

# **Turbiinirevision dokumentointi**

Vesa Röntynen

Opinnäytetyö

Helmikuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t) Röntynen, Vesa	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Helmikuu 2016
	Sivumäärä 76	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Turbiinirevision dokumentointi</b>		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma.		
Työn ohjaaja(t) Nuutinen Marjukka Hytönen Kari		
Toimeksiantaja(t) Kokkolan Energia Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työ tehtiin Kokkolan Energialle, joka on Kokkolan kaupungin omistama osakeyhtiö. Työn tavoite oli tehdä T3 turbiinille suoritettavasta revisiosta kattava raportti, siitä revisiossa on havaittu ja mitä havainnoille on tehty, jotta tulevaisuudessa vikatilanteessa tai seuraavaa revisiota valmisteltaessa saadaan tarkkaa tietoa tulevista tehtävistä. Lisäksi työhön kuului toteutuneen aikataulun ja työpäiväkirjan kirjoittaminen sekä mittauksen ja tarkastusten arkistointi M-Files järjestelmään.</p> <p>Materiaali raporttiin kerättiin revisiotöiden aikana tekemällä muistiinpanoja, haastatteluja sekä ottamalla valokuvia sekä videoita töistä. Tiedonkeruu ja raportin kirjoittaminen suoritettiin asentajan töiden lomassa. Raportti viimeisteltiin revision päätyttyä.</p> <p>Revisiotyössä havaittiin turbiinin korkeapainepesässä kiinnileikkautuma ensimmäisessä siipivyöhykkeessä. Johtosiipikannatin ja korkeapaineroottori lähetettiin huoltoon. Turbiinin muille osille suoritettiin tarkastuksia ja mittauksia joissa havaittiin mm. säröjä ja materiaalien irtoamisia. Osalle osista tehtiin myös parannuksia, jotta niiden asentaminen ja säätäminen olisi helpompaa.</p> <p>Revision valmistuttua todettiin ylösajomittauksen perusteella huoltojen onnistuneen hyvin. Materiaalitarkastusten perusteella suositeltiin uusintatarkastuksia suoritettavan 30 000 käyttötunnin sisällä.</p> <p>Valmistunut raportti täytti toimeksiantajan vaatimukset ja toivomukset. Raportista saatiin selkeä kuva koko revision aikaisista toimista. Opinnäytetyön tavoitteena on esittää kuinka turbiinirevisio etenee ja millaisia töitä revisiossa on suoritettava.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Höyryturbiini, turbiinirevisio, kunnossapito, höyrykattila,		
Muut tiedot		

Author(s) Röntynen, Vesa	Type of publication Bachelor's thesis	Date February 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 76	Permission for web publication: X
	Title of publication <b>Documentation of turbine overhaul</b>	
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen, Marjukka Hytönen, Kari		
Assigned by Kokkolan Energia Ltd		
Abstract <p>This thesis was assigned by Kokkolan Energia Ltd, which is owned by the City of Kokkola. The goal was to compile a comprehensive report on overhauling T3 turbine, so that it explains what was observed and what has been done to the observations. It should be possible to use the report in situations when there is problem in the turbine, or when the next overhaul is planned. In addition, the work consisted of writing the schedule and diary.</p> <p>The material in the report was collected during the overhaul by writing notes, interviews and taking photos and videos of the work. Data collection and report writing were performed together with the mechanical assembly work. The report was completed at the end of the revision.</p> <p>Seizing was observed in the first stage of the high-pressure turbine rotor. The blade carrier and high-pressure rotor were sent for repair. For the other parts, inspections and measurements were performed and cracks and material detachment were detected. Improvements were made for some parts to ease their installation and adjustments.</p> <p>The start-up measurements showed that the overhaul was successful. The material test report recommended making new inspections before 30 000 hours of operation is run.</p> <p>The finished report met the requirements and wishes of the client. The report gave a clear picture of the observations in the overhaul. The aim of this thesis was to show how the overhaul process proceeds and what kind of operations can be expected to perform.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Steam turbine, turbine overhaul, maintenance, steam boiler.		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>6</b>
1.1	Opinnäytetyön toimeksianto .....	6
1.2	Kokkolan Energia Oy.....	6
<b>2</b>	<b>Höyrykattila.....</b>	<b>9</b>
2.1	Energiatekniset ominaisuudet.....	9
2.2	Höyrykiertoprosessi.....	10
2.3	Leijupetikattila .....	11
2.4	Kiertopetikattila.....	11
2.5	Arinakattila .....	13
2.6	Luonnonkierto-, pakkokierto- ja läpivirtauskattila.....	14
<b>3</b>	<b>Polttoaineet .....</b>	<b>15</b>
3.1	Polttoaineiden ominaisuudet.....	15
3.2	Hiili.....	16
3.3	Turve.....	17
3.4	Biomassa.....	17
<b>4</b>	<b>Höyryturbiinityypit .....</b>	<b>18</b>
4.1	Aktioturbiini.....	18
4.2	Reaktioturbiini .....	19
4.3	Lauhde- ja vastapaineturbiinit.....	20
4.4	Turbiinilohkot .....	21
4.5	Turbiinintehon laskenta .....	22
<b>5</b>	<b>Turbiinin rakenne .....</b>	<b>24</b>
5.1	Pesät .....	24
5.2	Roottori.....	25
5.2.1	Tasapainotusmäntä .....	27
5.2.2	Curtispyörä .....	28

	2
5.3	Öljyjärjestelmä.....28
5.4	Laakerit .....29
5.5	Venttiilit ja toimilaitteet .....31
5.6	Tiivisteet .....32
<b>6</b>	<b>Kunnossapito.....33</b>
6.1	Kunnossapidon osa-alueet .....33
6.2	Turbiinin kunnonvalvonta .....34
<b>7</b>	<b>Lang turbiinirevisio 2015, Kokkola.....37</b>
7.1	Ohje raportin lukijalle.....37
7.2	Suunnittelu .....37
7.3	Valmistelut.....37
<b>8</b>	<b>Revision aloitus ja turbiinin purku.....38</b>
8.1	Alasajo ja mittaukset .....38
8.2	Äänisuojan ja eristeiden purku.....38
8.3	Turbiinin purun aloitus .....39
8.4	Kansien nosto .....41
8.5	Venttiilit ja toimilaitteet .....43
8.6	Johtosiipikannattimet.....43
8.7	KP-roottorin nosto.....44
8.8	MP-roottorin nosto .....45
8.9	Laakerit .....46
<b>9</b>	<b>Huollot.....47</b>
9.1	Pesät .....47
9.2	Johtosiipikannattimet.....47
9.3	KP- ja MP-roottorit .....48
9.4	Laakerit .....49
9.4.1	Laakeri 1.....49

9.4.2	Laakeri 2.....	50
9.4.3	Laakeri 3.....	51
9.4.4	Laakeri 4.....	51
9.5	Tasapainotusmännän tiivistepestä.....	52
9.6	Toimilaitteet ja venttiilit.....	54
9.7	Tiivistemoduulit.....	55
9.8	Öljyjärjestelmät ja tiivisteet .....	56
9.9	Pyörityslaite.....	57
9.10	Kytkimet.....	57
9.11	Instrumentointi .....	58
<b>10</b>	<b>Linjaus ja pesien säätö .....</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>Kasaus.....</b>	<b>60</b>
11.1	Kansien nosto paikoilleen.....	61
11.2	Eristys .....	62
<b>12</b>	<b>Testit ja ylösajo .....</b>	<b>63</b>
12.1	Öljyjärjestelmän käynnistys.....	63
12.2	Venttiilien säätö ja testaus .....	64
12.3	Ylösajo 17.11.2015 .....	64
12.4	Ylösajon jälkeiset korjaukset .....	65
12.5	Ylösajo 2.12.2015 .....	67
12.6	Toisen ylösajon jälkeiset korjaukset.....	68
12.7	Ylösajo 13.12.15 .....	69
<b>13</b>	<b>Mittaustulokset.....</b>	<b>70</b>
<b>14</b>	<b>Yhteenveto.....</b>	<b>71</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>73</b>
	<b>Liitteet.....</b>	<b>76</b>
	Liite 1. Turbiinin osakuva .....	76

## Kuviot

Kuvio 1. Kokkolan Energia Oyn organisaatio (Yritysesittely N.d.).....	7
Kuvio 2. Höyrykierto (Huhtinen, Kettunen, Nurminen, Pakkanen 1998, 13).....	10
Kuvio 3. Kiertopetikattilan hiekkakierto (Ahlstrom pyroflow esite n.d).....	12
Kuvio 4. Keskiyöittäinen arinakattila (Voimalaitostekniikka 2013, 35).....	13
Kuvio 5. Turbiinin siipien toiminnan periaatekuva (alkup. kuvio. ks. Steam turbine N.d.).....	19
Kuvio 6. Turbiinin rakenne (alkup. kuvio. ks. D600/D400 Steam Turbines N.d.).....	21
Kuvio 7. Höyrykaavio (Huhtinen ym. 2013, 55).....	23
Kuvio 8. Höyryturbiinin korkeapainepesän kansi hiekkapuhalluksen jälkeen.....	25
Kuvio 9. Matalapaineroottorin eri osat numeroin merkittynä.....	26
Kuvio 10. Tasapainotusmännän toiminnan periaatekuva (Kolehmainen 2011, 16)....	27
Kuvio 11. Kokkolan Lang turbiinin öljyjärjestelmä.....	29
Kuvio 12. Laakerien rakenne (alkup. kuvio. ks. The steam turbine N.d.).....	30
Kuvio 13. Venttiilien lautaset ja karat.....	31
Kuvio 14. Tiivistehöyryn toiminta (Huhtinen ym. 2013, 126).....	32
Kuvio 15. Kunnossapidon osa-alueet (SFS-EN 13306:2010).....	34
Kuvio 16. Vikatodennäköisyys kaavio (Toppila & Pietikäinen 1991, 50).....	36
Kuvio 17. Pölysuoja purkua varten.....	39
Kuvio 18. Turbiini eristeiden purun jälkeen.....	41
Kuvio 19. Kannen avaus pressipulteilla.....	42
Kuvio 20. Vaurioita korkeapaineroottorilla.....	44
Kuvio 21. Matalapaineroottorin nosto.....	45
Kuvio 22. Johtosiipikannakkeen säätöpala irrotettuna.....	48
Kuvio 23. Valkoisella merkitty valkometallin irtoilu.....	50
Kuvio 24. Siniväritarkastus laakerille.....	51
Kuvio 25. Laakerin 4. välirengas.....	52
Kuvio 26. Segmenttien porrastus ongelma.....	53
Kuvio 27. Venttiilirungon tiiveystarkastus.....	54
Kuvio 28. Eroosio - korroosiota tiiviestepinnalla.....	55
Kuvio 29. Akselien linjaus laserlaitteilla.....	59

Kuvio 30. Hiottu johtosiipikannakkeen reuna.....	61
Kuvio 31. Turbiinin eristys .....	62
Kuvio 32. Korkeapainelinjan tiivisteiden rakenne.....	66
Kuvio 33. Päähöyryputken höyrysihti oli vaurioitunut.....	69
Kuvio 34. Laakerivärähtelymittaukset ennen (punainen) ja jälkeen revision (vihreä) ..	70
Kuvio 35. Akselivärähtelymittaukset ennen (punainen) ja jälkeen revision (vihreä) ..	71

## **Taulukot**

Taulukko 1. KOPO:n tuotantolaitteet (Energiakonserni N.d.).....	8
Taulukko 2. KOVO:n tuotanto laitteet (Energiakonserni, N.d.).....	9
Taulukko 3. Voimalaitospolttoaineiden tietoja (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2000, 152—154).....	16



# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön toimeksianto

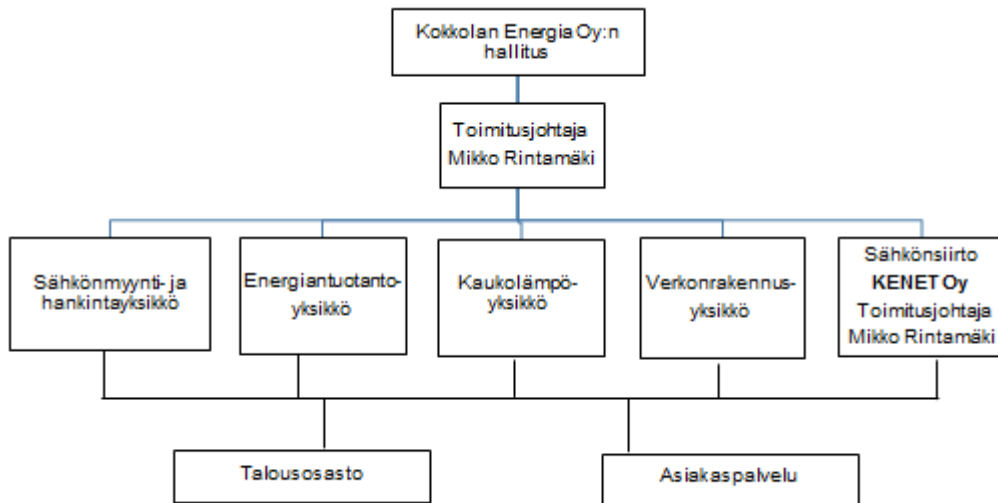
Höyryturbiineille tehdään suuria huoltoja usein 7—10 vuoden välein. Tällaisia huoltoja kutsutaan revisioiksi. Kokkolan Energia Oy aloitti suuren turbiinirevision keväällä 2015. Revision tarkoitus oli varmistaa turbiinin kunto, jotta sen käyttö olisi turvallista vuosiksi eteenpäin. Revisiosta haluttiin saada yksityiskohtainen raportti, josta voidaan nähdä, toteutunut aikataulu, kuinka revisio eteni, mitä turbiineilla havaittiin sekä mitä havainnoille tehtiin. Raportti pyrittiin tekemään siten, että revision ulkopuolinenkin henkilö pystyisi raportin, kuvien ja liitteiden turvin hahmottamaan työvaiheet, sekä kullekin osalle suoritettut toimet.

Materiaalin kerääminen raporttia varten toteutettiin valokuvaamalla, videoimalla ja tekemällä muistiinpanoja työvaiheista. Raportti viimeisteltiin tekemällä haastatteluja asentajille ja revision asiantuntijoille, sekä liittämällä tarkastusraportit ja mittauspöytäkirjat raporttiin.

Työn teoriaosuus esittelee höyryntuotantoon käytettävien höyrykattiloiden tekniikat, sekä höyryturbiinien toiminnan ja rakenteen. Lisäksi työssä on kerrottu voimalaitoskattiloiden polttoaineista ja yleisesti kunnossapidosta sekä turbiinirevision valmistelusta.

## 1.2 Kokkolan Energia Oy

Kokkolan Energia Oy on Kokkolan kaupungin omistama osakeyhtiö, jonka tuotantolaitokset tuottavat kaukolämpöä, sähköä ja höyryä asiakkailleen. Lisäksi yhtiön toimintaan kuuluu tuotettujen tuotteiden myynti ja siirto, sekä kaukolämpöverkon rakennus ja kunnossapito. Organisaation rakenne on nähtävissä kuvioista 1. Kokkolan Energialla on yksi oma voimalaitos, joka tunnetaan nimellä KOPO, sekä osaomistajuuden kautta toinen, jonka nimi on KOVO. (Energiakonserni, N.d.)



Kuvio 1. Kokkolan Energia Oyn organisaatio (Yritysesittely N.d.)

### KOPO voimalaitos

Kokkolan Energia Oyn voimalaitos tunnetaan nimellä KOPO, joka tulee organisaation aiemmasta nimestä Oy Kokkola Power Ab. Voimalaitoksen ensimmäiset tuotantolaitteet valmistuivat vuonna 1962 Outokummun rakennuttamina. Vuonna 2009 Kokkolan kaupunki osti voimalaitoksen sen silloiselta omistajalta Fortumilta.

Voimalaitoksella on ollut kaiken kaikkiaan viisi suurta höyrykattilaa, joista vain kattila C5 on vakituisessa käytössä. Lisäksi teollisuusalueen prosessikattiloiden höyryä on hyödynnetty sähkön ja lämmön tuotannossa jo 1960-luvulta alkaen. Höyryturbiineja voimalaitoksella on ollut kolme, joista vain yksi on nykyisin käytössä. Turbiini T3, on unkarilaisen Lang turbiinitehtaan valmistama. Voimalaitoksen tuotantolaitteet on eritelty taulukkoon 1. (Mt.)

Taulukko 1. KOPOn tuotantolaitteet (Energiakonserni N.d.)

Höyrykattilat	C5, kiertopeti	C4 (Ei käytössä)	C6 ja C7
<b>Valmistumisvuosi</b>	1995	1988	2008
<b>Höyrynpaine</b>	60 bar	60 bar	5 bar
<b>Polttoaine</b>	Turve ja bio-massa.	Raskaspolttoöljy	Raskaspolttoöljy
<b>Polttoaineteho</b>	108 MW	200 MW	12,5 MW per kappale
<b>Höyryturbiini</b>	<b>Turbiini T3, Lang, Unkari</b>		
<b>Valmistumisvuosi</b>	1978		
<b>Sähköteho</b>	35 MW, mahdollisuus 52 MW.		
<b>Prosessihöyryteho</b>	35 MW, mahdollisuus 100 MW.		
<b>Kaukolämpöteho</b>	80 MW		

### KOVO Voimalaitos

Kokkolan Voima Oy (KOVO) on Pohjolan Voiman rakennuttama ja omistama yritys. Kokkolan Energia omistaa Pohjolan Voiman voimalaitososuuksia, jotka kattavat KOVOn voimalaitoksen osuuden. KOVOn käytön ja kunnossapidon hoitaa Kokkolan Energia Oy. (Mt.)

Kaupungin kasvava kaukolämmöntarve vaati uuden voimalaitoksen rakentamista, joten vuonna 2001 valmistui kattila K1. Vuonna 2009 valmistui prosessihöyrykattila K2, joka oli selkeästi pienempi kuin aiemmat kattilat. Tämä antoi lisää säädettävyyttä kaukolämpö- ja höyryverkolle. Voimalaitoksen tuotantolaitteet on eritelty taulukoon 2. (Mt.)

Taulukko 2. KOVOn tuotanto laitteet (Energiakonserni, N.d.)

