhteeseen, ja lauhteenkeruulinjalle 7 tehdään oma putkiyhde lauhdesäiliöön.

Uusi lauhteenkeruulinja 6 rakennetaan voimalaitoksen syöttövesisäiliötasolla +30 sijaitsevien lauhteenpoistimien lauhteiden keräämiseen. Lauhdetta syntyy lauhteenpoistimilta 0147, 0148, 0149 ja 0150. Nämä lauhteet kerätään syöttövesitasolla lauhteenkeruulinjaan 6 (kuva 26), joka johdetaan omana linjanaan alakerran lauhdesäiliöön.



Kuva 26. Lauhteenkeruulinja 6 tasolla +35

Lauhteenkeruulinja 7 on tarkoitettu korkeapaineisille 28 barin lauhteille. Uudessa järjestelmässä kaikki voimalaitoksella syntyvät 28 barin lauhteet johdetaan tämän linjan kautta lauhdesäiliöön. Lauhteenkeruulinja 7 rakennetaan lauhteenkeruulinjan 2 viereen voimalaitoksen alakertaan, koska tällöin voidaan käyttää osaa keruulinja 2:n kannakoinneista hyväksi. Lisäksi lauhteenkeruulinjaan 2 nykyisessä järjestelmässä liittyvät 28 barin poistolinjat saadaan liitettyä uuteen keruulinjaan pienillä putkitöillä.

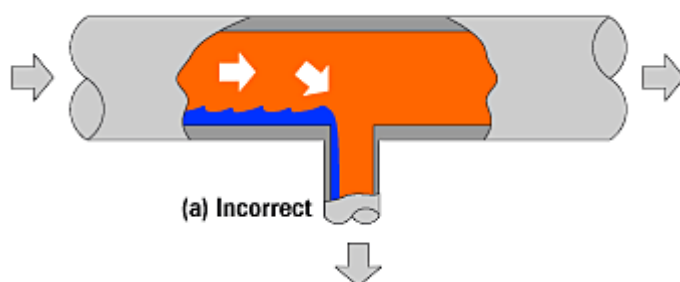
Keruulinjaan yhdistyvät poistolinja tasolla +30 sijaitsevalta lauhteenpoistimelta 0150 sekä Tampella-kattilan höyrynpääsulkuventtiiliä edeltävän vesityslinjan lauhteet. Tähän poistolinjaan liitetään myös reduktioventtiiliä 302-PICA219 edeltävä vesityslinja tasolla +25. Yhdistetty poistolinja liittyy voimalaitoksen alakerrassa keruulinjaan. Lauhteenke-

ruulinjaan 7 virtaa lauhdetta myös turbiinia edeltäviltä lauhteenpoistimilta 0133 ja 0134, ja ne erotetaan lauhteenpoistimen 0137 poistolinjasta. Lisäksi turbopumppujen korkea-paineinen lauhde liitetään lauhteenkeruulinjaan 7, jolloin se ei enää virtaa lauhteenkeruulinjaan 1.

## 5.2 Omakäyttöhöyryn jakotukki

Jakotukilla ohjataan höyryä rinnakkaisiin käyttökohteisiin (Huhtinen 2008: 81). Suomen Sokerin voimalaitoksella on jakotukki, josta jaetaan höyryä voimalaitoksen käyttökohteisiin. Tällaisia kohteita ovat syöttövesisäiliön kaasunpoisto, luvu, hajukaasujen lämmitys, polttoöljyn lämmitys sekä hiili- ja kuonasuppilon höyrysammutusjärjestelmä.

Öljyn lämmitys- ja höyrysammutusjärjestelmille on jakotukissa yhteinen höyryotto, joka on otettu jakotukin pohjasta (kuva 27). Höyryputkien pohjasta ei saa ottaa höyrylinjaa, sillä höyryotot tulisi aina tehdä höyryputken yläosaan (The Steam and Condensate Loop 2007: 10.3.6). Väärin rakennetun höyryoton lisäksi jakotukkia ei ole vesitetty, vaikka se tulisi aina vesittää (Huhtinen 2008: 81). Tällä hetkellä kaikki jakotukissa syntyvä lauhde virtaa sen alaosassa sijaitsevaan höyryottoon, joka aiheuttaa käyttökohteiden toiminnassa ongelmia.



Kuva 27. Virheellinen höyryputken höyryotto (The Steam and Condensate Loop 2007: 10.3.6)

Polttoöljyn lämmitykseen ei enää käytetä Suomen Sokerilla omakäyttöhöyryä, sillä laitoksella on siirrytty raskaasta polttoöljystä kevyeen polttoöljyyn vuonna 2014. Raskaasta polttoöljyä lämmitetään varastoinnin, suodatuksen ja pumppauksen aikana, jotta sen viskositeetti ei kasva liian suureksi (Neste Oy 1991: 90). Öljysäiliössä ollutta raskaasta polttoöljyä lämmitettiin omakäyttöhöyryllä ja öljynsiirtoputkistossa sähköisellä saatto-

lämmityksellä. Höyrylämmityksen putkilinjassa ei ole lauteenpoistinta, joten höyrystä syntyvä lauhde jää tällä hetkellä höyryputkeen.