Höyrykattilat	K1, leijupeti	K2, leijupeti	Kaukolämpöakku
<b>Valmistumisvuosi</b>	2001	2009	2008
<b>Höyrynpaine</b>	80 bar	40 bar	
<b>Polttoaine</b>	Turve ja bio-massa.	Turve ja bio-massa.	
<b>Polttoaineteho</b>	80 MW	19 MW	(KL-varaus 150 MWh)
<b>Höyryturbiini</b>	<b>Turbiini K1, Siemens, Saksa</b>		
<b>Valmistumisvuosi</b>	2001		
<b>Sähköteho</b>	20 MW		
<b>Kaukolämpöteho</b>	50 MW		

## 2 Höyrykattila

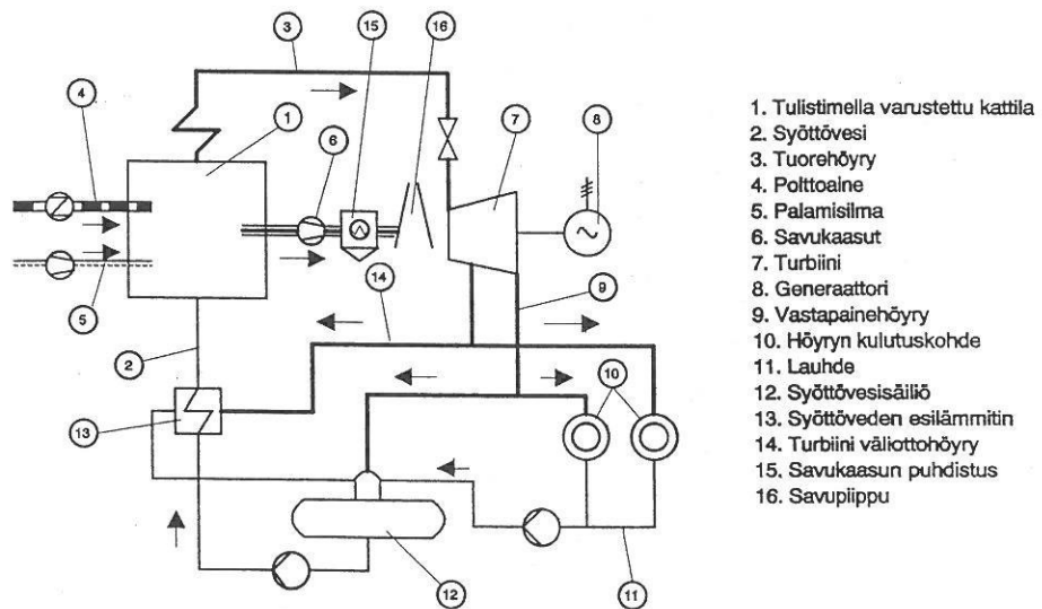
### 2.1 Energiatekniset ominaisuudet

Höyrykattiloiden ja höyryturbiinien toiminta perustuu termodynamiikan ensimmäiseen pääsääntöön. Energiaa ei synny lisää eikä sitä häviä, mutta se voi muuttaa muotoaan. Voimalaitoskattilassa polttoaineeseen kemiallisesti sitoutunut energia siirretään veteen. Vesi muuttuu höyryksi sen energiatasojen kasvaessa. Höyry kulkee turbiinille, jossa sen energiatasoa pyritään laskemaan siten, että mahdollisimman suuri osa energiasta saadaan siirrettyä turbiinin roottorille kineettiseksi energiaksi. Turbiinin roottorin kytkeytyessä generaattorin roottoriin, muutetaan kineettinen energia generaattorissa sähköksi, joka kulkeutuu loppukäyttäjälle. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 1998, 7)

Vesi on käytetyin kiertoine voimalaitosten prosesseissa. Syynä tähän on veden hyvä ominaislämpökapasiteetti, joka tarkoittaa veden kykyä sitoa energiaa itseensä. Lisäksi vesi on turvallinen sekä edullinen ja sitä on runsaasti saatavilla. (Tuikka 2015)

## 2.2 Höyrykiertoprosessi

Useimmilla höyrykattiloilla on samat höyrykierron pääkohdat. Veden lähdettyä syöttövesisäiliöstä, se menee syöttövesipumpulle, jonka tehtävä on nostaa paine haluttuun tasoon. Aina ei kuitenkaan ole suotuisaa käyttää mahdollisimman suurta painetta. Jos kattilan päätarkoitus on tuottaa esimerkiksi 60 bar höyryä asiakkaalle, ei ole kannattavaa nostaa painetta tarpeettoman paljoa yli tuon tason. Kuviossa 2 on esitetty höyrykierron pääkohdat.



Kuvio 2. Höyrykierto (Huhtinen, Kettunen, Nurminen, Pakkanen 1998, 13)

Ennen kun vesi syötetään kattilaan, se on kannattavaa lämmittää lähelle kylläisen höyryn arvoja. Tämä tapahtuu useimmiten kolmessa vaiheessa, matalapaine-esilämmittimissä, syöttövesisäiliössä ja korkeapaine-esilämmittimissä. Lähes kylläinen höyry menee lieriöön tai suoraan höyrystinputkiin riippuen siitä, onko kattilassa lieriötä. Lieriön tarkoitus on erottaa vesipisarat höyryvirrasta. Höyrystinputkistossa vesi höyrystyy ja jatkaa matkaansa takaisin lieriöön tai suoraan tulistimiin riippuen kattilatyyppistä. Tulistimissa höyryn lämpötila nostetaan niin korkeaksi, että viimeisetkin vesipi-

sarat ovat varmasti höyrystyneet eivätkä täten aiheuta eroosiota putkistoissa ja höyryn käyttökohteissa. Tulistimia voi olla esimerkiksi kolme kappaletta. Tulistimien välissä höyryn sekaan ruiskutetaan vettä, jolla säädellään höyryn lämpötilaa. (Huhtinen ym. 1998, 7—15)

Liian suuret lämpötilat eivät myöskään ole edullisia putkistomateriaaleille. Tulistettu höyry poistuu kattilasta höyryputkea pitkin esimerkiksi turbiinille, reduktioventtiilille tai höyrynkuluttajalle. Koska kattilavesi on erittäin puhdasta ja sen valmistamiseen on käytetty paljon resursseja, kannattaa se käyttää uudelleen, jos mahdollista. Puhkaat lauhteet palautetaan takaisin prosessiin. (Mts. 194—196)

### 2.3 Leijupetikattila

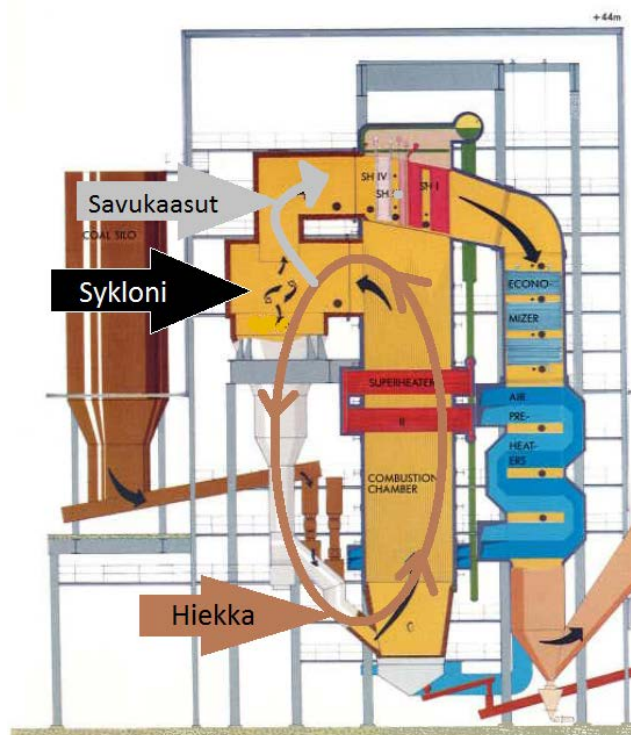
Leijupeti- tai kuplivaleijupeti (BFB, bubbling fluidized bed) on nykyisin yksi käytetyimmistä kattilatyypeistä. Tekniikan käyttö alkoi 1970-luvulla. Leijupetikattilalle tyypillinen ominaisuus on kattilan sisällä oleva hiekka, jonka tarkoitus on tehostaa palamista. Leijupetikattilassa hiekka kuplii tulipesän alaosassa noin 40—80 cm korkeana patjana. Tämä saadaan aikaan primääri-ilmapuhaltimella, joka puhaltaa pesän alaosassa oleviin suuttimiin ilmaa. Suuttimia on useita, jolloin hiekka sekoittuu ja nousee tasaisesti ilmaan. (Huhtinen ym. 1998, 145—151)

Hiekalla on hyvä ominaislämpökapasiteetti, minkä takia se pystyy kuivattamaan ja lämmittämään polttoainetta tehokkaasti. Polttoaine pyritään syöttämään leijupedin pinnalle tasaisesti useasta eri kohdasta, täydellisen palamisen aikaansaamiseksi. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 36—37)

### 2.4 Kiertopetikattila

Kiertopetikattila (CFB circulating fluidized bed) on kaikkein yleisin kattilatyyppi suuressa mittaluokassa. Kiertopetikattilalla on samantyylinen toimintatapa kuin leijupetikattilalla. Kattilan sisällä on myös hiekkaa mutta kiertopetikattilassa nimensä mukaisesti

hiekkä kiertää kattilan sisällä. Kattilassa on primääri-ilmapuhaltimet samaan tapaan kuin leijukerroskattilassakin, ne puhaltavat hiekan kattilan yläosiin. Kattilan yläosassa savukaasut ja kiinteät partikkelit siirtyvät sykloniin (ks. kuvio 3), jossa ne erottuvat toisistaan siten, että savukaasut jatkavat tulistimille ja kiinteä aines takaisin kattilaan. Syklonissa aineet pyörteilevät ja niiden liikenopeus laskee niin paljon, että painavimmat partikkelit tippuvat syklonia pitkin alas. Tällä tavoin saadaan hiekka takaisin kiertoon kuten myös palamaton aines. (Huhtinen ym. 1998, 145—151)

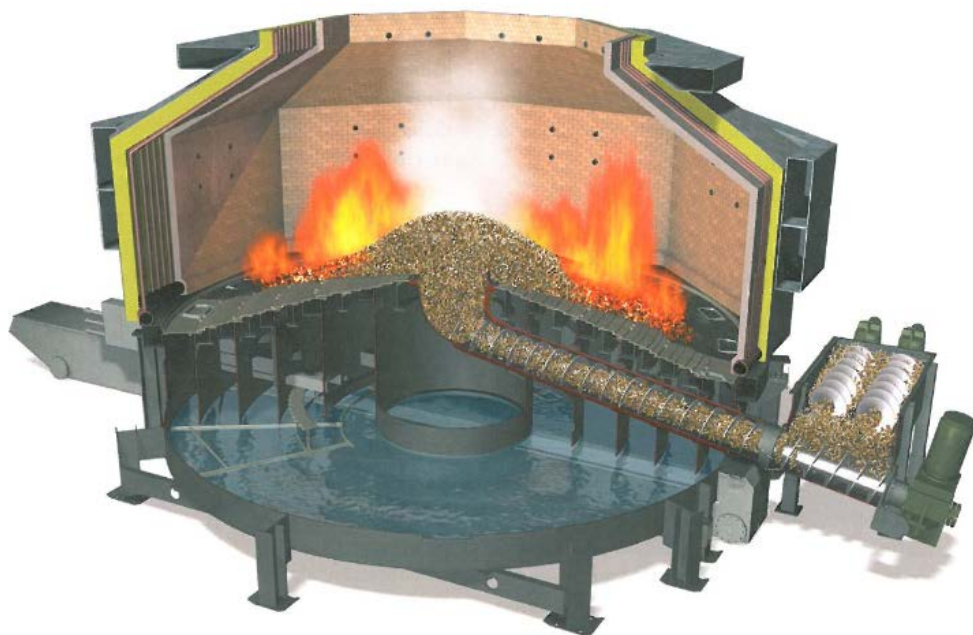


Kuvio 3. Kiertopetikkattilan hiekkakierto (Ahlstrom pyroflow esite n.d)

Kiertopetikkattilassa leijutusnopeus on suurempi kuin leijukerroskattilassa, myös hiekan raekoko on pienempi, mikä auttaa hiekan kulkeutumista kattilan yläosiin. CFB-kattilassa haluttu lämpöenergia saadaan siirtymään tehokkaasti hiekan ansiosta veteen. Konvektiivinen lämmönsiirtyminen on hiekan ansiosta paljon suurempaa. Kuitenkin höyrystinpinnat ja tulistimet kärsivät kovemmasta eroosiosta, mutta materiaalivalinnoilla ja pinnoituksilla on eroosion vaikutusta saatu vähennettyä. (Huhtinen ym. 2013, 36—37)

## 2.5 Arinakattila

Arinakattilat ovat jääneet nykyisten CFB- ja BFB-kattiloiden varjoon voimalaitos käytössä. Nykyisin arinakattiloita käytetään lähinnä jätteenpolttoon mutta niitäkin on nykyisin korvattu kaasutuslaitoksilla. Arinakattilalle on ominaista eri palamisvyöhykkeet, joissa polttoaineen kuivuminen, lämpeneminen ja palaminen tapahtuu. Kuviossa 4 on nykyaikainen arinakattila, jossa polttoaine syötetään palotilaan keskeltä tunkijaruuvilla.



Kuvio 4. Keskisyöttöinen arinakattila (Voimalaitostekniikka 2013, 35)

Arinakattiloita on useita erilaisia tyyppejä, kuten viistoarina, porrasarina ja tasoarina. Arinakattiloissa voi olla kiinteä tai liikkuva arina. Suurten arinakattiloiden arinat ovat usein liikkuvia. Päästöjä arinakattiloista tulee useimmin enemmän kuin nykyisistä leiju- tai kiertopetikattiloista. Yksi merkittävä syy tähän on polttoaineen epätasainen jakautuminen arinalle, jolloin palaminen ei tapahdu tasaisesti. (Huhtinen ym. 2013, 35–36)



## 2.6 Luonnonkierto-, pakkokierto- ja läpivirtauskattila

Sen mukaan kuinka vesi saadaan liikkumaan kattilan höyrystinputkissa, puhutaan yleisesti kolmesta eri kattilatyypistä. Luonnonkiertokattila on yleisin käytössä oleva tyyppi. Syöttövesi pumpataan lieriöön, josta se painovoiman vaikutuksesta laskeutuu höyrystinputkiin. Höyrystinputkissa höyrystyvä vesi nousee tiheyserojen ansiosta takaisin lieriöön. Ulkopuolista voimaa ei tarvita veden kierrättämiseksi. (Huhtinen ym. 1998, 106)

Luonnonkiertotekniikka toimii, kun syöttöveden paine pidetään alle 170 barin paineessa. Tällöin höyryn ja veden tiheyserot ovat tarpeeksi suuret. Pakkokiertokattiloissa käytetään suurempia paineita kuin luonnonkierrrossa, jopa 190 baria. Tällöin luonnollinen tiheysero ei enää riitä kuljettamaan höyryä lieriöön. Tästä syystä lieriön alla olevassa laskuputkessa on pakkokiertopumppu, joka saa veden kulkemaan höyrystinputkistoon. (Mts. 105—111)

Läpivirtauskattilat ovat siltä osin erilaisia, ettei niissä ole lainkaan lieriötä, jossa pisarat erottuvat vedestä. Läpivirtauskattiloissa paine voi olla jopa yli 300 baria. Nämä kattilat ovat lähes aina erittäin suuritehoisia. Syöttövesi menee suoraan höyrystinputkiin, joista se höyrystyttyään jatkaa tulistimiin. Tällä kattilatyypillä vesipisaroiden meno kattilaputkistoa pidemmälle prosessissa on pyritty estämään suuremmalla tulistusasteella ja erityisellä pisaranerotuspullolla. Nostamalla höyryn paine erittäin suureksi joudutaan samalla huomioimaan laitteiden turvallisuus, mistä seuraa materiaalien kustannuksien kasvu. (Mts. 111—118)

### 3 Polttoaineet

#### 3.1 Polttoaineiden ominaisuudet

Kasvihuonekaasujen määrää pyritään nykyisin vähentämään. Kasvihuonekaasuilla on ilmastoa lämmittävä vaikutus, ja ne ovatkin maapallon kannalta tarpeellisia. Teollisuudesta lähtien niiden pitoisuudet ovat kuitenkin nousseet ja sen seurauksena ilmastomuutos on yksi tulevaisuuden suurista uhkakuvista. Tästä syystä kasvihuonekaasujen määrää pyritään vähentämään myös voimalaitosten päästöissä. Voimalaitoksilla seurattavia päästöjä ovat rikkidioksidi  $\text{SO}_2$ , hiilidioksidi  $\text{CO}_2$ , hiilimonoksidi  $\text{CO}$  ja typen oksidit  $\text{NO}_x$ . (Huhtinen ym. 2013, 328)

Puhuttaessa uusiutuvasta polttoaineesta voimalaitosympäristössä tarkoitetaan lähes aina biomassaa. Biomassaa polttaessa syntyy päästöjä, mutta uusi kasvava bioaines sitoo hiilidioksidin yhteyttämisen yhteydessä. Biomassan poltossa on kannattavaa käyttää vain hukkajätettä, joka jätettäessä maatumaan, aiheuttaisi käytännössä vastaavat hiilidioksidipäästöt hajoamisensa aikana kuin poltossa.

Poltossa tavoitteena on saada polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia mahdollisimman tehokkaasti käyttöön. Kuitenkin lähes kaikki polttoaineet sisältävät aineita, jotka ovat epäedullisia tehokkaan palamisen kannalta. Polttoaine sisältää usein palamattomia tai palamista heikentäviä aineita kuten vettä ja tuhkaa. Polttoaineessa oleva vesi höyrystyy kattilassa ja sitoo tällöin itseensä energiaa, jota ei usein saada prosessissa talteen. Lisäksi polttoaineissa on tietty tuhkapitoisuus. Tuhka on epäorgaanista ainesta, jota ei saada poltettua. Tuhkassa olevat alkalit voivat tuhkan sulassa aiheuttaa myös ongelmia kattilapinnoille. Taulukkoon 3 on merkitty muutamien Suomessa käytettävien voimalaitospolttoaineiden tietoja. (Huhtinen ym. 1998, 22–40)

Taulukko 3. Voimalaitospolttoaineiden tietoja (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2000, 152—154)

	Metsätähde- hake	Kantohake	Jyrsinturve	Kivihiili (keskiarvo)
<b>Lämpöarvo saapumis- tilassa MJ/kg</b>	6—9	8—13	9,66	24,8
<b>Lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg</b>	18,5—20	18,5—20	20,9	27,9
<b>Kosteus % (hakkeet kaatotuoreena)</b>	50—60	30—50	48,5	10
<b>Tuhkapitoisuus %</b>	1—3	1—3	5,1	14
<b>Rikkipitoisuus %</b>	<0,05	<0,05	0,05—0,3	<0,5

### 3.2 Hiili

Hiili on toistaiseksi maailmassa eniten käytetty voimalaitoskattiloiden polttoaine. Hiili ei ole uusiutuvaa polttoainetta, joten se lisää kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä huomattavasti. Suomen tuotetusta sähköstä vuonna 2014 hiilellä tuotettiin alle 10 %. Suomessa pyritään hiilen käytön vähentämiseen edelleen. Vuotuiseen käyttöön vaikuttaa kuitenkin suuresti se kuinka paljon Ruotsista ja Norjasta on saatavilla vesi-voimaa. Usein puuttuva sähköntuotanto korvataan hiilivoimalla. Hiilen käyttö vaatii lisäksi omat polttoaineenkäsittelylaitteet, kuten jauhatusmyllyn. (Kivihiili N.d.)

Kivihiilen hyvät ja huonot puolet ovat seuraavat

- + hyvä saatavuus
- + hyvä lämpöarvo
- ei uusiutuva
- suuret rikkipäästöt
- hankinta ulkomailta
- vaatii oman käsittelylaitteiston
- korkeat verot.

### 3.3 Turve

Turve on kotimainen polttoaine josta kiistellään onko se uusiutuvaa vai fossiilista polttoainetta. Euroopan Unionin mukaan turve on hitaasti uusiutuvaa. Kasviperäisen aineksen muuttuminen polttoon kelpaavaksi turpeeksi kestää noin 2000—3000 vuotta. Turvesuot ovat myös suuria ympäristökysymyksiä ja aiheuttavat runsaasti keskustelua puolesta ja vastaan. Turpeen poltossa syntyy myös rikkipäästöjä. Tästä syystä turpeen kanssa on kannattavaa polttaa biomassaa, jonka alkalit neutraloivat rikkiä. (Turve N.d.)

Turpeen hyvät ja huonot puolet ovat seuraavat

- + tuotantoa varaa kasvattaa
- + kotimainen
- hitaasti uusiutuva
- turvesoiden ympäristövaikutukset
- rikkipäästöt
- saatavuuteen vaikuttaa sää.

### 3.4 Biomassa

Biomassa on yleisnimitys kasviperäisille polttoaineille. Tähän luettavia polttoaineita ovat esimerkiksi kantohake, metsähake, kuori, puru, ruokohelpi ja paju. Suomessa biomassaa käytetään laajalti ja sen käyttö on edelleen kasvamassa. Biomassa on edullinen ja runsaasti saatavilla oleva polttoaine. Pelkän biomassan polttoon tarkoitetuissa kattiloissa joudutaan käyttämään lisäksi kemikaaleja, koska biomassa sisältää paljon alkaleja jotka ovat haitallisia kattilarakenteille. Biomassa sisältää myös paljon vettä mikä vähentää polttoaineen tehollista lämpöarvoa. (Metsäenergia N.d.)

Biomassan hyvät ja huonot puolet ovat seuraavat

- + edullinen
- + hyvä saatavuus

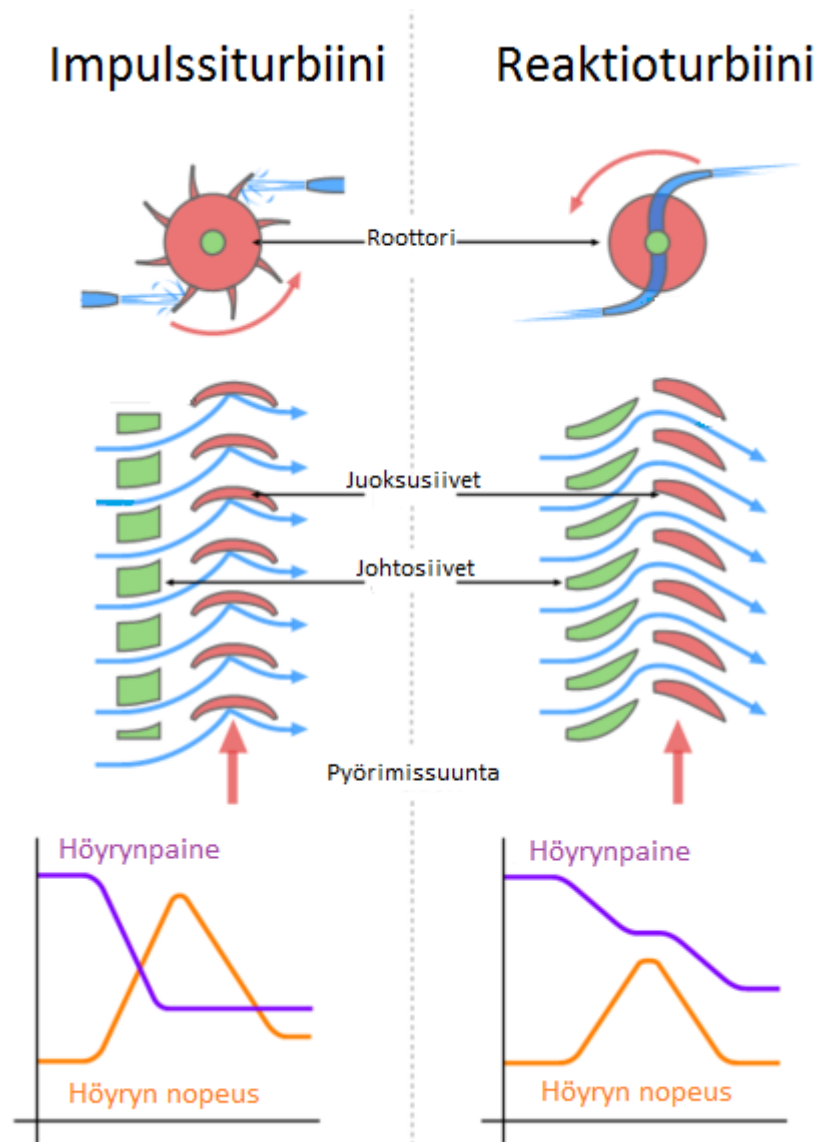
- + kotimainen
- + uusiutuva
- pelkkä biomassa vaatii lisäksi kemikaaleja
- usein kosteaa poltettaessa
- laatu vaihtelee.

## 4 Höryturbiinityypit

Höryturbiini on lämpövoimakone, jossa tulistettuun veteen sitoutunut energia pyritään muuttamaan roottorin pyörimisliikkeeksi. Turbiinit voivat olla teholtaan muutamista megawateista jopa yli 1500 MW:iin. Turbiinien pyörimisnopeudet ovat yleisimmin 1500 rpm tai 3000 rpm. Kuitenkin suurempia ja pienempiä nopeuksia voidaan käyttää. (Steam turbines: how big can they get? 2007.)

### 4.1 Aktioturbiini

Aktioturbiini tunnetaan myös nimillä impulssiturbiini, tasapaineturbiini ja kammioturbiini. Toiminta perustuu höyryn ja siiven törmäyksessä siirtyvään voimaan (ks. kuvio 5). Höyrystuihku ohjataan johtosiipien kautta juoksusiiville. Johtosiivissä virtauksen nopeutta kasvatetaan supistamalla johtosiiven ulostuloaukkoa. Tämä aiheuttaa paineen laskun jolloin höyryn virtausnopeus kasvaa. Tullessaan juoksusiiville höyry törmää siiven pintaan ja jatkaa matkaa menetettyään osan energiastaan. Siipi ja höyryvirran tulosuunta on suunniteltu niin, että impulssin aiheuttama työntösuunta on lähes siipien pyörimissuuntaan. Tämän jälkeen kierto alkaa uudestaan seuraavassa siipiparissa. Tehokkain tapa olisi suunnata suihku kohtisuoraan siipeä vasten mutta tällaisen turbiinin rakentaminen ei käytännössä onnistu. Aktioperiaatteella johtosiivissä ei tapahdu paineen laskua. Nykyisin puhtaasti tällä tekniikalla tehdään vain pieniä turbiineja. (Kumpulainen 2004, 2–3; Huhtinen ym. 2013, 109–116.)



Kuvio 5. Turbiinin siipien toiminnan periaatekuva (alkup. kuvio. ks. Steam turbine N.d.)

## 4.2 Reaktioturbiini

Reaktioturbiini tunnetaan myös nimillä ylipaineturbiini. Tämän turbiinityypin toiminta perustuu reaktiovoimaan. Reaktiovoima syntyy fluidin vapautuessa kuristetun suuttimen kautta matalampaan paineeseen. Vapautuessaan fluidi pyrkii kiihtymään. Koska suutin on liikkuvassa rakenteessa kiinni, se aiheuttaa vastakkaisen voiman virtaussuuntaan nähden ja saa rakenteen liikkumaan. Reaktiovoiman periaate voidaan

havaita kuvion 5 esityksestä. Reaktioturbiinin johto- ja juoksusiivillä on lähes samantyyppiset muotoilut kuin aktioturbiinin johtosiivillä. Reaktioturbiini, joka toimii 100 %:n reaktiovoimalla, ei hidasta höyryn virtausta. Tällaisen rakenteen valmistaminen on kuitenkin mahdotonta. Todellisen reaktioturbiinin toiminta perustuu reaktiovoimaan sekä aktiovoimaan, usein noin 0,5 reaktioasteella. (Kumpulainen 2004, 5—7; Huhtinen ym. 2013, 109 – 119; Steam turbine impulse and reaction blading N.d., 1—6)

### 4.3 Lauhde- ja vastapaineturbiinit

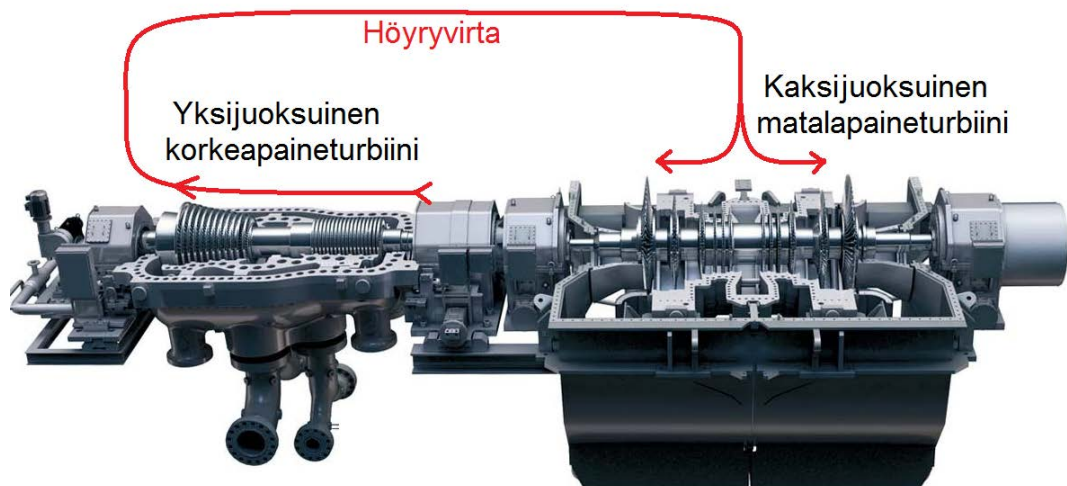
Lauhdeturbiinit olivat pitkään käytetyin turbiinityyppi, kun niitä käytettiin vain sähkön tuottamiseen mahdollisimman tehokkaalla tavalla. 1970-luvulla alettiin suuremmissa määrin käyttämään kaukolämpöä, jolloin kaikkea höyryä ei kannattanut ajaa sähköksi. Tällöin vastapaineturbiinit alkoivat yleistyä. (Kumpulainen 2004)

Lauhdeturbiinissa höyry voidaan paisuttaa lähelle tyhjiötä jopa 0,02 barin paineeseen. Tällöin kaikki paisunta höyrystä pyritään saamaan talteen ja täten sähköksi. (Höyryturbiinin perusteet N.d.) Höyryn lämpötila on kuitenkin laskenut niin matalaksi, ettei lämpöä saada tehokkaasti talteen. Kokonaishyötysuhde nousee parhailaan hieman yli 40 %:n. Vastapaineturbiineissa höyry otetaan kaukolämpölämmönvaihtimelle esimerkiksi arvoissa 1,1 bar ja 120 °C jolloin energiasisältö on huomattavasti suurempi kuin lauhdeturbiinilla. Näissä arvoissa lämpö saadaan tehokkaasti käytettyä kaukolämpöverkossa. Tällöin on saatu sähköä noin 30 %:n hyötysuhteella mutta kokonaishyötysuhde lämmönkäytön vuoksi kasvaa jopa yli 90 %:n. Taloudellisesti tämä on erittäin suuri säästö. (Mt.)

Lisäksi on olemassa turbiiniyhdistelmiä, joissa on erillinen poiskytkettävä lauhdeperä. Tällöin on mahdollista ajaa täyttä tehoa, jos sähkönhintaa on korkealla, kuitenkin joutumatta ongelmiin kaukolämmön liiallisen tuotannon kanssa. Vastapainelaitokset on myös usein varustettu apujäädyttimellä, jolloin voidaan turbiinia ajaa suuremalla teholla kasvattamalla keinotekoisesti kaukolämpökuormaa. (Mt.)

Turbiinit voidaan jakaa myös kahteen eri tyyppiin höyryn virtaussuunnan mukaan. Aksiaaliturbiinissa höyry virtaa roottorin suuntaisesti. Lähes kaikki turbiinit ovat nykyisin aksiaaliturbiineja. Radiaaliturbiinissa höyry virtaa poikittain akselista ulospäin, näistä tunnetuin on Ljungström tyyppin turbiini, jossa on kaksi lomittain pyörivää siivistöä. Radiaaliturbiineissa on molemmilla akseleilla omat generaattorit, johtuen akselien vastakkaisista pyörimissuunnista. Radiaaliturbiinit ovat aina aktio periaatteella toimivia, aksiaaliturbiinit toisin voivat olla joko aktio toimisia, tai reaktion ja aktion yhdistelmiä. (Mt.)

Kuviossa 6 on yksijuoksuinen korkeapaineturbiini ja kaksijuoksuinen matalapaineturbiini. Yksijuoksuisessa turbiinissa höyry virtaa yhteen suuntaan koko turbiinin läpi. Kaksijuoksuisessa turbiinissa höyry virtaa vastakkaisiin suuntiin kuitenkin akselin suuntaisesti. Kaksijuoksuisille turbiineille on ominaista suuret höyryvirrat ja laakereille aiheutuvien aksiaalivoimien kumoutuminen. (Mt.)



Kuvio 6. Turbiinin rakenne (alkup. kuvio. ks. D600/D400 Steam Turbines N.d.)

#### 4.4 Turbiinilohkot

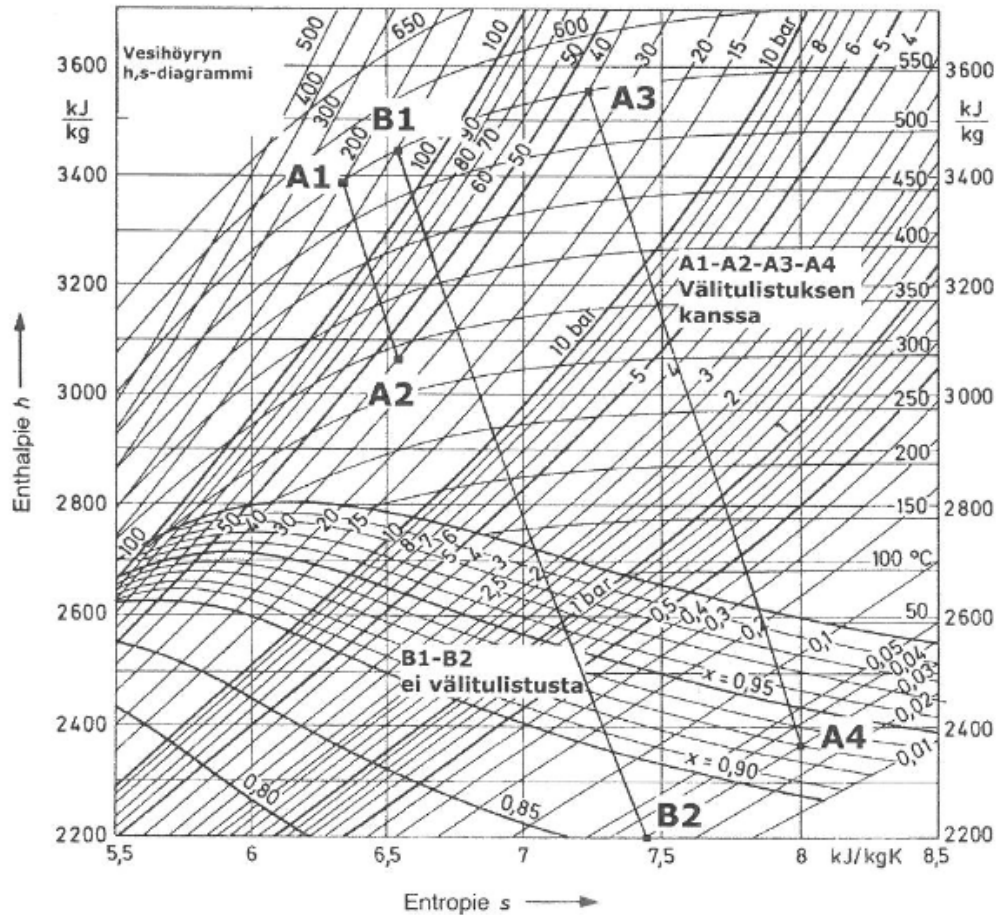
Höyryturbiini sisältää useimmiten useampia turbiinilohkoja. Ne on nimetty pesän sisällä vallitsevan paineen mukaan, yleensä kolmen eri nimen alle, korkeapaine- (KP), välipaine- (VP) ja matalapaineosa (MP). Lohkoja kutsutaan usein puhekielessä esimerkiksi KP-turbiiniksi, KP-pesäksi tai KP-osaksi. Eripaineiset osiot voivat olla saman



kuoren sisällä, eri kuorien sisällä, samalla akselilla tai eri akseleilla. Erilaisia rakenteita on useita. Suuressa ydinvoimalaitoksessa voi olla KP-, VP- ja 3 MP-osaa. Taasen pienessä lämpövoimalaitoksessa voi olla ainoastaan korkeapaineosa. Korkeapaineosassa saadaan suurin energia siirrettyä roottoriin verrattain sen jälkeen tulevien osien. Turbiinin sisältä eri siipivyöhykkeiden väliltä saadaan otettua eripaineisia höyryjä väliottojen kautta erilaisiin käyttötarkoituksiin. Osa väliottohöyryistä menee omakäyttöön, kuten esilämmityksiin ja tiivistyksiin, osa voi mennä myyntiin asiakkaille. (Huhtinen ym. 2013, 109–111)