Samasta höyrytosta ohjataan höyryä hiili- ja kuonasuppilon sammutusjärjestelmään. Sammutushöyryjärjestelmää on käytetty viimeksi vuonna 2008, jolloin arinakattilassa poltettiin hiilen seassa pellettiä. Pelletti syttyi herkästi ja palon sammuttamiseen käytettiin höyryä. Lauhteen osalta kyseisessä höyrylinjassa tilanne on öljynlämmityslinjaa vastaava. Sammutusjärjestelmässä on kuitenkin vesityslinjoja, joista voi halutessaan käsin tyhjentää linjan lauhteesta.

Sammutus- ja öljylämmitysjärjestelmän toiminnan lisäksi jakotukin lauhteenkeräystä tarkasteltiin energian talteenottokohteena. Jakotukin pohjasta syntyvän lauhdemäärän selvittämiseksi tehtiin koe, jossa suljettiin öljynlämmityslinjasta lähtevien muiden höyrylinjojen venttiilit ja tyhjennettiin voimalaitoksen alakerrassa olevasta poistolinjasta höyryputkessa ollut lauhde. Näin saatiin tyhjennettyä linja lauhteesta ja aloitettiin koejärjestely.

Kokeessa selvitettiin, kuinka paljon lauhdetta kerääntyy jakotukkiin yhdessä tunnissa. Mittauksen tarkkuuden parantamiseksi koe kesti 3 tuntia. Jakotukista kerättiin 3 tunnin aikana 4,26 l lauhdetta. Tällöin jakotukista lauhtuu tunnin aikana noin 1,42 kg lauhdetta. Tällä arvolla laskettiin lauhteenkeräyksestä saatava säästö vuositasolla. Laskuissa käytettiin seuraavia arvoja:

Lauhteen massavirta $\dot{m}_{lauhde}$	1,42 kg/h
Veden ominaislämpökapasiteetti $c_p$	4,19 kJ/kg°C
Lauhteen lämpötila $T_{lauhde}$	95 °C
Lisäveden lämpötila $T_{lisävesi}$	11 °C
Arvio kivihieillä tuotetun energian hinnasta	40 €/MWh
Veden hinta	0,529 €/m <sup>3</sup>
Lisäveden tuotanto vuodessa	100000 m <sup>3</sup>
Kattilakemikaalin vuotuiset kustannukset	70 000 €
Lisäveden tuotannon muut kustannukset	+30 %



Lisäveden lämmittämiseen kuluva energia Q:

$$Q = m * c_p * \Delta T \quad (2)$$

$$Q = 1000 \text{ kg} * \frac{4,19 \text{ kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (95 ^\circ\text{C} - 11 ^\circ\text{C}) = 351960 \text{ kJ/m}^3$$

Lisäveden lämmittämiseen kuluva energia Q megawattitunteina:

$$Q = \frac{351960 \text{ kJ/m}^3}{1000 * 3600} = 0,0978 \text{ MWh/m}^3$$

Lauhteen lämmityksen kustannus:

$$kustannus_{\text{lämmitys}} = 0,0978 \frac{\text{MWh}}{\text{m}^3} * 40 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 3,91 \text{ €/m}^3$$

Kattilakemikaalin kustannus:

$$kustannus_{\text{kattilakemikaali}} = 100000 \text{ m}^3 * 70000 \text{ €} = 0,7 \text{ €/m}^3$$

Lauhteen kustannus:

$$kustannus_{\text{lauhde}} = kustannus_{\text{lämmitys}} + kustannus_{\text{kattilakemikaali}} + \text{vesi} = 5,14 \text{ €/m}^3$$

Lauhteen hinta muiden kustannuksien kanssa:

$$kustannus_{\text{kok}} = kustannus_{\text{lauhde}} * 1,3 = 6,68 \text{ €/m}^3$$

Vuotuinen jakotukilta kerättävä lauhde:

$$\dot{V}_{\text{lauhde}} = \frac{1,42 \text{ l}}{\text{h}} * 24 \text{ h} * 365 \text{ d} = 12,277 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}$$

Vuotuiset säästöt:

$$\text{Säästö} = 6,68 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 12,277 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} = 82 \text{ €/a}$$

Elintarviketeollisuudessa investoinnin takaisinmaksuaika on 3 vuotta. Tällöin omakäyttöhöyrynjakotukin lauhteenkeräyksen investoinnin suuruus saisi olla korkeintaan 246 €, jotta se olisi taloudellisesti kannattava. Kyseinen summa ei riitä kattamaan lauhteenkeräyksen investointia, mutta höyryjärjestelmän toiminnan kannalta tulisi jakotukin lauhteenpoistoa vakavasti harkita.

Tulevaisuudessa Suomessa tullaan panostamaan uusiin energiantuotannon menetelmiin ja kivihillen poltosta ollaan luopumassa. Hiilen käytöstä energiantuotannossa luovutaan ja tuontiöljyn käyttö kotimaan tarpeisiin puolitetaan 2020- luvun aikana.