#### 4.5 Turbiinintehon laskenta

Turbiinista saatava energia voidaan laskea turbiiniin menevän höyryn ja sieltä tulevien höyryjen määrien ja entalpia erojen pohjalta. Tässä apuna voidaan käyttää höyrykaaviota. Kuvioon 7 on merkitty erään turbiinin tulevan ja lähtevän höyryn pisteet. Vasemmalla kaaviossa on entalpia eli lämpösisältö, alhaalla entropia eli epäjärjestyksen määrä (ei olennainen tässä osiossa), sekä poikkiviivoin ja kaarin, paine ja lämpötila. Tietämällä turbiinin tulevan höyryn paineen, lämpötilan ja massavirran voimme laskea kuinka paljon energiaa höyrystä on saatu siirrettyä akselille. Seuraavassa kappaleessa on esitetty yksinkertainen lasku. (Teollisuuden energiatekniikka 2011, 6–7)



Kuvio 7. Höyrykaavio (Huhtinen ym. 2013, 55)

Kuviosta 7 nähdään, että höyryn entalpia tullessaan turbiinille on kohdassa **B1** noin  $3450 \text{ kJ/kg}$  ja sen poistuessa turbiinista entalpia on kohdassa **B2**  $2200 \text{ kJ/kg}$ . Näiden erotus  $1250 \text{ kJ/kg}$  on saatu teoriassa siirrettyä turbiinin akselin liikkeeksi. Jos höyryä kulkeutuu esimerkin turbiiniin  $20 \text{ kg/s}$ , on turbiinin teho  $25000 \text{ kJ/s}$  eli  $25 \text{ MW}$ . Teoriassa saamme tuon määrän sähköksi, mutta todellisuudessa turbiinilla on häviöitä.

$$3450 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1250 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$1250 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 20 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 25000 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$25000 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 25 \text{ MW}$$

Yleensä turbiinilla on myös väliottoja, joista otetaan höyryä eri tarkoituksiin kuten esilämmittimille tai myyntiin ulkopuoliselle kuluttajalle. Väliottojen höyryvirrat vähentävät sähköntuotantoa, mutta niiden myyminen asiakkaalle on taloudellisesti kannattavaa. (Mts. 4)

## 5 Turbiinin rakenne

Tässä osiossa kerrotaan turbiinien rakenteista. Turbiineja on useita erilaisia ja niissä jokaisessa voi olla erikoispiirteitä. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan yleispiirteitä turbiineista, esimerkkinä käytetään Kokkolan Energian Lang turbiinia.

### 5.1 Pesät

Turbiinin pesä on eristyksien alla oleva metallinen, useimmiten valettu kuori, joka on turbiinin yksi suurimmista osista. Ulkopesän sisällä voi olla myös sisäpesät, jotka taasaavat paineita ja täten ulkopesän rasitusta. Tällä menettelyllä saadaan vähemmällä materiaalikustannuksilla kestävä rakenne. Pesä on usein jaettu kahteen osaan vaakatasossa, ylä- ja alapuoleen. Näiden välistä pintaa, josta ne ovat pultattu kiinni toisiinsa, sanotaan jakotasoksi. Pesät on kiinnitetty kiinteästi toisesta päästään ja toinen pää jätetty vapaaksi lämpölaajenemisen vuoksi. Putket kiinnittyvät pesiin usein laippaliitoksien tai hitsiliitoksien. Venttiilirungot ovat usein hitsattu tai valettu suoraan pesiin kiinni. Kuviossa 8 on Lang-turbiinin korkeapaineosan pesän kansi. (Kumpulainen 2004)



Kuvio 8. Höyryturbiinin korkeapainepesän kansi hiekkapuhalluksen jälkeen

Turbiinipesille aiheutuvia rasituksia ovat lämpötilan muutoksista johtuvat jännitykset. Näiden voimasta pesään voi aiheutua muodonmuutoksia, joiden hallitsemattomuus voi aiheuttaa kiinnileikkautumisen. Suurimmat lämpötilaerot syntyvät ylös- ja alasajoissa. Näitä jännityksiä pyritään seuraamaan epäsuorasti mittalaitteella jota kutsutaan sondiksi. Se mittaa materiaalien lämpötilaeroja ja täten kertoo onko lämpötilan muutosnopeus liian suuri. (Höyryturbiinien käyttöikäopas 1991, 32)

## 5.2 Roottori

Roottori koostuu akselistä joihin on kiinnitetty juoksusiivet, labyrinttitiivisteet ja mahdolliset lisälaitteet kuten ylikierrossuoja. Akseleita voidaan valmistaa eri tavoilla. Pienemmille akseleille käytetty tapa on valmistaa akseli yhdestä takeesta. Ongelmia tällöin voi tulla kappaleeseen tulleista valuvirheistä. Suuret akselit valmistetaan usein hitsaamalla useita kappaleita yhteen. Hitsaamalla saadaan roottorista usein myös kevyempiä, koska roottorin sisäosa voidaan jättää ontoksi. Kutustusliitostekniikalla pie-

nelle akselille kiinnitetään kappaleita lämpölaajenemista apuna käyttäen. Tällöin valettavat kappaleet saadaan pieniksi, mutta toisaalta akselistä ei saada onttoa. (Kumpulainen 2004)

Kuviossa 9 on MP-roottori, johon on merkitty numeroin roottorin eri osat.

1. Pyörityslaitteen hammaspyörä (kytkinlaippa samassa)
2. Radiaalilaakeripinnat
3. Labyrinttitiivisteet
4. Juoksusiivet
5. Curtispyörä
6. Tasapainotusmännän labyrinttitiivisteet
7. Aksiaalilaakerin laakeripinnat
8. Kytkinlaippa



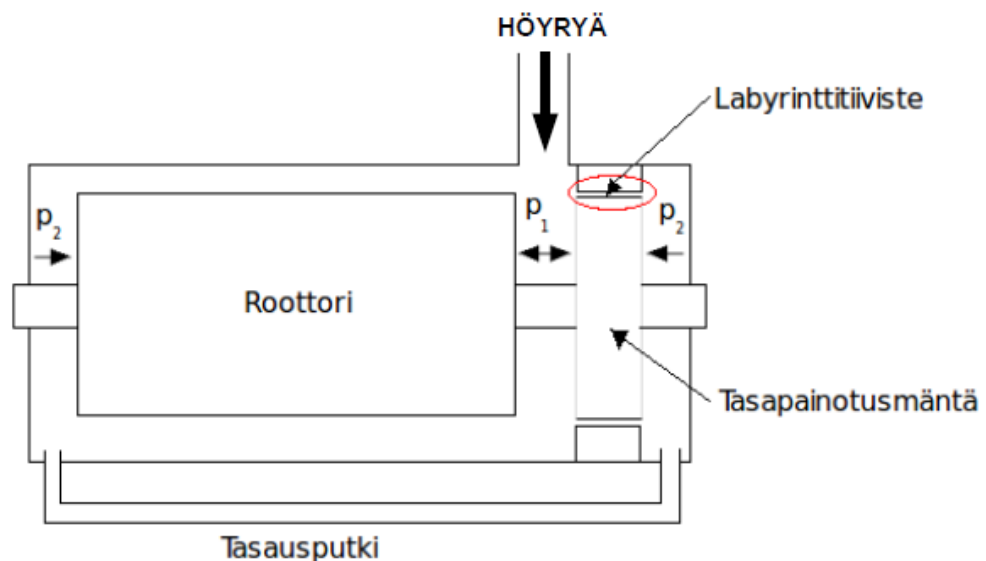
Kuvio 9. Matalapaineroottorin eri osat numeroin merkittynä

Akselille aiheutuu useita rasituksia käytön aikana. Taivutusjännitys johtuu akselin oman massan aiheuttamasta puristuksesta ja vedosta. Suurimmat voimat aiheutuvat laakereiden kohdalle ja toiseksi suurimmat laakereiden välille. Muita vaikuttavia voimia ovat keskipakovoima akselilla ja siivillä. Lisäksi reaktioturbiinille aiheutuu vetojännitystä tasapainotusmännän ja siipien toiminnasta johtuen. Lämpöjännitykset

ovat keskeisiä, kun turbiinia ajetaan ylös tai alas. Lämmitessä akselin ulkopinta lämpenee ensin ja täten aiheuttaa puristusjännitystä pinnalle, kun sisällä vallitsee vetojännitys. Alasajossa turbiinin jäähtyessä ovat akseliin vaikuttavat voimat päinvastaiset. (Höyryturbiinien käyttöikäopas 1991, 29)

### 5.2.1 Tasapainotusmäntä

Tasapainotusmäntä on turbiinin akselilla sijaitseva osa. Sen tarkoitus on vähentää aksiaalista voimaa, jonka höyryn virtaus ja paine-ero aiheuttavat roottorille. Kuviossa 10 on esitetty periaatekuva tasapainotusmännän toiminnasta. Turbiinin toiminnan seurauksena roottoriin vaikuttavat voimat painavat sen kuviossa vasemmalle. Tasapainotusmäntä on tiivistetty labyrinttitiivistein, jolloin höyry ei pääse vapaasti matalampaan paineeseen. Tiivistyksen läpi virtaa kuitenkin hiukan höyryä, joka ohjataan tasausputken kautta turbiinin matalampaan osioon. Tällöin paine-ero  $p_1$  ja  $p_2$  välillä aiheuttaa työntövoiman oikealle. Kaksijuoksuissa turbiineissa ei ole tarvetta käyttää tasapainotusmäntää, koska höyryvirta on lähes identtinen molempiin suuntiin. Ilman tasapainotusmäntää jouduttaisiin yksijuoksuisten turbiinien aksiaalilaakeroinnista tekemään erittäin suuri. (Kumpulainen 2004)



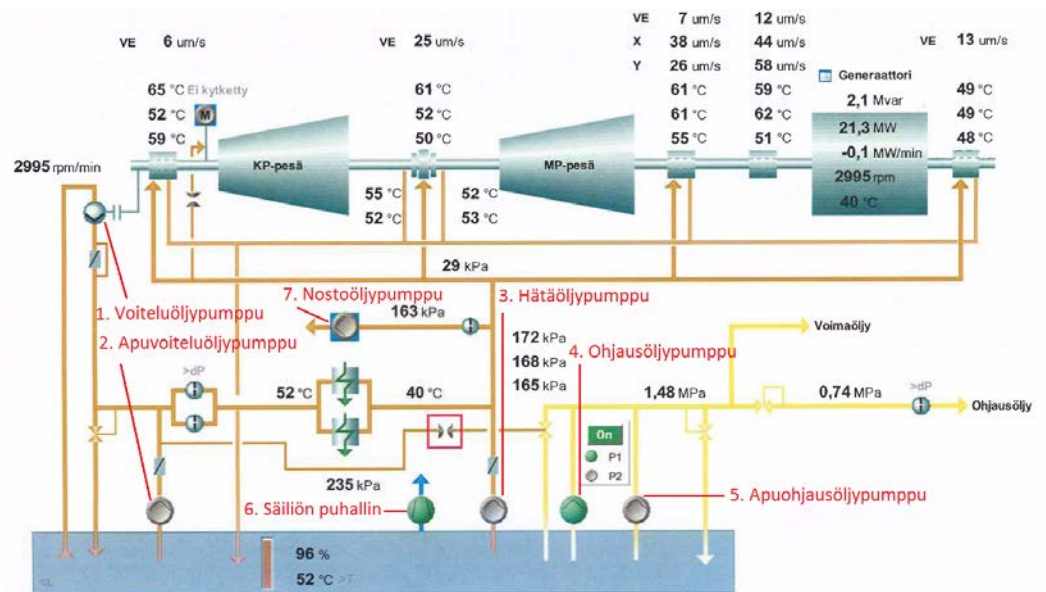
Kuvio 10. Tasapainotusmännän toiminnan periaatekuva (Kolehmainen 2011, 16)

### 5.2.2 Curtispyörä

Turbiinin siivistöt on rakennettu tietylle poikkipinnalle josta vakiopaineella ja tilavuudella kulkee tietty määrä höyryä läpi. Jotta turbiinia voidaan ajaa eri tehoilla, on höyrymäärää pystyttävä säätämään. Säätö voidaan suorittaa säätöventtiilillä suoraan niin, että höyrynpaine laskee ennen siivistöä ja höyry paisuu tilavuuteen jolla se täyttää siivistön. Tällöin kuitenkin hävitään osa entalpiaputouksesta kuristuksessa, joka on suoraan laskettavissa häviöihin. Tästä syystä turbiineissa on usein curtispyörä. Curtispyörän läpi ajettaessa höyryä kulkee höyry pienellä teholla yhden kanavan kautta pienelle osalle säätöpyörää. Tällöin iso osa entalpia putouksesta saadaan talteen höyryn paisunnan tapahtuessa siivistössä. Säätöpyörän hyötysuhde vaihtelee tehosta riippuen 50—75 % alueella, mutta jopa näinkin heikolla hyötysuhteella sen käyttäminen on järkevämpää kuin paisuttaa höyry kuristuksen avulla. Suuri paineputous curtispyörässä vähentää rasituksia seuraavilla siivistöillä, joten seuraavat siivistöt voidaan tehdä halvemmista materiaaleista. (Lang T3 käyttöohje 1977, 50)

### 5.3 Öljyjärjestelmä

Turbiinin kestävän toiminnan kannalta öljyjärjestelmä on yksi tärkeimmistä osioista. Järjestelmän tehtävänä on voidella ja jäähdyttää tärkeitä osia kuten laakerit ja akselinpyörityslaite. Turbiinissa voiteluöljypumppu saa usein voimansa turbiinin akselilta. Tällöin akselin ollessa pyörimisliikkeessä on myös öljyn saanti turvattu. Apuvoitelupumppu pumppaa öljyn laakereille turbiinin ylösajossa, kun akselilta voimansa saava pumppu ei vielä ole täydessä tehossa. Kohotusöljypumppua käytetään myöskin vain ylösajossa ja pyörityslaitteikäytöllä. Se pumppaa roottorin alle korkeapaineista öljyä, joka saa akselin nousemaan laakerin pinnalta öljykalvon päälle ja suojaa laakeripintoja täten. Kohotusöljyn paine voi olla satoja bareja. Kuviossa 11 on esitetty Kokkolan Energian turbiinin öljyjärjestelmä. (Lang T3 käyttöohje 1977, 33—34)



Kuvio 11. Kokkolan Lang turbiinin öljyjärjestelmä

Pumpuilla on myös usein kahdennuksia tai varajärjestelmiä kuten hätäöljypumppu, joka on usein tasavirtatoiminen ja saa voimansa akustosta. Hydraulisille toimilaitteille on omat pumput. Laakeripukeille öljy tulee useimmiten kuristusten kautta, joilla saadaan säädettyä laakereille sopiva öljynvirtaus. Kuristuksella säädetään virtaus siten, että laakereille saadaan haluttu lämpötila. Liian suuri öljyvirtaus voi estää alipaineen muodostumisen laakeripukkeihin jolloin akselin öljytiivisteet voivat alkaa vuotamaan. Öljyjärjestelmässä on useita suodattimia, jotka on myös kahdennettu niin, että ne voidaan ajon aikana tarvittaessa vaihtaa. Öljyn lämpötila pidetään usein 35–45 °C välissä riippuen öljyn ominaisuuksista. Öljyjärjestelmään kuuluu usein myös palosuoja-venttiili, joka mahdollisen tulipalon sattuessa päästää öljyn säiliöön niin, ettei öljy leviä ympäristöön ja täten aiheuta suurempaa vaaraa. Palosuoja-venttiili ei laukea automaattisesti, vaan se on laukaistavissa painikkeesta valvomosta tai vivusta turbiinilta. (Mts. 34–36)

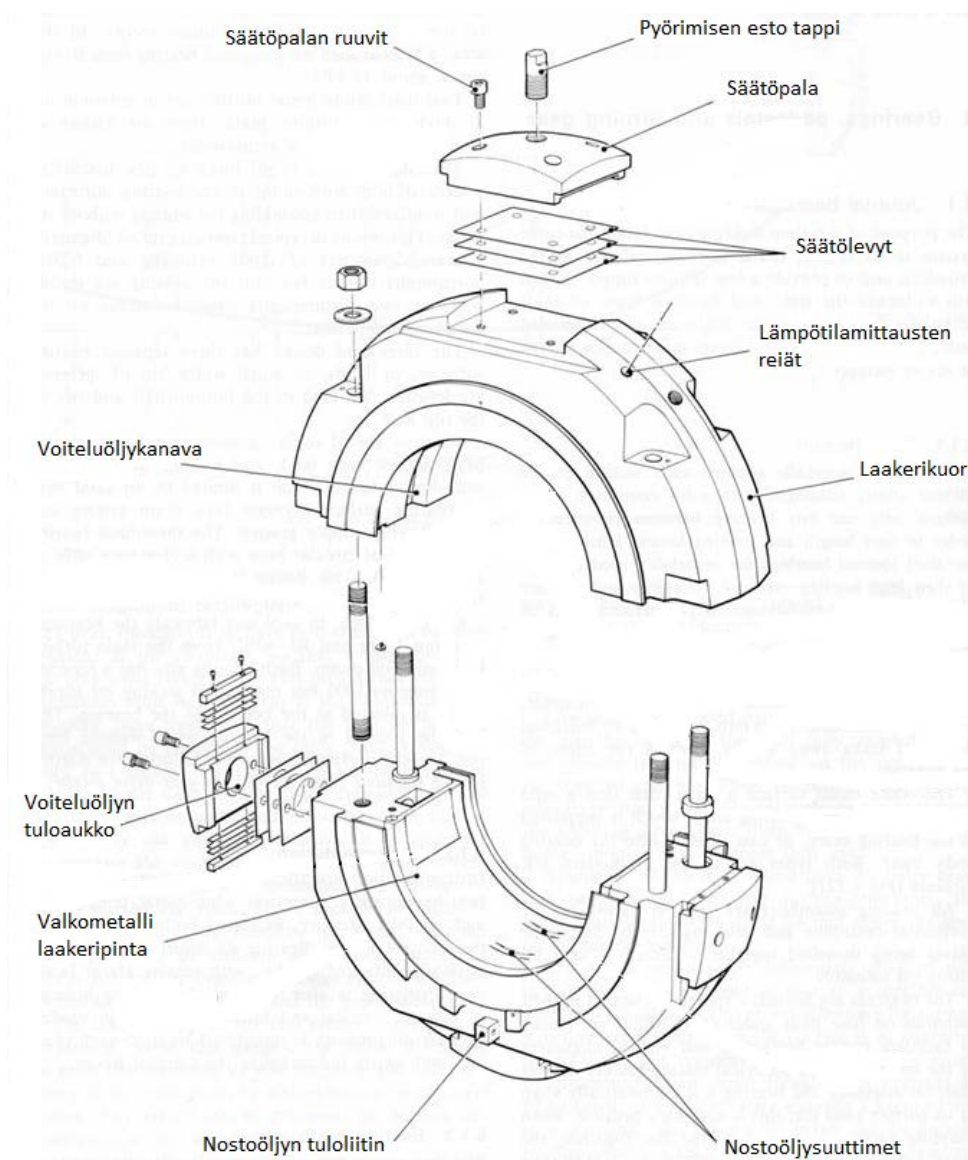
## 5.4 Laakerit

Turbiinin ja generaattorin laakerit ovat poikkeuksetta liukulaakereita, joiden laakeripinta on valkometallia. Valkometalli on seosmetalli, minkä pää raaka-aineet ovat



tina, antimoni ja kupari. Laakerin voiteluun käytetään öljyä, jonka tarkoitus on tehdä kalvo akselin ja laakeripinna väliin kitkan ja kulumisen vähentämiseksi. Tällaista ratkaisua kutsutaan hydrodynaamiseksi laakeriksi. Laakerien toimintalämpötila on usein 50 – 60 °C, ylärajana 70 °C.