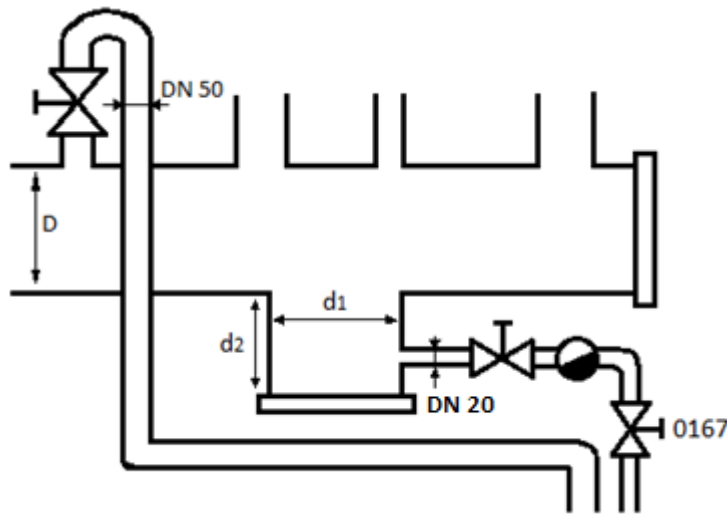
Päästöttömän, uusiutuvan energian käyttöä lisätään kestävästi niin, että sen osuus 2020-luvulla nousee yli 50 prosenttiin, ja omavaraisuus yli 55 prosenttiin sisältäen mm. turpeen. Tämä perustuu erityisesti bioenergian ja muun päästöttömän uusiutuvan tarjonnan lisäämiseen. Suurimmat mahdollisuudet saavutetaan nestemäisten biopolttoaineiden ja biokaasun tuotannon ja teknologian kasvattamisessa. (Valtioneuvosto 2015.)

Näiden tietojen pohjalta on mahdollista, että tulevaisuudessa voi Kantvikin sokerinpuhdistamon voimalaitoksen pääpolttoaineena olla jokin biopolttoaine. Tällöin voi pelletille alun perin tarkoitetulle sammutusjärjestelmälle olla käyttöä. Tämänhetkisen höyrysammutusjärjestelmän toiminnan kannalta lauhteenpoistimien puuttuminen koko höyrylinjasta on ongelma, ja siksi sammutusjärjestelmään tulisi harkita sellaisten hankkimista. Osa höyrysammutusjärjestelmässä syntyvästä lauhteesta on likaista, joten sellaista lauhdetta ei kerättäisi talteen vaan se johdettaisiin viemäriin.

Jakotukin höyrynotto ja lauhteenpoisto tulisi muuttaa kuvan 28 osoittamalla tavalla. Öljynlämmityksen höyrynotto muutetaan jakotukin yläosaan, jolloin lauhde ei enää pääse valumaan höyryputkeen. Tämän lisäksi höyrynjakotukkiin asennetaan vesitystasku ja lauhteenpoistin. Höyrynjakotukki on putkikokoa DN 300, ja vesitystaskusta tehdään taulukon 1 ja kuvan 28 mukainen.

Taulukko 1. Höyrylinjan vesitystaskun mitoitus (The Steam and Condensate Loop 2007: 14.2.6)

Main diameter D	Pocket diameter $d_1$	Pocket depth $d_2$
Up to 100 mm	$d_1 = D$	Minimum $d_2 = 100$ mm
125 mm - 200 mm	$d_1 = 100$ mm	Minimum $d_2 = 150$ mm
250 mm and above	$d_1 = D/2$	Minimum $d_2 = D$



Kuva 28. Periaatekuva jakotukin lauhteenpoistosta

Höyrynjakotukissa syntyvä lauhdemäärä on verrattain pieni. Tästä johtuen pienikapasi- teettinen termodynaaminen lauhteenpoistin on sopiva ratkaisu kohteeseen. Tällaiset poistimet ovat kestäviä ja pitkäikäisiä. (The Steam and Condensate Loop 2007: 11.4.2.)

Lauhteenpoistolinja tehdään putkikoosta DN 20 ja siihen asennetaan käsisulkuventtiilit sekä termodynaaminen lauhteenpoistin. Lauhde poistetaan alakerrassa sijaitsevaan lauhteenkeruulinjaan 1. Lauhteenpoistin numeroidaan Suomen Sokerin järjestelmällä, ja sen numeroksi tulee 0167. Kuvassa 28 näkyvä höyryn käsisulkuventtiili pidettäisiin normaalitilassa kiinni, jotta höyry ei pääsisi turhaan öljynlämmitys- tai höyrysammutus- järjestelmään.