Laakerien rakenne voidaan nähdä kuvista 12. Laakerin säätölevy voi olla pallopintainen tai yhteen suuntaan kaareva. Levyn alla on usein säätölevyjä, joilla laakerin välykset ja istuminen laakeripukkiin saadaan säädettyä kohdalleen. Laakerirunkoon kiinnitetty valkometalli on usein keskipakovalettu, ruiskuvalettu tai muotissa valettu. Lisäksi laakerirungossa on paikat lämpötilamittauksille, kohotusöljyputkelle, sekä mahdollisesti öljyn tiivisterenkaille. (Hargitai 2015.)



Kuvio 12. Laakerien rakenne (alkup. kuvio. ks. The steam turbine N.d.)

## 5.5 Venttiilit ja toimilaitteet

Turbiinin höyrynsäätö tapahtuu usein lautasventtiileillä. Kuviossa 13 on Kokkolan Lang turbiinin säätöventtiilin kara ja lautaset. Venttiilien toiminta ei juuri poikkea normaaleista istukkaventtiileistä. Venttiilin kara kytkeytyy toimilaitteen karaan kytkimellä. Venttiilien lautasten ja istukan vastepinnat on usein pinnoitettu, jotta ne kestävät kulutusta paremmin.

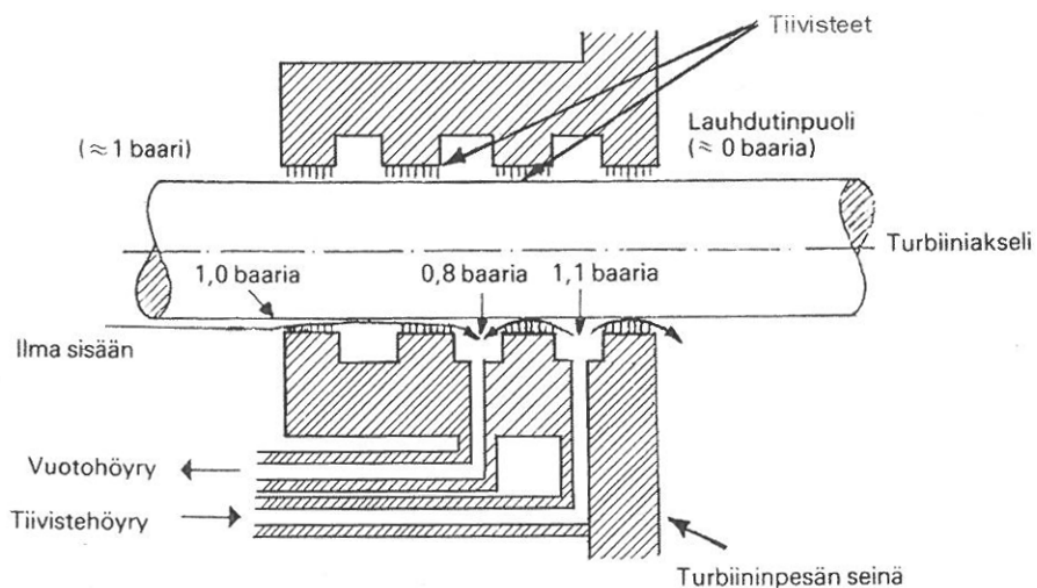


Kuvio 13. Venttiilien lautaset ja karat

Toimilaitteet ovat nykyisin poikkeuksetta öljytoimisia. Toiminta perustuu öljynpaineen aiheuttamaan avautumaan ja jousen sulkeumaan. Öljynpainetta säätämällä saadaan jouseen vastaava kara nousemaan haluttuun asemaan. Tällöin karan noustessa pääsee voimaöljy vaikuttamaan varsinaiseen säätökaraan. Tällaisella kaksoisohjauksella saadaan säätölaitteet rakennettua pienemmille paineille ja ohjauksen tarkkuus paranee. (Hargitai 2015)

## 5.6 Tiivisteet

Turbiinin korkeapaineisiin osiin, kuten jakotasoihin, ei käytetä tiivisteaineita. Jako- taso on koneistettu ja hiottu erittäin tasaiseksi jolloin metalli – metalli kosketuksella saadaan tiivis liitos kun pintoihin saadaan tarpeeksi suuri puristusjännitys. Tämä saa- daan aikaa kiristämällä jakotasopultit vaadittavaan momenttiin. Matalapaineisella puolella voidaan käyttää erilaisia tiivisteaineita. Putkistojen tiivistykset tehdään pai- neista riippuen metallisilla, metalli-grafiitti tai grafiittitiivisteillä. Turbiinin akselien tii- vityksessä on käytetty eniten labyrinttitiivisteitä. Tiivisteiden toiminta perustuu höy- ryn kuristamisen ja paisuttamisen aiheuttamaan pyörteilyyn ja paineen laskuun. Höy- ryn virratessa tiivisteiden harjasten yli, menettää se osan paineestaan jolloin seuraa- valla harjaksella on edellistä pienempi paine. Tiivisteiden läpi virtaa aina vähän höy- ryä. Jotta höyryn vuotaminen ulos pesästä saadaan estettyä, käytetään poikkeuk- setta aina kuvion 14 mukaista rakennetta. (Kumpulainen 2004)



Kuvio 14. Tiivistehöyryn toiminta (Huhtinen ym. 2013, 126)

Tiivistemoduulin sisällä on vuotohöyrykanava, jossa on alipaine. Alipaine vetää höy- ryä turbiinin sisältä ja ilmaa turbiinisalista sisäänsä. Lisäksi moduulin sisään johdetaan tiivistehöyryä, minkä tarkoitus on estää ilman joutuminen turbiinin sisään alipainei- silla osilla kuten MP-pesässä. Tiivistehöyry syötetään ylösajon aikana ulkopuolisesta

lähteestä, mutta turbiinin käydessä normaalisti tulee höyryn syöttö korkeapaineisimmasta tiivistemoduulista muihin. (Mt.)

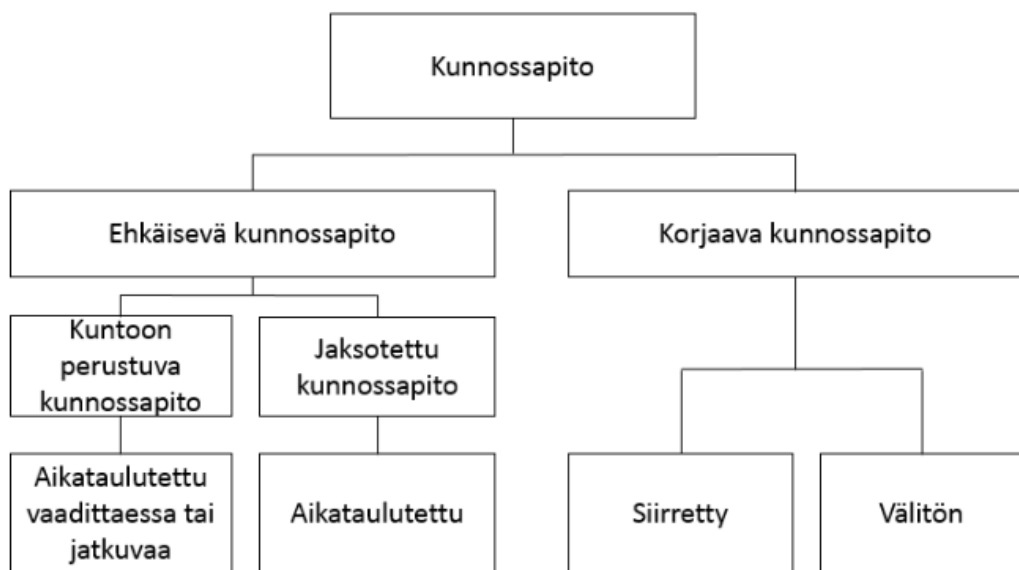
## 6 Kunnossapito

Laitteen hyötysuhde heikkenee aina ajan kuluessa. Yllättäviä laiterikkoja sattuu, jollei laitteistoa valvota ja ylläpidetä. Kuitenkin kunnossapito usein mielletään korjaimiseksi, mutta se tarkoittaa myös ehkäisevää ja parantavaa toimintaa. Laitteiden kuntoa valvotaan nykyään reaaliajassa tai suunnitellun aikataulun mukaan. Nykyisin erilaisten tuotantolaitosten ollessa usein suurehkoja, on kyse niin suurista tuotannon menetyksistä, että on järkevää pitää laitteita varastossa tai valmiiksi kytkettynä esimerkiksi kaksi rinnan. Tällöin häiriötilanteessa saadaan jatkettua tuotantoa ilman katkosta. Kriittisen laitteen rikkoutuminen voi aiheuttaa myös suurta vaaraa ihmisille. Laitteita ei siis kannata päästää siihen pisteeseen, jotta tuotanto katkeaa laitteen rikkoutumisesta. Kunnossapidon kustannuksia on viime vuosina pyritty laskemaan kasvavien säästötarpeiden takia. Tästä syystä kaikkia laitteita ei kannata kytkeä reaaliaikaisiin mittauksiin tai kahdentaa, koska se usein maksaa paljon. Kunnossapidon tarve on tärkeää optimoida käyttöturvallisuuden ja taloudellisuuden vuoksi. Myös laitteiden purkamisen ja huollon aikana voi mennä asioita pieleen, joskus saatetaan huollolla saada enemmän tuhoa aikaan, kuin jättämällä työt tekemättä. (Järviö & Lehtiö 2012, 17–20)

### 6.1 Kunnossapidon osa-alueet

Kunnossapidon eri osa-alueet voidaan jakaa eri tavoin, kuviossa 15 näkyvä tapa on SFS-EN 13306:2010 standardin mukainen. Korjaava kunnossapito suoritetaan laitteelle, jossa on jokin häiriö. Jos laite on kahdennettu tai sen vikaantuminen ei aiheuta ongelmaa, voidaan sen korjaamista lykätä esimerkiksi seuraavaan revisioon asti. Kuitenkin tämän päätöksen teko voi olla hankalaa, jos on olemassa riski myös korvaavan

laitteen hajoamisesta. Ehkäisevä kunnossapito on jaettu myös kahteen osaan, kuntoon perustuvaan ja jaksotettuun kunnossapitoon. Kuntoon perustuvassa seurataan laitteen toimintaa erilaisilla mittauksilla, määräaikaistarkastuksilla tai esimerkiksi operaattorin huomioihin perustuvalla seurannalla. Laite siis huolletaan tai korjataan silloin, kun siihen havaitaan aihetta. Jaksotettu kunnossapito voidaan tehdä esimerkiksi määrätyn tuntivälin tai vuosivälin mukaan. Turbiinirevisio voidaan tehdä esimerkiksi aina kahdeksan vuoden välein. (Mts. 46—53)



Kuvio 15. Kunnossapidon osa-alueet (SFS-EN 13306:2010)

## 6.2 Turbiinin kunnonvalvonta

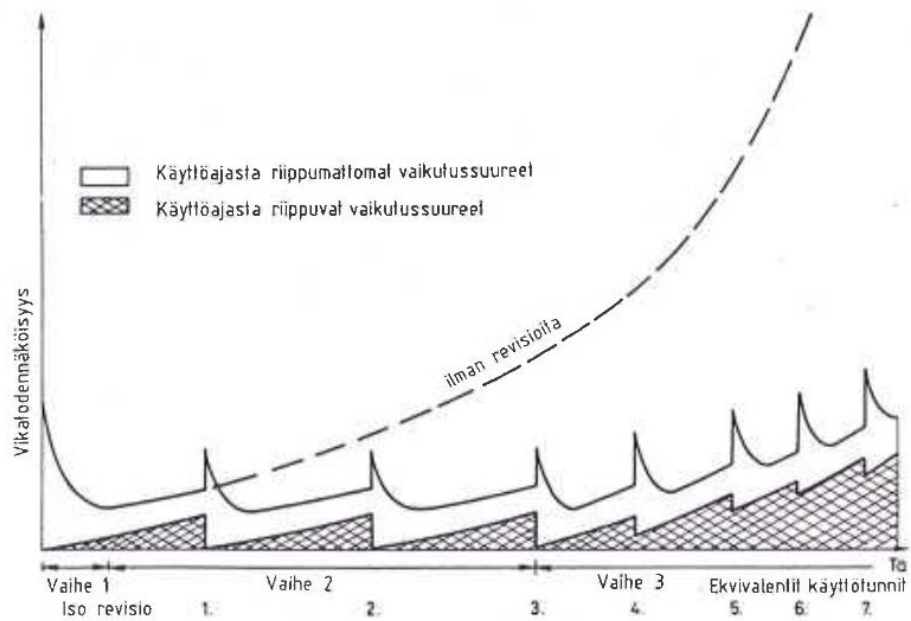
Turbiinin kunnonvalvonta on tarpeen turvallisuuden ja tuotantovarmuuden kannalta. Paisuntahyötysuhde kertoo turbiinin tehokkuudesta suorittaa sen päätarkoitusta, muuttaa höyryyn sitoutunut energia liike-energiaksi. Paisuntahyötysuhde laskee usein 1—2 % alkuperäisistä arvoista käytön aikana. Syitä ovat mm. pintojen karhentumiset ja asennusvirheet. Uusille turbiineille suositellaan tarkempaa valvontaa ensimmäisten käyttövuosien aikana. Tämä valvonta antaa tietoa tulevista revisioväleistä. (Toppila & Pietikäinen 1991, 43—45)

Ennen revisiota on suositeltavaa tehdä turbiinille mittauksia, jotka toimivat vertailukohtana huoltojen jälkeisille mittauksille. Näin saadaan tietoa turbiinin kunnosta ja yksilöllisestä toiminnasta. Tulosten perusteella voidaan jatkossa oppia lukemaa mihin huoltoon revisiossa on eritoten varauduttava. Turbiinille on usein asennettu mittalaitteita, joilla saadaan reaaliaikaista tietoa. Usein turbiinilla on akselivärähtelyn, laakerivärähtelyn ja suhteellisen venymän anturit. Näillä mittalaitteilla voidaan havaita muun muassa laakerivikoja ja lämpötilaerojen aiheuttamia muodonmuutoksia. Näillä tiedoilla voidaan välttää useita vaaratilanteita ja rahallisia menetyksiä (Mts. 45)

### **Revision tavoite**

Revision tavoitteena yleensä on selvittää turbiinin kunto, sekä poistaa, siirtää tai seurata tunnettuja vikoja. Vanhoilla turbiineilla saadaan myös tietoa siitä, kuinka kauan laitteilla on vielä käyttöikä jäljellä. Revisiovälit ovat nykyisin kasvaneet kunnonvalvonnan paranemisen takia, parempien simulaatioiden ja laskentamenetelmien vuoksi sekä tietenkin kunnossapitoon osoitettujen varojen vähennyksen takia. (Kumpulainen 2004)

Kuviosta 16 nähdään turbiinirevisioiden vaikutus vikaantumiseen. Revision valmistuttua on aina riski, että on tullut asennusvirheitä tai on käytetty viallisista varaosista, mitkä lisäävät laiterikkojen mahdollisuutta. Turbiinin käyttöiän kasvaessa revisiovälien tulisi lyhentyä. Revisiossa suoritettavien tarkastusten tuloksissa on usein mainintoja seuraavista suositeltavista tarkastusajankohdista. Suositus voi olla esimerkiksi 20 000 käyttötunnin päästä suoritettava uusintatarkastus. (Toppila & Pietikäinen 1991, 50—51)



Kuvio 16. Vikatodennäköisyys kaavio (Toppila & Pietikäinen 1991, 50)

Revision aikana on turbiinille tulee tehdä erityyppisiä tarkastuksia kappaleeseen aiheutuvista rasituksista riippuen.

Erilaisia tarkastusmenetelmiä ovat

- silmämääräiset tarkastukset
- tunkeuma-ainetarkastukset
- ultraäänitarkastukset
- (digi)radiografiatarkastukset
- mittaukset käsin, mm. mikrometrillä
- jäljennetarkastukset.

## 7 Lang turbiinirevisio 2015, Kokkola

### 7.1 Ohje raportin lukijalle

Raportti etenee aikajärjestyksessä töiden aloittamisajankohdan mukaan. Otsikoiden alla on päivämäärät, jolloin kyseinen työtapahduma on aloitettu ja lopetettu. Raporttia lukiessa voidaan käyttää apuna liitettä 1, jossa on osakuva turbiinista. Kuvaan on merkitty ja nimetty turbiinin osia. Kun raportissa puhutaan turbiinin oikeasta tai vasemmasta puolesta, laakereiden numeroista ja muista vastaavista asioista, on asia kuvattu turbiinin KP-osasta, MP-osaa kohti katsoen. Ainoa poikkeus on johtosiipikannattimet turbiinin sisällä, jotka on nimetty höyryn virtaussunnan mukaan 1—3.