### 5.3 By Pass -venttiilit

Ohitus eli By Pass -venttiilin asentaminen lauhteenpoistimiin on yleinen varotoimenpide. Lauhteenpoistimelle rakennetaan ohituslinja, jossa sijaitsee käsisulkuventtiili. Tällöin lauhteenpoistimen tukkeutuessa voidaan manuaalisesti käsiventtiiliä operoimalla poistaa lauhde linjasta. By Pass -linjoja käytetään myös käynnistyksessä tai höyryputkien käyttöönotossa, jotta lauhde saataisiin mahdollisimman nopeasti poistettua. (Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät 1978: Osa 2 76.)

Suomen Sokerilla lähes kaikkiin lauhteenpoistimiin on asennettu By Pass -venttiilit. Kuitenkin voimalaitoksella on muutama kohde, jossa ei ole ohitusventtiilejä. Nämä kohdet ovat Bosch-kattilan höyrylinjojen lauhteenpoistimet 0155, 0156 ja 0157 (kuva 17) sekä syöttövesitasolla +35 sijaitsevan hönkälämmönvaihtimen lauhteenpoistin 0154 (kuva 18).

Lauhteenpoistolinjat ovat Bosch-kattilalla kokoa DN 25, joten jokaiseen lauhteenpoistimeen tulisi rakentaa DN 25 -ohituslinja, jossa sijaitsisi samankokoinen käsisulkuventtiili. Hönkälämmönvaihtimen lauhteenpoistin on putkikokoa DN 40 ja lauhdelinja DN 50. Kartoituksessa huomattiin, että lauhteenpoistimen 0154 toiminnasta ei ole varmuutta ja poistin on alkuperäinen. Poistinta ei voinut irrottaa voimalaitoksen ollessa ajotilassa, joten sen toiminta tulee seuraavan mahdollisuuden tullen tarkistaa. Tarkastuksen perusteella on arvioitava, tarvitseeko poistin korjata tai vaihtaa. Lauhteenpoistin on Spirax Sarcon uimurilauhteenpoistin paineluokalta PN 16 ja putkikokoa DN 40. Tulevaisuudessa olisi lauhteenpoistimen toiminta mahdollista tarkistaa myös voimalaitoksen ajotilassa, jos lauhteenpoistimen eteen asennettaisiin käsisulkuventtiili.

Mietittäessä lauhteenpoistimien ohittamista on hyvä muistaa, että oikein valittu ja mitoitettu lauhteenpoistinpoistin selviää käynnistyksissä ja normaalitilassa lauhteenpoistosta ilman ohitusta. Ohitusten rakentamista tulee aina harkita tarkoin, sillä auki jääneestä ohituslinjasta voi poistua höyryä tuhansia eurojen arvosta päivässä. (Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät 1978: Osa 2 76.)

Ohitukset tarkoittavat myös uusia venttiileitä ja uusia huoltokohteita. Näistä syistä johdun esitettyihin kohteisiin ei suositella ohitusventtiilejä, mutta hönkälämmönvaihtimen lauhteenpoistimen 0154 eteen tulee lisätä sulkuventtiili, jotta poistimen kunnon voi halutessaan tarkastaa ilman voimalaitoksen seisakkia.

#### 5.4 Voimalaitoksen lauhdesäiliö

Suuri ongelma nykyisessä lauhdejärjestelmässä on se, että lauhdesäiliöön palautuvan lauhteen määrää ei pystytä hetkellisesti määrittämään, eikä lauhdelinjoiden virtausmääriä tunneta. Tämä ongelma vaikeuttaa uusien putkistojen mitoittamista ja lauhteen palautusta, sekä lisäksi putkiston ja lauhteenpoistimien toimintaa on hankalaa laskennallisesti tarkastella.

Tällä hetkellä lauhdesäiliössä on pinnanmittaus, joka ohjaa lauhdepumppuja. Pinnanmittaus käynnistää toisen lauhdepumpun lauhteen tavoittaessa pintamittauksen ylärajan. Lauhdepumput on ohjattu käymään vuorotellen, mutta niiden ohjelmoinnissa esiintyi ongelma. Esimerkiksi lauhdepumpun rikkoutuessa kyseinen pumppu pysähtyy, jonka jälkeen toinen pumppu käy vuorostaan normaalisti. Kuitenkin rikkoutuneen pumpun tullessa uudestaan pumppausvuoroon ei ohjelma ymmärrä pumpun olevan rikki, vaan jää odottamaan pumpun käynnistymistä. Tällöin lauhdeveden pinta nousee lauhdesäiliössä, ja se valuu ylivuotona viemäriin, kun kumpikaan lauhdepumppu ei käynnisty.

Edellä mainittu tilanne on tapahtunut kerran viimeisen kahden vuoden aikana, jolloin lauhteen ylivuotoa ei huomattu kuukauteen. Seuraavassa on laskettu kuukaudessa menetetyn lauhteen arvo:

Lauhdesäiliöön tunnissa palautuva lauhde $m_{\text{lauhde}}$	1,07 m <sup>3</sup> /h
Lauhdeveden hinta	6,68 €/m <sup>3</sup>

Lauhdeveden viemäroinnin kustannukset:

$$Kustannus = 1.07 \frac{m^3}{h} * 24h * 30d * 6,68 \frac{€}{m^3} = 5150 €$$

Jos oletetaan pumppuihin tulevan häiriö kerran kahdessa vuodessa, niin silloin kolmen vuoden aikana tilanne esiintyy keskimäärin 1,5 kertaa. Tällöin investointi lauhdesäiliön pinnanmittauksen liittämistä voimalaitoksen automaatiojärjestelmään voisi olla arvoltaan 7 725 €.