### 7.2 Suunnittelu

Revision suoritusajankohta kesälle 2015 päätettiin alustavasti vuoden 2014 syksyllä. Revision tilaamisesta avaimet käteen periaatteella käytiin keskusteluja, mutta työ päätettiin suorittaa omana työnä. Joulukuussa 2014 lähetettiin tarjouskyselyjä eri urakoitsijoille, ja vuodenvaihteen jälkeen lupa revision suorittamiseen saatiin. Tammi – maaliskuun aikana käytiin keskusteluja valittujen urakoitsijoiden kanssa tulevista töistä. Revision suunnittelussa ei ollut varsinaista projektiryhmää, vaan suunnittelussa käytettiin apuna ulkopuolisia turbiiniasiantuntijoita.

### 7.3 Valmistelut

Asentajia revisioon varattiin yhdeksän henkeä. Työmaapäällikkönä toimi käynnissäpitomestari Tuikka ja revision valvojana ja johtajana turbiiniasiantuntija Hargitai. Hargitai tutustui turbiiniin ja alueeseen kaksi kuukautta ennen revision alkua ja teki alustavan aikataulun turbiinin purkamisesta. Käynnissäpitomestari hoiti revision hankinnat,



kuten urakoitsijat, työkalut, koneistukset ja varaosat. Mittalaitteet ja osa työkaluista hankittiin ulkopuolisilta urakoitsijoilta.

Valmistellessa työaluetta turbiinisalin lattia peitettiin suojalevyillä, jotta lattian pinta ei vaurioituisi töiden aikana. Nostoaukon alaosa tyhjennettiin työhön kuulumattomista osista. Roskia varten varattiin roska-astioita ja jätelavoja. Irrotetuille osille varattiin erikokoisia muovilaatikoita sekä puisia lavoja ja pukkeja. Osien huoltoa varten paikalle tuotiin erikokoisia pöytiä.

## **8 Revision aloitus ja turbiinin purku**

### **8.1 Alasajo ja mittaukset**

12.5 – 13.5.2015

Turbiinin alasajo suunniteltiin suoritettavan 12.5.2015 mutta tehdasalueen asiakkaalla havaitun ongelman vuoksi ei tuotantoa voitu lopettaa joten alasajoa piti siirtää vuorokaudella. Urakoitsijoiden mittalaitteet alasajoa varten kytkettiin 12.5.2015. Turbiinin pikasulku suoritettiin 13.5.2015 kello 10.20. Turbiinin alas rullaus kesti 48 min. Alasajon aikana ei havaittu ongelmia. Turbiinille tehtiin värähtelymittauksia tuotannon, tehon laskun ja alas rullauksen aikana. Huomattavaa: Jos mittalaitteiden sijainnista muutetaan radikaalisti, eivät aiemmat tulokset ole välttämättä enää vertailukelpoisia uusien kanssa.

### **8.2 Äänisuojan ja eristeiden purku**

14.—24.5.2015

Äänisuojan poistosta urakoitsijan puolelta vastaava henkilö kävi tutkimassa suojan rakennetta 14.5.2015. Sähköasentajat purkivat sähköt ennen suojan kappaleiden

purkua. Kappaleet oli kasattu ja kiinnitetty pulttiliitoksien. Osat siirrettiin ulos, jossa ne suojattiin sateelta sekä sidottiin kiinni, jottei tuuli kaada niitä. Muutamia suurimpia kappaleita jätettiin turbiinisaliin.

Eristeiden purkua varten urakoitsija rakensi turbiinin päälle muovikatoksen, jottei pöly leviä koko halliin (ks. kuvio 17). Katoksen kantava runko tehtiin rakennustelineistä ja 4”x 4” :n parruista, jotka kulkivat telineiden tasolta tasolle. Katoksen sisälle tuotiin puhallin, jonka ulospuhallusputki kulki hallin kulmassa olevasta ovesta ulos. Näin saatiin katoksen sisälle alipaine, joka vähensi myös pölyn leviämistä turbiinisaliin. Purkujätettä varten varattiin turbiinin molemmille puolille jätelavat. Eristeiden purku alkoi 21.5.2015. Suojakatos poistettiin 23.5.2015. Tällöin aloitettiin alueen imurointi eristejätteestä, imurointi oli valmis 24.5.2015.



Kuvio 17. Pölysuoja purkua varten

### 8.3 Turbiinin purun aloitus

24.5.2015

Alkuperäisenä tavoitteena oli saada turbiinin akselit pois kahdessa viikossa, jotta suuriin korjaustoimiin jouduttaessa saataisiin kappaleet nopeasti huoltoon. Päivä ennen

varsinaisen purun aloitusta tehtiin pulteille irrotusvoitelu. Samalla yritettiin poistaa kaksi kartiotapia KP-pesästä. Toinen tappi oli juuttunut kiinni niin, että se jouduttiin poraamaan pois myöhempänä ajankohtana (1.6.2015). Kartiotappien tarkoitus on asennettaessa kohdistaa pesä oikeaan asentoon. Purkutöitä tehtiin ensimmäiset kaksi viikkoa pidennettyinä päivinä.

Konkreettinen turbiinin purku alkoi kytkimen 1. pulttien avaamisella. Useita pultteja oli jumissa, minkä takia yksi pultti katkesi, viideltä pultilta katkesi murtotappi ja kuusi pulttia aukesi. Pulttien poraamiseen ja reikien hoonaanamiseen tilattiin urakoitsija. Hoonaus valmistui 10.6.2015.

Korkeapaineosan jakotasopultit ja mutterit avattiin induktiolämmittimen avulla. Lämmittimen induktiokela työnnettiin pultin sisään yksi kerrallaan, jolloin pultin lämpölaajenemisen seurauksena mutteri voitiin kiertää kevyesti auki. MP-osan ja KP-osan pienemmät pultit eivät olleet lämmitettäviä, joten niiden mutterit jouduttiin avaamaan lyöntiavaimella. Pultit saatiin ruuvattua pois paikoiltaan käsin tai putkipihdeillä auttaen. Ennen kun pesien kansia voitiin nostaa, piti kaikki niiden päällä ja niissä kiinni olevat putket irrottaa (ks. kuvio 18).

Seuraavat putkistot täytyi irrottaa

- toimilaitteiden öljyputket
- vuotohöyryputket
- MP-säätöventtiilien yhdysputket
- KP-säätöventtiilien yhdysputket (alapäästä, yläosa hitsattu)
- tasapainotusmännän yhdysputki
- venttiilien painemittausputket
- venttiilien karojen vuotohöyryputket.



Kuvio 18. Turbiini eristeiden purun jälkeen

Purkuvaiheen alussa havaittiin kaksi pientä höyryvuotoa. KP-säätöventtiilillä 4. oli karran vuotohöyryputki löysästi kiinni. Putki oli vuotanut höyryä eristeiden väliin. Lisäksi merkkejä vuodosta havaittiin MP-pesän jakotasossa turbiinin oikealla puolella neljän pesänkappaleen liitoskohdassa.

#### 8.4 Kansien nosto

26—27.5.2015

Pesien kansien nosto aloitettiin pressiruuveilla. Ruuveista avaimella kiertäen pesä nousee hitaasti. Jos jokin osa tarttuu kiinni pesän avauksessa, on se helpompi havaita tällä tavoin. Kun pressiruuveja kiristämällä pesät irrotettiin toisistaan, laitettiin jakotason väliin korotuspaloja (ks. kuvio 19), jolloin pressiruuvit voitiin kiertää auki ja jättää pesät erilleen. Tämän jälkeen pressiruuviin alle laitettiin korotuspalat, jotta ruuvia kiertämällä saatiin taas kantta nostettua lisää. Kantta nostettiin tällä tavoin noin 20 mm.

Tämän jälkeen kiinnitettiin nostolaitteet pesän kanteen ja nosturiin. Nostossa käytettiin liinoja sekä ketjugaljoja. Ennen kannen nostoa kierrettiin ohjauspultti paikoilleen. Tämän tarkoitus on pitää pesä oikeassa asennossa noston ajan. MP-kannen toinen ohjainpultti puuttui. Tästä syystä nostaminen tehtiin erittäin varovaisesti. Kun laitteet oli säädetty kohdalleen, nostettiin kantta aluksi muutamia millejä kerrallaan. Kulmissa tehtiin koko noston ajan mittauksia, jotta tiedettiin, nouseeko kansi tasaisesti. Kansi laskettiin lopulta turbiinisaliin lankkujen päälle, jottei jakotaso vaurioidu.



Kuvio 19. Kannen avaus pressipulteilla

KP-kannen nostoa hankaloitti kiinni tarttunut kartiotappi. Kuitenkin pressiruuvien ja myöhemmin nosturin voimasta kartiotappi irtosi alemmasta pesästä. Säätoventtiilien yhdysputkien pultteja jouduttiin sahaamaan poikki, koska osa niiden muttereista oli juuttunut kiinni. Kansi laskettiin generaattorin rinnalle puisten pukkien päälle niin, että kartiotapin poraaminen kannesta pois olisi mahdollista.

## 8.5 Venttiilit ja toimilaitteet

26 – 28.5.2015.

Alemmat MP-toimilaitteet irrotettiin, ennen kuin pesän kansi nostettiin pois paikoiltaan, jottei kantta tarvitse nostaa niiden yli. KP- ja MP-kansissa olevat toimilaitteet poistettiin vasta, kun kannet oli nostettu pois paikoiltaan, ettei turbiinin päälle tarvitsi rakentaa väliaikaisia telineitä. Kansien oltua salissa puiden päällä, tehtiin niiden ympärille telineet, joilta toimilaitteiden irrotus tapahtui. Pikasulkuventtiilit ja alemmat KP-toimilaitteet irrotettiin pesien kansien noston jälkeen. KP-venttiilin 4. kara oli jumissa venttiilin kannessa. KP-osan ollessa nykykäytöllä, venttiiliä käytetään vain ylösajossa. Karan uskotaan tarttuneen kiinni vähäisen käytön vuoksi. Kara saatiin irti lyömällä sitä.

## 8.6 Johtosiipikannattimet

27.5.2015

Osa johtosiipikannattimien jakotasomuttereista oli erittäin tiukasti kiinni. Muttereita ja niiden alla olevia holkkeja kuumennettiin kaasupillillä, minkä jälkeen ne aukesivat helposti. Holkit heitettiin pois, koska niiden kestävyydestä ei voitu olla varmoja kuumennuksen jälkeen. Akselin noston jälkeen irrotettiin kannakkeiden alapuolet. KP-johtosiipikannattimen 1. noston jälkeen 29.5.2015 nähtiin merkkejä kiinnileikkautumisesta (ks. kuvio 20). Siipivyöhykeessä 1. oli nähtävissä labyrinttitiivisteiden kulumisia pois, katkennut siipi ja vääntyneitä siipiä.



Kuvio 20. Vaurioita korkeapaineroottorilla

## 8.7 KP-roottorin nosto

10.6.2015

Kytkimen 1. pulttinreikien hoonauksen valmistuttua, aloitettiin roottorin noston valmistelu. Kytkinlaipan alle asennettiin kannatinpala ennen kuin viimeinen pultti poistettiin, jotta akseli ei tipu siipiensä varaan (rakenne: kytkin ennen laakeria). Kytkintä avattiin ulkopinnasta noin 10 mm pressipultilla, jotta sisäpuolen olake tulee toisen akselin sisästä pois. Kytkinten väliin laitettiin ohut alumiini suikale, jotta nostossa kytkinlaipat eivät vahingoita toisiaan. Roottorin nostokohdiksi valittiin etupäästä laakerin jälkeinen taso ennen labyrinttitiivisteitä ja takapästä pinta ennen kytkimen laippaa. Noston aikana molemmissa päissä roottoria ja sivuilla oli asentajat ohjaamassa nostoa. Roottori laskettiin pukille, joka oli roottoria varten valmisteltu. Roottoria voitiin tutkia ja sille voitiin tehdä tarkastuksia sen ollessa pukilla.

KP-roottorin nostossa käytettiin seuraavia apuvälineitä

- 100 / 25 tn nosturia
- 2 kpl 5 tn päällysterakseja (kaksin kerroin)
- KP-akselin nostopuomi
- 2 kpl 8520 kg lenkkivaijereita (kaksin kerroin).

## 8.8 MP-roottorin nosto

16.6.2015

MP-roottori nostettiin samalla tavoin kuten KP-roottori aiemmin. Puomi sekä liinat asetettiin paikoilleen, jonka jälkeen puomin muttereita säädettiin niin, että roottori nousee vaakatasossa. Etummaisena nostoliinan paikaksi valittiin aksiaalilaakerin laipan takana oleva pinta. Taaempi liina laitettiin heti labyrinttitiivisteiden takana olevalle pinnalle (ks. kuvio 21).



Kuvio 21. Matalapaineroottorin nosto



Noston alku sujui hyvin, kunnes roottorin etupää tarttui kiinni. Akselia pystyttiin liikkuttamaan, joten se ei ollut jumissa, kuitenkin se ei noussut ylöspäin. Akseli laskettiin takaisin laakereiden päälle, jolloin havaittiin yhden etupään tasapainotuspultin olevan ulkoneva. Akselia pyöritettiin, jotta pultin kohta oli vapaa nousemaan. Akseli nostettiin pois pesästä ja vietiin lasikuulapuhallettavaksi.

MP-roottorin nostossa käytettiin seuraavia apuvälineitä

- 100/25 tn nosturi
- 2 kpl 8000 kg päällysterakseja (kaksin kerroin)
- KP-akselin nostopuomi
- 2 kpl 3000 kg päällysterakseja (kaksin kerroin).

## 8.9 Laakerit

27.5 -16.6.2015

Kun laakeripukkien kannet oli nostettu pois, irrotettiin öljyn tiivisterenkaat pukeista ja niiden kohdat puhdistettiin, jotta tältä paikalta saadaan tehtyä mittaukset joista selviää akselin asema suhteessa pukkisiin. Samalla aloitettiin instrumentoinnin poisto. Jotta laakerit saatiin purettua ja tarkastettua silmämääräisesti, laitettiin askelinkohotusteline paikoilleen laakeripukin jakotasolle. Telineen pulteista kiertämällä akselia nostettiin noin 0,4 mm mittakellosta katsoen. Jos akselia nostaa liikaa, voi turbiinin sisällä olevat labyrinthitiivisteet vaurioitua. Tämän jälkeen voitiin laakeri avata jakotasaan ja nostaa pois paikoiltaan. Laakerit tarkastettiin silmämääräisesti, jotta selviäisi mahdolliset vauriot laakeripinnoissa. Laakereissa ei havaittu ongelmia, joten ne kasattiin takaisin paikoilleen. Laakeria 4. irrotettaessa käytettiin akselin kohotukseen tunkkia, koska sille ei ollut nostotelinettä rakenteellisista syistä johtuen. Laakerin 3. tarkastuksessa huomattiin kohotusöljyputken olevan poikki, kuitenkin tämä ei ollut aiheuttanut laakerille vaurioita.

## 9 Huollot

### 9.1 Pesät

29.05 – 31.7.2015

Alapesille tehtyjä puhdistuksia oli vain jakotason ja tiivistepintojen hionta. Molem-  
mille pesien kansille tehtiin seuraavat työt

- KP- ja MP-kannet hiekkapuhallettiin päältä päin. Tiivistepinnat suojattiin hiekkasuihkulta.
- Jakotasot ja tiivistepinnat hiottiin käsin puhtaiksi.
- Endoskoopipireiät ja mittataskut avattiin ja puhdistettiin. Yksi mittatasku vaihdettiin uuteen.
- KP-yhdysputken oikea vesityslinja uusittiin.
- Tarkastuksissa havaitut säröt hiottiin pois. MP-pesässä havaittiin syvempiä säröjä, jotka hiottiin pois. Hionnan seurauksena syntyneet kuopat täytettiin erikoismassalla ja peitettiin levyin.

### 9.2 Johtosiipikannattimet

26.6 – 25.8.2015

KP-johtosiipikannattimessa 1. oli jälkiä kiinnileikkautumisesta. Kannatin lähetettiin korjattavaksi Puolaan, jossa siihen asennettiin uudet siivet ja labyrinttitiivisteet. Muiden johtosiipikannattimien rungon tiivistepinnat lasikuulapuhallettiin ja jakotasot hiottiin käsin.

Kannattimien asema mitattiin laserlinjaus laitteella, jonka jälkeen tarkastettiin niiden kokonaissivuttaisvälyys. Näiden tietojen pohjalta tiedettiin kuinka paljon alla olevia säätöpaloja (ks. kuvio 22) pitää koneistaa ja miltä puolen, jotta kannattimet olisivat keskellä pesään nähden ja niiden välykset olisivat oikeat. Säätöpalat kohdistavat kan-

nakkeen sivuttaissuunnan. Korkeus säädetään johtosiipikannakkeen alapuolella olevilla tassuilla. Kiinnileikanneen kannakkeen ja säätöpalan kosketus oli heikko, minkä takia säätöpala korotettiin 3 mm.



Kuvio 22. Johtosiipikannakkeen säätöpala irrotettuna

### 9.3 KP- ja MP-roottorit

10.6.—2.7.2015

Korkeapaineroottorin ensimmäisen vyöhykkeen juoksusiivet olivat leikanneet kiinni johtosiipikannattimen 1. kanssa. Havaittuja vaurioita oli mm. vääntyneet siivet, yksi katkennut siipi ja labyrinthitiivisteiden kuluminen pois. Roottori ja johtosiipikannatin lähetettiin huoltoon Puolaan. Roottoriin tehtiin ensimmäinen siipivyöhyke uudestaan ja curtispyörässä havaittuja säröjä sorvattiin pois. Lisäksi roottorille tehtiin simulointi, jolla selvitettiin tarvitseeko curtispyörän sorvattu ura täyttää. Simulaation mukaan ei tarvinnut. Roottori saatiin takaisin huollosta 19.10.2015.

Roottorin vanhoissa siivissä havaittiin muutamia syöpyneitä reikiä, joista löytyi maininat jo vuoden 2004 revisiossa. Syöpymille ei nähty tarpeelliseksi suorittaa mitään toimenpiteitä. MP-roottori lasikuulapuhallettiin labyrinttitiivisteitä lukuun ottamatta.

Roottoreille tehtiin seuraavia tarkastuksia

- KP-curtispyörän simulaatio sorvauksen jälkeen
- KP-curtispyörän ultraääni ja RTG
- KP-roottorin materiaalille jäljennetarkastukset
- KP-roottorin hitsisaumojen ultraääni
- MP-roottorin hitsisaumojen ultraääni.