Pinnanmittauksen ja lauhdepumppujen käyntitiedon liittämistä voimalaitoksen automaatiojärjestelmään tulee vakavasti harkita. Tällöin lauhdepumppujen käyntitieto, säiliö-

önpinnanmittaus ja palautuvan lauhteen mittaukset olisivat voimalaitosoperaattorilla tiedossa ja häiriötilanteessa tulisi järjestelmästä hälytys. Lauhdepumppujen rikkoutuksessa ei hukattaisi arvokasta lauhdetta viemäriin. Pinnanmittauksen lisäksi olisi lauhdesäiliöön hyvä hankkia mittaus lauhteen puhtaudesta. Tällöin voitaisiin estää esimerkiksi laiterikosta syntyvän likaisen lauhteen virtaaminen syöttövesisäiliöön.

#### 5.4.1 Lauhdesäiliön hönkälämmönvaihdin

Lauhdesäiliön hönkälämmönvaihdin lämmittää lisävetä voimalaitoksen lauhdesäiliöstä syntyvällä paisuntahöyryllä. Virtaukseksi vaihtimen läpi on mitoitettu 5,6 kg/s eli noin 20 t/h. Sokerinpuhdistamolle ja Mildola Oy:lle tuotetaan voimalaitoksella yhteensä maksimissaan noin 34 t/h. Tilanteessa, jossa maksimikuorman aikana lauhteita ei esimerkiksi epäpuhtauksien takia voi ottaa talteen, ei hönkälämmönvaihtimen läpäisykyky riitä 34 tonniin tunnissa, vaan se on ohitettava.

Kyseinen tilanne toistuu keskimäärin kerran vuodessa ja silloin voi voimalaitosoperaattori reagoida tilanteeseen ohittamalla hönkälämmönvaihtimen tai pienentämällä höyrynkulutusta. Kuitenkin hönkälämmönvaihtimen seuraavan revision aikana olisi hyvä tarkastella suuremman läpäisykyvyn omaavan vaihtimen hankintaa.

#### 5.4.2 Lauhdesäiliön eristäminen

Voimalaitoksen lauhdesäiliö on eristämätön ja siinä tapahtuu huomattavia lämpöhäviöitä. Insinööriyössä tutkittiin, voisiko säiliön eristämällä säästää vuotuisissa syöttöveden lämmityskustannuksissa. Normaalisti lauhdesäiliön pintalämpötila vaihtelee 90 - 100 °C. Kuumasta säiliöstä tapahtuu kahdenlaista lämpöhäviötä, jotka ovat luonnollinen konvektio ja lämpösäteily. Seuraavassa laskelmassa on laskettu eristämättömän lauhdesäiliön lämpöhäviöt:

Säteilyhäviöt:

Säiliön säde $r$	0,75 m
Säiliön halkaisija $d$	1,5 m
Säiliön pituus $l$	3 m
Säiliön emissiivisyys $\epsilon$ (oksidoitunut teräs)	0,9

Stefan-Boltzmanin vakio $\sigma$	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
Säiliön pinta-lämpötila $T_{\text{säiliö}}$ (mitattu)	368,15 K
Ilman lämpötila $T_{\text{surr}}$ (mitattu)	293,15 K
Ilman viskositeetti $\nu$ (60°)	$1,89 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
Prantin luku $Pr$ (60°)	0,720
Lämmönjohtavuus $\lambda$ (60°)	0,0281 W/m·K
Gravitaatiovakio $g$	9,81 m/s <sup>2</sup>

Säiliön pinta-ala  $A_{\text{säiliö}}$ :

$$A_{\text{säiliö}} = 2\pi r * (h + r) = 17,67 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Säteilyteho  $\Phi_{\text{rad}}$ :

$$\Phi_{\text{rad}} = \epsilon \sigma A_{\text{säiliö}} (T_{\text{säiliö}}^4 - T_{\text{surr}}^4) \quad (5)$$

$$\Phi_{\text{rad}} = 0,9 * \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} * 17,67 \text{ m}^2 * (368,15^4 - 293,15^4) \text{ K} = 9905 \text{ W}$$

Luonnollinen konvektio:

Referenssilämpötila  $T_{\text{film}}$ :

$$T_{\text{film}} = \frac{T_{\text{säiliö}} - T_{\text{surr}}}{2} = \frac{368,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K}}{2} = 330,6 \text{ K} \quad (6)$$

Tilavuuden laajenemiskerroin  $\beta$ :

$$\beta = \frac{1}{T_{\text{film}}} = \frac{1}{330,6} \text{ K} \quad (7)$$

Rayleighin luku:

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_{\text{säiliö}} - T_{\text{surr}}) * d^3}{\nu^2} * Pr \quad (8)$$

$$Ra = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 * \left(\frac{1}{330,6}\right) \text{ K} * (368,15 - 293,15) \text{ K} * 1,5^3 \text{ m}}{1,89 * 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}} * 0,72 = 1,505 * 10^{10}$$

Luonnollisen konvektion Nusseltin numero sylinterille:

$$Nu = \left[ 0,6 + \frac{0,387 * Ra^{\frac{1}{4}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{4}{9}}} \right]^2 \quad (9)$$

$$Nu = \left[ 0,6 + \frac{0,387 * 275^{\frac{1}{4}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,559}{0,72} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{4}{9}}} \right]^2 = 275$$

Lämmönsiirtymiskerroin  $h$ :

$$h = \frac{\lambda}{d} * Nu = \frac{0,0281 \frac{W}{m * K}}{1,5 m} = 5,146 \frac{W}{m * K} \quad (10)$$

Luonnollisen konvektion lämmönsiirtoteho  $\Phi_{konv}$ :

$$\Phi_{konv} = h A_{säiliö} (T_{säiliö} - T_{surr}) \quad (11)$$

$$\Phi_{konv} = 5,146 \frac{W}{m * K} * 17,67 m^2 * (368,15 - 293,15) K = 6821 W$$

Lämpöhäviöt eristämättömästä säiliöstä  $\Phi_s$ :

$$\Phi_s = \Phi_{konv} + \Phi_{rad} = 16726 W$$

Lämpöhäviöt eristetystä säiliöstä:

Eristeen emissiivisyys $\varepsilon$ (Kuumasinkitty teräs)	0,05
Säiliön pinta-lämpötila $T_{säiliö}$ (arvio)	330,65 K
Ilman lämpötila $T_{surr}$ (mitattu)	293,15 K
Ilman viskositeetti $\nu$ (30 °C)	$1,606 * 10^{-5} m^2/s$
Prantin luku $Pr$ (30 °C)	0,782
Lämmönjohtavuus $k$ (30 °C)	0,0259 W/m*K
$\beta = \frac{1}{T_{film}}$	1/303,15 K



Säteilyteho  $Q_{rad}$ :

$$Q_{rad} = \varepsilon A_{s\ddot{a}ili\ddot{o}} \sigma (T_{s\ddot{a}ili\ddot{o}}^4 - T_{surr}^4) = 111,84W \quad (5)$$

Referenssilämpötila  $T_{film}$ :

$$T_{film} = \frac{T_{s\ddot{a}ili\ddot{o}} - T_{surr}}{2} = 303,15K \quad (6)$$

Rayleighin luku:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{s\ddot{a}ili\ddot{o}} - T_{surr}) \cdot D^3}{\nu^2} \cdot Pr = 6,625 \cdot 10^9 \quad (8)$$

Luonnollisen konvektion Nusseltin numero sylinterille:

$$Nu = \left[ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right]^2 = 214$$

Lämmönsiirtymiskerroin  $h$ :

$$h = \frac{k}{D} \cdot Nu = 3,691 \frac{W}{m \cdot K}$$

Konvektion lämpöteho  $\Phi_{konv}$ :

$$\Phi_{konv} = h \cdot A_{s\ddot{a}ili\ddot{o}} (T_{s\ddot{a}ili\ddot{o}} - T_{surr}) = 1305W$$

Eristetystä säiliöstä syntyvät lämpöhäviöt  $\Phi_{kok}$ :

$$\Phi_e = \Phi_{konv} + \Phi_{rad} = 1417W$$

Lämpöhäviön pienentyminen eristyksen jälkeen:

$$\Phi = \Phi_s + \Phi_e = 15309W$$

Energiaa säästyy vuodessa:

$$Q_{vuosi} = \frac{\Phi}{1000^3} * 24h * 365d = 134,11 \text{ MWh}$$

Vuotuinen säästöpotentiaali, jos kivihiilellä tuotettu energia maksaa 40 €/MWh:

$$\text{Säästö} = Q_{vuosi} * \frac{40\text{€}}{\text{MWh}} = 5364 \text{ €/vuosi}$$

Lauhdesäiliön eristämällä säästettäisiin 5364 € vuodessa lämpöhäviöissä. Elintarvike-teollisuuden investointiaika on kolme vuotta, joten investointi voisi maksaa noin 16 000 €. Kyseinen summa riittäisi varmasti säiliön eristämiseen.

Kuitenkin on otettava huomioon, että lauhdesäiliön lämpöhäviöt eivät ole kokonaan hukattua energiaa. Voimalaitoksen alakerrassa säilytetään ja pumpataan kattilakemikaalia nimeltään NALCO NextGuard, jonka alin varastointilämpötila on 10 °C. Tätä lämpötilaa voidaan pitää alakerran alimpana sallittuna lämpötilana. Alakerrassa sijaitsevat pumput, kompressorit, säiliöt ja puhaltimet lämmittävät myös sisäilmaa. Talviaikaan tämä lämmitys ei riitä ja lämpötila laskee alle 10 °C, jolloin tarvitaan erillisiä sähkökäyttöisiä lämmittämiä. Tänä aikana vuodesta lauhdesäiliön hukkalämpö toimii sisäilman lämmityksessä, eikä sitä voi silloin laskea menetetyksi energiaksi.