## 9.4 Laakerit

24.6.—17.7.2015

Laakereiden huolto ja tarkastus tapahtui jokaiselle laakerille pääpiirteittäin samoin.

Tehtävien järjestys oli seuraava

1. Ultraääni ja tunkeumanestetarkastus valkometallipinnalle.
2. Jakotason hionta ja välysten mittaus laakeripukkia vasten.
3. Säätolevyjen määrän tarkastus.
4. *(Säätovalojen koneistaminen jos tarvittu).*
5. Välysten säätö uusien säätolevyjen avulla.
6. Säätolevyjen pintojen viimeistely sinivärillä ja hiomalla.
7. Instrumentoinnin uusinta.

### 9.4.1 Laakeri 1

Laakerin ultraäänitarkastuksessa havaittiin sen valkometallipinnan irronneen laakerin rungosta kuvioon 23 merkityltä alueelta. Tämän johdosta oli se joko kunnostettava tai vaihdettava. Laakeri päätettiin vaihtaa toiseen vastaavanlaiseen jo aiemmin kunnostettuun.



Kuvio 23. Valkoisella merkitty valkometallin irtoilu

Varalaakerin säätöpalat olivat hävinneet säilytyksen aikana ja käytössä olleen laakerin palat eivät käyneet paikoilleen. Uudelle laakerille koneistettiin uudet säätöpalat. Laakeri tuli koneistuksesta 17.07.2015, jonka jälkeen välykset säädettiin alustavasti paikoilleen uusilla säätölevyillä. Laakerin säätöpaloja hiottiin vielä käsin, jotta kosketuspinta ja välykset laakeripukin kanssa saatiin juuri halutunlaisiksi. Laakerin päälle tuleva ohjaintappi ei käynyt uusien palojen ja laakerin rungon kanssa yhteen. Yläpään reikä porattiin uudestaan ja porauksen jälkeen reikään koneistettiin sopiva tappi. Valkometallipinta oli ylimittainen, joten se koneistettiin oikeaan mittaan. Koneistetulle pinnalle tehtiin vielä tunkeumanestetarkastus ennen käyttöönottoa, jotta pinnassa olevat mahdolliset virheet havaittaisiin ennen ongelmien syntymistä.

#### 9.4.2 Laakeri 2

2 laakerin välykset olivat lähes halutuissa rajoissa, mutta säätölevyjen irrotuksen jälkeen huomattiin korjattavia kohtia. Säätöpaloihin stanssatut numerot olivat kohollaan ja painoivat täten epätasaisesti säätöpaloja. Lisäksi joidenkin palojen alla olevat säätölevyt olivat taittuneet kaksin kerroin, ne vaihdettiin uusiin ja säätöpalojen pinta hiottiin.

### 9.4.3 Laakeri 3

Huomioituja virheitä oli laakerin alimman säätöpalan oleminen väärinpäin sekä sen säätölevyjen määrä (yhdeksän) , hyvänä asentajansääntönä pidetään enintään viisi levyä. Laakerin välykset pukkiin olivat liian tiukat, jonka takia se lähetettiin koneistettavaksi, jossa sen säätöpalat ajettiin samaan keskiöön laakeripinnan kanssa. Tämän jälkeen välykset voitiin säätää säätölevyin kohdalleen. Kuvassa 24 on nähtävissä laakerin 3. siniväritarkastus, kosketuspinta alimmalla säätöpalalla on hyvä.



Kuvio 24. Siniväritarkastus laakerille

### 9.4.4 Laakeri 4

Laakerin 4. säätö tapahtui kahdessa osassa, koska laakeri ei itse ollut laakeripukkia vasten, vaan välissä oli rengas joita vasten itse laakeri tuli (ks. kuva 25). Välirengas oli edellisen asennuksen jäljiltä ylösalaisin. Välirengas ei sopinut paikoilleen hyvin, joten

Hargitain kehotuksesta renkaaseen teetettiin samanlaiset säätöpalat kuten laakereilla. Myös laakerille teetettiin uudet säätöpalat. Molemmat kappaleet saatiin sovittua pakoilleen hiomalla ja säätölevyjen avulla.



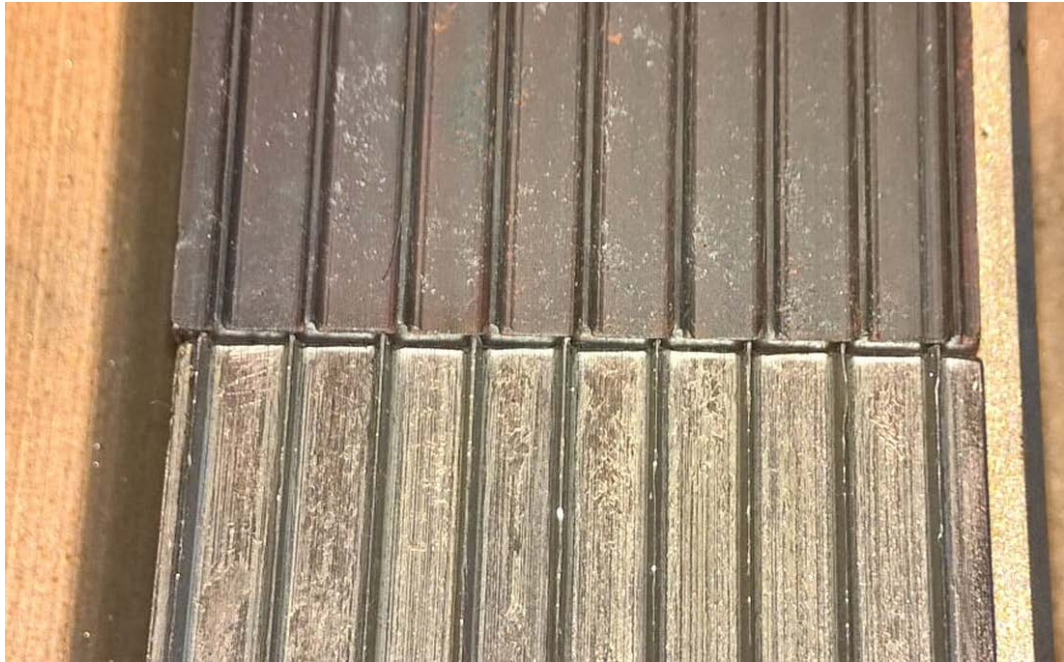
Kuvio 25. Laakerin 4. välirengas

## 9.5 Tasapainotusmännän tiivistepesä

12.6.2015 – 10.9.2015

Tiivistesegmenttien pultit olivat erittäin lujassa kiinni, ne saatiin irrotettua lyöntimeisselillä. Jokainen segmentti irrotettiin ja merkittiin, lisäksi niiden kohdalle runkoon tehtiin merkintä, jotta ne saatiin takaisin samoille paikoilleen. Jakotason hionta aloitettiin käsin, mutta lopulta koko rengas päätettiin puhdistaa lasikuulapuhaltamalla, jolloin päästiin vaivalloisesta käsityöstä. Puhdistetut kappaleet kasattiin, jotta päästiin mittaamaan onko tiivisterenkaalle tapahtunut muodonmuutoksia. Renkaalle tehtiin kaksi erillistä mittausta eri mittaajien toimesta, jotta tulos voitiin todeta luotettavaksi. Tämän jälkeen kappaleet irrotettiin toisistaan ja niille tehtiin tunkeumanestetarkastukset.

Kaksi alinta segmenttiä jokaisella rivillä oli kulunut niin paljon, että ne päätettiin vaihtaa uusiin. Kuitenkin ongelmaksi muodostui keskimmäisen rivin uudet segmentit, joiden höyrykanava oli väärinpäin. Jos segmentit käännettiin oikein päin, porrastivat tiivisteiden harjat kuvion 26 mukaisesti. Segmentit päätettiin korjata hitsaamalla höyrykanava umpeen ja koneistamalla kanava toiseen reunaan.



Kuvio 26. Segmenttien porrastus ongelma

Uusien segmenttien pituuksien oltua hieman pidemmät, nousi jokaisen rivin viimeinen kappale jakotasoa korkeammaksi. Lisäksi uusien segmenttien harjakset olivat korkeammat kuin vanhojen. Segmenttejä koneistettiin lyhemmiksi ja harjaksia matalimmiksi. Pesän kartiotappien reiät, jotka kohdistavat kappaleet asennettaessa, eivät olleet kohdakkain pesän ollessa oikeassa asennossa. Pesän kappaleet kohdistettiin ilman tappeja, jonka jälkeen reikä koneistettiin uudestaan ja reikään teetettiin sopiva ohjaintappi.



## 9.6 Toimilaitteet ja venttiilit

2.6—4.8.2015

Venttiilien kansien ja runkojen tiivistepinnat hiottiin metallirenkailla, joihin liimattiin hiekkapaperia. Hionnan jälkeen kappaleille tehtiin siniväritarkastus sivelemällä ohut kerros väriainetta venttiilikanteen. Venttiilikansi laskettiin paikoilleen, jossa sitä liikuteltiin niin, että väri tarttui molempiin tiivistepintoihin. Kansi nostettiin pois paikoltaan, jonka jälkeen tiivistepinnoilta voitiin tarkastaa tiiveys (ks. kuvio 27), tasainen sininen tarkoittaa hyvää kosketusta. Jos siniväri katkeaisi jollain kohdin, tulisi sille kohdalle todennäköisesti vuoto. Jokaisen venttiilin tiivistepinta oli tiivis.



Kuvio 27. Venttiilirungon tiiveystarkastus

Venttiilien karat puhdistettiin kerrostumista sorvissa hiomalla. KP-venttiilin 2. kara vaihdettiin uuteen. MP-toimilaitteessa 3. eivät männän ja venttiilin karat olleet sopivan mittaisia toisiinsa nähden. Jotta venttiilin ja toimilaitteen välinen kytkin saatiin asennettua, piti venttiilin karaa nostaa hiukan. Tällöin suljettuna ollessa venttiilin lautanen ei koskettanut istukkapintaa, vaan jäi hiukan auki. Toimilaitteen mäntää ko-  
neistettiin pidemmäksi, minkä jälkeen lautaset saatiin koskettamaan vasteitaan.

Kahden toimilaitteen kytkinpaloja jouduttiin koneistamaan tiukemmiksi. Toimilaitteet puhdistettiin ja tiivistepinnat hiottiin. Lisäksi mäntien ja sylinterien halkaisijat mitattiin ja niiden välykset todettiin olevan vaadittujen rajojen sisässä.

## 9.7 Tiivistemoduulit

5.6 – 10.8.2015

Moduulien tiivistepinnat ja jakotasot hiottiin käsin puhtaiksi kerrostumista. Moduulin 4. kahdessa tiivistepinnassa oli jälkiä eroosiosta (ks. kuva 28), lisäksi aksiaalitiiviste oli poikki jakotason reunasta. Aksiaalitiiviste oli irrotettava, joten siihen koneistettiin uusi tiivisterengas. Eroosion kuluttamalle radiaalipinnalle ei tehty mitään koska se ei ollut kriittinen tiivistyksen kannalta. Muiden moduulien tiivistepinnat ja labyrinttitiivisteet olivat hyväkuntoisia.



Kuvio 28. Eroosio - korroosiota tiivistepinnalla

Tiivistemoduulin 4. asennuksessa paikoilleen huomattiin ohjainreiän kierteiden olevan vioittuneet. Reikä porattiin suuremmaksi ja siihen tehtiin uudet kierteet. Reikää ei voitu enää käyttää ohjausreikänä, asennettaessa moduulia, toisen puolen ohjaus suoritettiin käsin.

## 9.8 Öljyjärjestelmät ja tiivisteet

8.6 -12.6.2015

Öljyjärjestelmän huolto sisälsi seuraavat työt

- säiliön tyhjennys
- öljyjen suodatus kahteen kertaan (ei vaihdettu uusiin)
- säiliön puhdistus
- menoputkien sihtien puhdistus
- säiliön täyttö.

Purettaessa laakeria 3. huomattiin yhden nostoöljyputken olevan poikki ja putkien olevan hankalat avata ja purkaa. Tästä syystä päätettiin teettää jokaiselle laakerille uudet nostoöljyputket. Jokaisen laakerin jakotason korkeudelle tehtiin liitos, jolloin laakeria irrottaessa on myös öljyputken avaus helppoa. Laakerille 3. upotettiin uusi nostoöljysuutin laakeripintaan.

Öljyn tiivisterenkaiden messinkiset kappaleet teetettiin uusiksi ja asennettiin stiftamalla paikoilleen. Yksi uusi tiivisteiden runko teetettiin Puolassa roottorin korjauksen yhteydessä. Messinki kappaleiden asennuksen jälkeen renkaat hitsattiin kiinni toisiinsa, jotta niiden koneistus oikeaan mittaan olisi mahdollista. Laakeripukissa 3. olevat takimmaisat öljytiivisteiden urat sorvattiin akseliin kiinnitetyllä sorvausterällä saman keskeisiksi akselin kanssa.

## 9.9 Pyörityslaite

2.6.2015

Pyörityslaitteen moottori irrotettiin ja laakeroitiin molemmista päistä. Päällä oleva lasi poistettiin ja reiästä tarkastettiin moottorilta tulevan akselin kunto. Laitteisto käännettiin ympäri, jolloin päästiin tarkastamaan hammasrattaat sekä kytkennän akseli. Kytkennän tangon huomattiin ottavan kiinni voiteluputken mutteriin jonka vuoksi hammasratas ei kytkeytynyt vaaditulla tavalla. Mutteria viilattiin niin, että ratas pystyi liukumaan akselilla loppuun saakka ja kytkeytymään täydellisesti. Vanhan tarkastuslasin tilalle vaihdettiin kirkas polykarbonaattilevy. Pyörityslaitteen pulttien kireydet tarkastettiin, laitteisto puhdistettiin, voideltiin ja suojattiin muovilla odottamaan kasausta.

## 9.10 Kytkimet

5.6 – 10.9.2015

Kytkimen 1. kiinnityspulttien mutterit olivat leikkautuneet kiinni. Mutterit porattiin pois ja pultit painettiin tunkilla rei'istään ulos. Tämän seurauksena reikien reunat naarmuntuivat. Reiät hoonattiin suoriksi ja niihin teetettiin uudet pultit. Kytkinten 2. ja 3. välikappale kiinnitettiin generaattorin roottoriin ja kellotettiin. Kytkimen 3. keskeisyyden vaadittu tarkkuus oli 0,03 mm. Kellotus aloitettiin asentamalla pakoilleen neljä löysää pulttia symmetrisesti ristiin, tällöin välikappaleen liikuttaminen oli mahdollista. Mittakellot asennettiin kytkimen eri puoliskoihin samalle tasolle. Mittausten jälkeen piirrettiin kuva josta näkyi mihin suuntaan kytkintä oli korjattava. Korjaus suoritettiin tunkilla painamalla välikappaletta kun roottori lukittiin paikoilleen. Säättöjä tehtiin muutaman kerran, jonka jälkeen oltiin vaadittavan 0,03 mm sisällä. Viisi pulttia päätettiin tehdä tiukoiksi, niiden tarkoitus on pitää kytkin tarkasti oikeassa asennossa. Nämä valitut pultinreiät hoonattiin sileiksi ja mitattiin. Mittojen perusteella teetettiin uusia pultteja. Muiden pulttien sovitteet tehtiin suuremmiksi, jotta ne eivät aiheuta vääntöä kytkimelle.

Kytkimen 1. kellotus tapahtui samoin kuten kytkimen 3. kanssa. Akselia pyöritettiin jolloin lukemat kirjattiin ylös, suurin ero oli 0,09 mm. Vaaditun korjauksen oltua selvillä, laitettiin KP-akselin alle tunkki, jolla akselia nostettiin samalla mittakelloa tarkkaillen. Kun haluttu muutos oli saatu, kiristettiin pultit ja mittaus tehtiin uudestaan. Kytkimen laipat olivat halutussa toleranssissa yhden korjauksen jälkeen.

## 9.11 Instrumentointi

1.9 – 17.11.2015

Turbiinin mittalaitteita ei ollut tarkoitus vaihtaa uusiin revision aikana, mutta selvittäessä revision aikataulun venyvän, päätettiin kaikki turbiinin sisäiset mittaukset vaihtaa. Myös laakerien lämpötilamittaukset vaihdettiin uusiin. Mittaajat suosittelivat turbiinin kiinteiden värähtelymittausten modernisointia. Modernisointia ei suoritettu revision yhteydessä.

## 10 Linjaus ja pesien säätö

20.10 – 22.10.2015

Akselien linjaus aloitettiin kytkimestä 1., johon kiinnitettiin lasermittalaitteet. Mittaukset suoritettiin noin 180° matkalta. Mittaustulosten perusteella tehtiin laakereihin muutoksia niin, että erot keskeisyydellä ja kulmavirheellä olivat alle 0,03 mm. Kun kytkin oli toleranssien sisällä, siirryttiin tekemään mittauksia 2. kytkimelle (ks. kuvio 29). Ensimmäisten mittausten yhteydessä kävi selväksi, että 5. laakeria oli laskettava noin 1 mm verran, mutta muutosta ei haluttu tehdä laakerin säätöpaloilla, koska pallopintaisia säätöpaloja olisi jouduttu työstämään uudelleen. Muutos tehtiin laske-  
malla laakeripukkia 1 mm verran.



Kuvio 29. Akselien linjaus laserlaitteilla

Laakeripukin 3. huomattiin olevan kallellaan noin 1 mm/m, niin että generaattorin pääty oli ylempänä. Pukki oli myös kallellaan sivuttain siten, että vasen puoli oli ylempänä. Tämä ei lopulta aiheuttanut toimenpiteitä. Tarkasteltaessa muita laakeripukkeja, huomattiin pukkien 1. ja 2. kallistuneen myös hiukan. MP-tiivistemoduulien vällykset olivat liian suuret alhaalta, mutta akselia ei voitu laskea, koska öljytiivisteet olisivat olleet liian tiukat tällöin. Tilanne korjattiin nostamalla koko MP-pesää. Pesän kiiilat vedettiin ulos paikoiltaan, ne puhdistettiin ja pesän korkeutta muutettiin säätölevyillä. Etupäähän laitettiin 0,6 mm, keskelle 0,4 mm ja taakse 0,3 mm lisää korotusta.