Hukkalämpöä arvioidessa voidaan olettaa muiden laitteiden tuottavan hukkalämpöä siten, että se riittää pitämään sisälämpötilan 10 °C:n yläpuolella ulkolämpötila ollessa yli 5 °C. Helsingissä vuorokauden keskilämpötila oli noin 5 kuukautena alle 5 °C vuonna 2015 (Ilmatieteenlaitos 2015). Säiliön eristämisen jälkeen tulee tämä lämmitys korvata muilla keinoilla. Seuraavassa on laskettu vuotuiset säästöt huomioiden sisätilojen lämmitys:

$$Q_{vuosi} = \frac{\Phi * 24h * (365 - 5 * 30d)}{1000} = 78,994 \text{ MWh}$$

$$\text{Säästö} = Q_{vuosi} * \frac{40\text{€}}{\text{MWh}} = 3160\text{€/vuosi}$$

Sisätilojen lämmittämisen jälkeen investoinnille jää 9 480 €. Kyseisellä investointirahalla on järkevä miettiä investoinnin kannattavuutta.

On mahdollista, että lauhdesäiliön eristämisen jälkeen voimalaitoksen alakerran lämpötila talvella laskee siten, että se aiheuttaa kattilakemikaalin pilaantumista tai pahimassa tapauksessa muita laiterikkoja. Lauhdesäiliön eristämisen jälkeen olisi hyvä hankkia saman lämmityskapasiteetin omaavat lämmittimet, ettei lämpötila laske talvisin liian matalaksi. Kuitenkin korvattaessa lauhdesäiliön lämmityskapasiteetti sähköisillä lämmittimillä tulee lauhdesäiliön eristämisen investointia tarkastella uudestaan siten, että otetaan huomioon sähkölämmityksen käyttökustannukset.

## 6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli kartoittaa ja kehittää Suomen Sokerin voimalaitoksen lauhdejärjestelmää. Kartoitus rajattiin voimalaitoksen lauhdejärjestelmään, sillä sokerinpuhdistamon muusta lauhdejärjestelmästä oli tehty aikaisemmin kartoitus. Työn taustalla vaikutti vuonna 2015 voimaan tullut energiatehokkuuslaki, jonka piiriin Suomen Sokeri kuuluu. Laissa määrätään yritykset tarkastelemaan ja kehittämään energiatehokkuuttaan. Teollisuudessa lauhdejärjestelmä jää usein pienemmälle huomiolle, eikä siihen ole usein haluja investoida. Kuitenkin Katvikin tehtaalla lauhdejärjestelmät ovat yleisesti hyvässä kunnossa.

Kartoituksen osana luotiin nykyisestä lauhdejärjestelmästä ja kehitysehdotuksen mukaisesta järjestelmästä PI-kaaviot. Lauhdejärjestelmästä löytyi kartoituksessa epäkoh-  
tia, joihin etsittiin työn kehitysosiossa ratkaisuja. Ongelmia esiintyi lauhdeputkien rakenteessa, paisuntahöyryssä ja eripaineisien lauhteiden jaottelussa.

Lauhdejärjestelmän kehitys suunniteltiin kartoituksen pohjalta. Insinööriyö sisältää parannusehdotuksia lauhteenkeräyslinjojen uudistamisesta, lauhdesäiliön eristämisestä ja liittämistä automaatiojärjestelmään, omakäyttöhöyryyn jakotukin lauhteenpoistosta, lauhdesäiliön hönkälämmönvaihtimen suurentamisesta ja ohitusventtiilien rakentamisesta.

Insinööriyössä päästiin hyviin tuloksiin ja se saatiin tehtyä sille asetetussa aikataulussa. Työn tuloksena syntyi uusi lajittelu eripaineisille lauhteille, PI-kaaviot lauhdejärjes-

telmästä ja huomattava määrä parannusehdotuksia. Parannusehdotuksien toteuttamisella on mahdollista päästä yli 5 000 € vuotuisiin säästöihin, sekä huomattavasti parempaan lauhdejärjestelmän toimintaan. Työn avulla on Suomen Sokerin voimalaitoksen lauhdejärjestelmää tulevaisuudessa helppo kehittää.

## Lähteet

Avena. 2016. Verkkodokumentti. [Viitattu 20.1.2016]. Saatavissa:

<http://www.avena.fi/avena>

Cengel, Y A. 2002. Heat Transfer, a practical approach, second edition. New York: Mcgraw-Hill.

Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. Muutettu 30.7.2015 [Viitattu 5.1.2016]. Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/yritykset/hallitse\\_ja\\_tehosta\\_yrityksen\\_energiankayttoa/energia\\_nkayton\\_tehostamistoimenpiteet/tuotannon\\_energiansaasto/hoyry\\_ja\\_lauhde](http://www.motiva.fi/yritykset/hallitse_ja_tehosta_yrityksen_energiankayttoa/energia_nkayton_tehostamistoimenpiteet/tuotannon_energiansaasto/hoyry_ja_lauhde)

Energiatehokkuuslaki. 2014. 1429/30.12.2014

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen. H. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki. Edita.

Huhtinen, M. Korhonen, R. Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus. Keuruu: Otava Kirjapaino.

Höyry- ja lauhdejärjestelmäkoulutus. n.d. Koulutusmateriaali. Helsinki: Spirax Sarco.

Kaukolämmön käsikirja. 2006. Energiateollisuus ry. Helsinki: Kirjapaino Libris Oy.

Koivisto, Jouni. 2016. Voimalaitospäällikkö, ylikonemestari, Suomen Sokeri Oy, Kantvik. Haastattelu 15.3.2016.

Ratkaisujen Suomi. 2015. Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma. Valtioneuvosto. Verkkodokumentti. Muutettu 29.5.2015 [Viitattu 25.1.2016]. Saatavissa: <http://valtioneuvosto.fi/sipilan-hallitus/hallitusohjelma>

Steam Engineering Tutorials. 2016. Verkkokoulutusaineisto. Spirax Sarco. [Viitattu 20.1.2016]. Saatavissa: <http://www2.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials.asp>

Suomen Sokeri Oy. 2016. Yrityksen infranet.

Suomen Sokeri ja Nordic Sugar. 2016. Verkkodokumentti. [Viitattu 20.1.2016]. Saatavissa: <http://www.nordicsugar.fi/suomen-sokeri-ja-nordic-sugar/>

Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät. 1978. Oy E. Sarlin Ab. Lahti: Painolahti Oy.

The Steam and Condensate Loop. 2007. First Edition. Cheltenham: Spirax Sarco Limited.

Vuosi 2015. 2015. Verkkodokumentti. Ilmatieteenlaitos. [Viitattu 25.2.2016]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2015>

Öljyn käyttö kattilalaitoksilla. 1991. Neste Oy. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

## Voimalaitoksen lauhteenpoistimet

Sijainti	Paine (bar)	Malli	Koko (DN)	Numero
Turbiinin tuorehöyry lauhteenpoistin	28	Termostaattinen	25	0133
Turbiinin tuorehöyry lauhteenpoistin	28	Termostaattinen	25	0134
Turbiinin prosessihöyrylinja	1.85	Termostaattinen	25	0136
Turbiinin vastapainehöyrylinja	28	Termostaattinen	25	0137
Luvo	1,85	Termostaattinen	25	0138
Mildolan hajukaasunlämmönvaihdin	1,85	Uimuri	25	0139
Ejektoria ruiskutusyksikköä edeltävä höyrylinja	4,5	Termodynaaminen	25	0142
Ejektoria ruiskutusyksikön jälkeinen höyrylinja	4,5	Termodynaaminen	25	0143
Tam.prosessihöyryreduktion lauhde	1,85	Termodynaaminen	25	0144
4.5 bar reduktioventtiilin jälkeinen höyrylinja	4,5	Termostaattinen	25	0145
Mildola Oy:lle lähtävä höyrylinja	4,5	Termodynaaminen	25	0147
Bosch-Rosenlew 4.5 bar pääsulkuventtiili	4,5	Termodynaaminen	20	0148
Bosch-Rosenlew 4.5 bar höyryn säätöventtiili	4.5	Termodynaaminen	25	0149
Tam. 28 bar höyrylinja	28	Termodynaaminen	25	0150
Tam. 4.5 bar höyrylinjan pääsulkuventtiilin	4,5	Termodynaaminen	25	0151
Turbopumppujen korkeapainehöyry	28	?	25	0152
Ylimääräinen lauhteenpoistin tasolla +35	4.5	Termostaattinen	25	0153
Syöttövesisäiliön hönkälämmönvaihdin	0.3	Uimuri	40	0154
Bosch 4.5 bar höyrylinja	9	Termodynaaminen	25	0155
Bosch 1.85 bar säätöventtiili	1,85	Termodynaaminen	25	0156
Bosch 1.85 pääsulkuventtiili	9	Termodynaaminen	25	0157
Tampellan nuohoimet	28	Termodynaaminen	25	0158
Tampellan nuohoimet	28	Termodynaaminen	25	0159
Ros 2 nuohoimet	9	Termodynaaminen	25	0160
Ros 2 nuohoimet	9	Termodynaaminen	15	0161
Ros 1 nuohoimet	9	Termodynaaminen	15	0162
Ros 1 nuohoimet	9	Termodynaaminen	15	0163
Turbopumpun vaihdelaatikko	?	Termostaattinen	25	0164
Turbopumppujen matalapainehöyry	1.85	Termostaattinen	25	0165
Turbopumppujen matalapainehöyry	1.85	Termostaattinen	25	0166







Lauhdeputkien mitoitus taulukko (The Steam and Condensate Loop 2007: 14.3.17).