KP-johtosiipikannakkeen 1. aksiaalisoviterenkaat uusittiin ja samalla niillä korjattiin kannattimen asemaa. Soviterenkailla kannaketta siirrettiin 1 mm eteenpäin. Kannattimen alla oleva säätöpala koneistettiin haluttuun mittaan, jotta sivuttaisvälys saatiin oikeaksi.

Mitattaessa labyrinttitiivisteiden välyksiä KP-roottorista ja KP-johtosiipikannakkeesta 1., todettiin ne liian pieniksi. Molemmat kappaleet lähetettiin koneistettaviksi. Koneistuksen yhteydessä huomattiin, etteivät siivet olleet yhdensuuntaiset kannattimen rungon kanssa. Jotta labyrinttitiivisteiden välykset saataisiin tasoitettua muissakin johtosiipikannakkeissa, siirrettiin KP-pesää etupäästä 0,1 mm vasemmalle ja nostettiin 0,6 mm ylös. Tasapainotusmännän tiivisterengasta laskettiin 0,25 mm koneistamalla tassuista.

## 11 Kasaus

22.10—11.11.2015

Ennen KP-roottorin saapumista huollosta pyrittiin tekemään kaikki mahdolliset puhdistus-, siivous- ja järjestelytyöt, jotta osien asentaminen paikoilleen tapahtuisi nopeasti. KP- ja MP-kansiin asennettiin venttiilit ja toimilaitteet valmiiksi paikoilleen. Alemmat venttiilit ja toimilaitteet päätettiin toistaiseksi jättää pois, koska ne olisivat olleet tiellä pesän pultteja kiinnitettäessä.

Linjausten ja tarkastusten jälkeen voitiin aloittaa pesien kasaaminen. Ensin pesistä poistettiin johtosiipikannakkeet ja muut irrotettavat osat, jotta putkien suojatulpat saatiin pois. Pesät puhdistettiin roskista paineilmalla ja imuroimalla. Tällä välin instrumenttiasentaja asensi laakereihin lämpötila-anturit. Puhdistuksen jälkeen asennettiin johtosiipikannakkeet paikoilleen ja laakereiden valmistuttua nostettiin roottori pesään. Johtosiipikannattimien yläosat laskettiin paikoilleen, jonka jälkeen alemmat tiivistemoduulit pyöritettiin paikoilleen akselin ympäri.

## 11.1 Kansien nosto paikoilleen

26.10—4.11.2015

MP-jakotasopultit ja ohjauspultit kierrettiin paikoilleen kannen laskua varten. Juuri ennen kannen nostoa paikoilleen, levitettiin jakotasoon tiivistemassa. Kannen laskun jälkeen lyötiin kaikki mutterit kiinni lyöntiavaimella ja lekalla. Kannen kiristuksen jälkeen aloitettiin kanteen liittyvien laitteiden ja putkien asennus.

KP-osan kasaus suoritettiin lähes samoin, kuten MP-puolelle. Johtosiipikannakkeiden yläpuolia asennettaessa huomattiin, että mittausten mukaan alempien kannakkeiden tassujen ja yläpuoliskojen väliin ei jäänyt riittävästi tilaa. Välyksen pitäisi olla vähintään 0,5 mm, jotta pesä voi laajentua vapaasti. Kannakkeista 2. ja 3. hiottiin kulmahiomakoneella kuvion 30 aluetta, jotta haluttu välys saavutettiin.



Kuvio 30. Hiottu johtosiipikannakkeen reuna

Kun KP-kansi oli nostettu paikoilleen, lyötiin pultit kiinni lyöntiavaimella ja lekalla. Seuraavana päivänä aloitettiin pulttien lämmittäminen, jotta kaikki pultit saatiin lämmitettyä tauotta. Samalla tehtiin muita asennuksia, kuten kytkimien pulttien kiristys ja alempien toimilaitteiden asennus.



## 11.2 Eristys

7.11.—17.11.2015

Eristyksen suoritti ulkopuolinen urakoitsija. Turbiinin eristystöiden valmistelu aloitettiin alapuolelta jo ennen kuin kaikki putket ja laitteet oli saatu asennettua paikoilleen. Viimeiset kasattavat kohteet olivat laakeripukit ja näiden valmistuttua pystytettiin aloittamaan eristys myös yläpuolelta. Tällöin rakennettiin turbiinin päälle ja ympärille telineet, jotta eristäjät voivat työskennellä paremmin (ks. kuvio 31). Ensimmäinen kerros eristettä oli ohut levy keraamista villaa, joka kiinnitettiin turbiinin pintaan liimalla. Seuraavat kerrokset olivat verkotettua lasivillaa. Lopulta villan pintaan levitettiin massa, joka teki suojaavan kovan pinnan villan päälle.



Kuvio 31. Turbiinin eristys

## 12 Testit ja ylösajo

11.11.—2.12.2015

### 12.1 Öljyjärjestelmän käynnistys

Asennettaessa laakeripukkia 3. huomattiin akselin pyörityslaitteen voiteluöljyputken läpiviennin vuotavan. Vuoto korjattiin koneistamalla siihen uusi läpivientikappale. Tämän jälkeen kaikki oli valmiina öljyjärjestelmän testausta varten. Turbiinin molemmat puolet ja välitaso alakerrasta miehitettiin mahdollisten öljyvuotojen havaitsemiseksi. Ensimmäiseksi käynnistettiin öljysäiliön puhallin ja apuvoiteluöljypumppu, jolla saatiin huuhdeltua lika pois laakeripukeista ja putkista. Puolen tunnin jälkeen käynnistettiin kohotusöljypumppu ja kytkettiin pyörityslaitte päälle. Akselin pyöriessä tehtiin suhteellisen venymän tarkistusmittaukset. Toimilaitteet lämmitettiin kierrättämällä ohjausöljyä niiden läpi. Toimilaitteiden lämmettyä niille tehtiin mittauksia ja säätöjä. Myös pikasulkuventtiilien toiminta tarkastettiin samalla.

Lopulta tarkastettiin hätäöljypumpun toiminta häiriötilanteessa pysäyttämällä voiteluöljypumppu. Voiteluöljynpaineen mittauksista kahden kolmesta laskettua arvoon 0,89 bar, lähti hätäöljypumppu käyntiin. Kuitenkaan pumppu ei käynnisty, jollei akseli pyöri, joten akselin nopeudeksi simuloitiin 40 rpm. Pumppu ei sammu itseksensä vaikka voiteluöljyn paine nousisi takaisin yli vaaditun arvon, joten se sammutettiin käsin.

Öljyjärjestelmästä testattiin seuraavat laitteet

- säätö-öljypumput 1. ja 2.
- apuvoiteluöljypumppu
- nostoöljypumppu
- hätäöljypumppu
- käytetty pyörityslaitetta ja öljysäiliön puhallinta
- öljyn lämmitysvastukset
- 11.11.2015 Vaihdettu voiteluöljysuodatin 1. käyttöön (Puhdas käytössä)

## Muita tietoja 13.11.2015

- Öljyn lämpötila 42 °C.
- Säiliön pinta 95 % kun säätö- ja apuvoiteluöljypumppu päällä. (Kun säätö öljypumppu pois, apuvoitelu päällä, Pinta 96 %)
- Mekaaninen pinnan näyttö + 3 cm.
- Säätö-öljynsuodatin, kannelta katsottuna oikea (portaita lähempi) käytössä. Suodattimen täyttöhana kiinni. Toinen suodatin paineeton.
- Voiteluöljysuodatin 2. käytössä. Suodatin 1. puhdas ja erotettu.
- Voiteluöljynjäähdytin 2. käytössä.
- Hydac puhdistaja päällä.
- ELC-R100SP öljynpuhdistaja päällä.
- Öljyä lisätty säiliöön 300 l nostoöljypumpun kautta, 300 l alakautta. Yhteensä kolme tynnyriä (624 l)

## 12.2 Venttiilien säätö ja testaus

Säätöventtiilien ja pikasulkuventtiilien säätöalue tarkastettiin virtasignaalin (mA), paineen (bar) ja venttiilin liikkeen (mm) suhteen. Tärkeintä oli että venttiilit toimii ohjausalueella 4–20 mA, jollei toiminta ollut kohdallaan sitä säädettiin. Mittaukset taulukoitiin ja niistä piirrettiin avautumiskäyrät, joista näkyy venttiilien toiminta. Kierrosnopeusanturit, ylikierrossuoja sekä suhteellisen venymän anturit tarkastettiin myös.

## 12.3 Ylösajo 17.11.2015

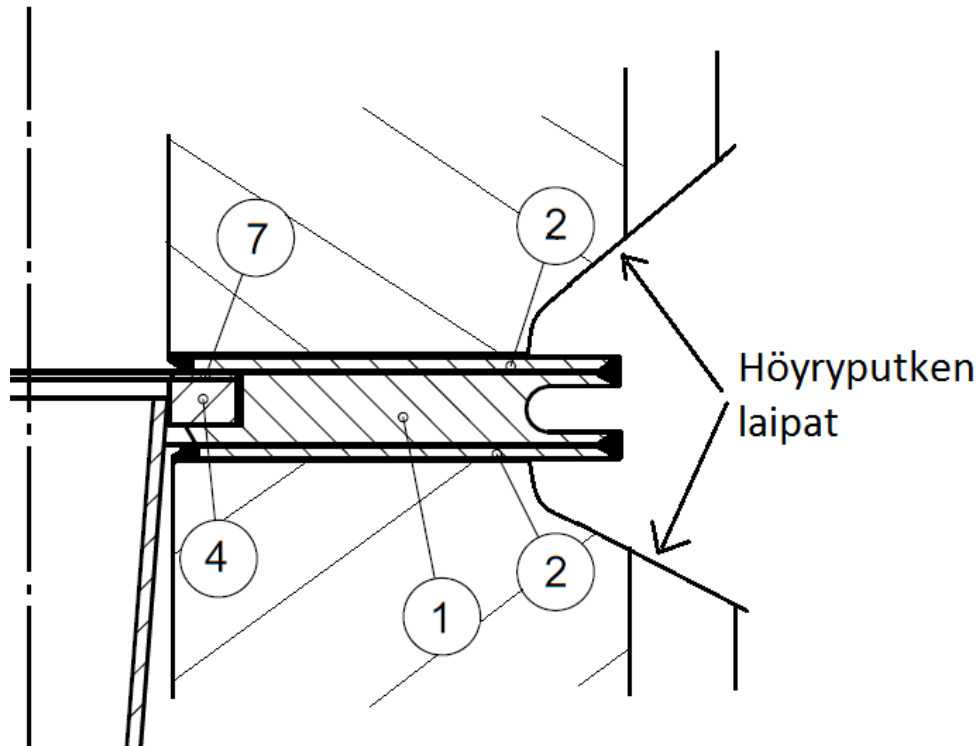
17.11.2015 kello 12.00 pidettiin palaveri, jossa päätettiin ylösajoa koskevista asioista. Ylösajo päätettiin suorittaa matalammalla höyryn lämpötilalla kuin normaalisti. Lisähuomiona mainittiin, että tulistusrajan pitäisi olla vähintään 50 °C. Operaattoreille kerrottiin suhteellisen venymän ylärajaksi 3,2 mm, jos rajalle tultaisiin, keskeytettävään ylösajo. Kuitenkaan venymän rajoja ei muutettu automaatiojärjestelmään.

Tavoitteena oli aloittaa haarojen lämmitys kello 13.00, mutta sitä jouduttiin siirtämään turbiinilla tapahtuvien asennusten vuoksi. Kello 15.00 yritettiin avata päähöyryventtiilin ohitusta, mutta huomattiin yhden vesityksen jääneen kiinni ja linjassa ollut vesi jouduttiin poistamaan. Haarojen lämmitys oli valmis kello 17.00, mutta ongelmaksi muodostui päähöyryventtiilin jääminen väliasentoon. Ylösajo keskeytettiin. Venttiilivian takia olisi mahdollista, ettei nopeuden säätö 1000 rpm onnistuisi, vaan kone ryntäisi suuremmille kierroksille. Lisäksi oikean pikasulkuventtiilin alta, päähöyryputken liitoksesta eristeiden välistä vuoti höyryä. Ylösajon yrityksen jälkeiset työt eivät olleet enää revisiotöitä vaan kunnossapitoa. Kuitenkin seuraavat työt on esitetty tässä raportissa.

#### 12.4 Ylösajon jälkeiset korjaukset

Päähöyrynsulkuventtiilin ohituksessa on kaksi pientä moottoriventtiiliä. Venttiilit purettiin ja tarkastettiin. Venttiilipinnoissa ei ollut silmin nähden havaittavia vikoja. Luisti ja sen vastepinnat hiottiin. Päähöyrynsulkuventtiili sijaitsee turbiinin edessä, aivan seinän vieressä lattian alla. Kattonosturi ei pystynyt liikkumaan tarpeeksi lähelle reunaa missä venttiili sijaitsee. Jotta venttiililaitteisto saatiin nostettua pois, piti aukon kohdalle rakentaa telineet joihin saatiin kiinnitettyä nostolaitteet.

Kuviossa 32 on esitetty päähöyrylinjan laippaliitos pikasulkuventtiilin alla. Vuodon uskottiin olevan sisäpuolen ylemmässä hitsisaumassa. Vuodon korjaamiseksi mietittiin kahta vaihtoehtoa, vuotokohdan hitsaamista tai koko tiivisteiden vaihtoa. Hitsaamalla vuotokohta umpeen siirrettäisiin ongelmaa, mutta sitä ei korjattaisi, joten koko tiivistepaketti päätettiin uusiksi.



Kuvio 32. Korkeapainelinjan tiivisteiden rakenne

Laipan pultit avattiin hydraulivääntimellä sekä paineilmävääntimellä. Kolme pulttia jouduttiin katkaisemaan mutterien leikkaututtua kiinni. Ennen putken katkaisua puhdistettiin neljä pulttia, jotka jätettiin paikoilleen pitämään laippaa kasassa purun ajan. Laipan ulommista tiivistehitseistä hiottiin ylempi sauma pois, jonka jälkeen putki katkasiin kulmahiomakoneella noin 1,3 m tiivisteiden alapuolelta, jolloin laipan alempi osa saatiin nostettua pois. Alempi osa laipasta ja putken hitsisauman kohta koneistettiin sorvissa, ylempi laippa koneistettiin paikanpäällä.

Metalliset tiivistekappaleet teetettiin kuvien ja mitausten mukaan. Putken sisässä olevassa sihdissä havaittiin reikiä ja pitkä repeämä hitsisauman vieressä. Sihti korjattiin hitsaamalla. Tämän jälkeen sihdin laipparengas (nr.4) koneistettiin suoraksi ja sovitettiin paikoilleen säätörengaiden avulla.

Tiivistepaketin kasaus aloitettiin hitsaamalla 3 mm RST levyt (nr.2) molempien laippojen tiivistepinnoille. Kun putkien seevaukset oli valmiit, laskettiin putki yhden pultin varaan. Säätörengaat (nr.7), sihti (nr.4) ja välitiivistekappale (nr.1) laitettiin paikoilleen, jolloin ohjuren ja pulttien avulla laipat ja tiivisteet kiristettiin oikeaan

asentoon tiivisteiden hitsaamista varten. Runkoputki lämmitettiin vaadittuun lämpötilaan hitsaamista varten. Hitsauksen jälkeen putkelle suoritettiin lämpökäsittely. Lopulta saumoille tehtiin tarkastuksia ultraäänellä, tunkeumanesteellä ja lämpökäsittelyn jälkeen magneettijauheella.

Tiivisteen kappaleiden paksuudet

Osa 1:	16 mm, sisäreunan syvennys 11,3 mm
Osa(t) 2:	3 mm
Osa 4:	8,3 mm
Osa 7:	2 kpl 1,5 mm

## 12.5 Ylösajo 2.12.2015

C5 kattila ajettiin ylös 1.12.2015 yövuorossa, samanaikaisesti ylösajon kanssa suoritettiin turbiinin päähöyryputken lämmitys PSV saakka. Ennen turbiinin ylösajoa pidettiin lyhyt palaveri, jossa käytiin läpi tehtävät ja turvallisuusasiat. Turbiinin ylösajo aloitettiin kello 10.00 nostamalla kierrokset 1000 rpm. Tässä nopeudessa turbiinia lämmitettiin 1h, jonka jälkeen kierrokset nostettiin 3000 rpm ja kone tahdistettiin verkkoon. Ylösajon aikana suhteellinen venymä ei noussut yli 2,00 mm, joka on erittäin hyvä tulos (pikasulkun rajat -2, +4 mm). Sondin arvot pysyivät myös hyvin annetuissa rajoissa.

Päähöyryputken vasemman haaran laippaliitoksessa havaittiin samanlainen vuoto kuin aiemmin oikealla puolella. Vuoto päätettiin korjata turbiinin tehoajon jälkeen. Alasajo suoritettiin 3.12.2015.

Ylösajossa tehtiin seuraavat havainnot

- Päähöyryputken vasemman haaran laippaliitoksen tiivistehitsissä vuoto.
- Vanhan laippalämmityslinjan juurisauman hitsissä vuoto.
- Pyörityslaitteen voiteluöljyputken liitinvuoto.
- MP-puolen kahdella säätöventtiiliä vuoto kansilevyjen laipassa.
- Laakeripukin 2. öljynpinta korkea. Tuloöljyn kuristus muutetaan 40,5 mm -> 25 mm.

- Generaattorin akseli maadoitushiilien kohdalta epätasainen. Hiilet siirretään.
- KP-tiivistemoduulin 2. vuoto. Vuotohöyryputki tarkastetaan endoskoopilla.

## 12.6 Toisen ylösajon jälkeiset korjaukset

Vasemman puolen päähöyrylaipassa havaittu vuoto johti samanlaiseen korjaustoi-  
meen kuten aiemmin oikealla. Purun aikana tehtiin merkittävä huomio höyrysihdin  
kuntoon liittyen (ks. kuvio 33). Sihti oli vääntynyt niin, että sen suippo pää otti kiinni  
putken seinämään. Sihti oli repeytynyt pituussuunnassa sekä tiivisterenkaan sau-  
masta. Sihti tehtiin lähes kokonaan uudelleen. Vain sisäpuolen pieni suppilo leikattiin  
irti vanhasta kappaleesta ja käytettiin uudestaan.

Uuden höyrysihdin tietoja

- materiaali AISI 304
- reikäkoko  $d = 4 \text{ mm}$
- reikien pinta-ala 30% (vanhassa noin 24%).

Laippalämmityslinjan vuoto korjattiin siten, että putken kappale leikattiin pois ja sen  
tilalle koneistettiin tulppa, joka hitsattiin paikoilleen.



Kuvio 33. Päähöryputken höyrysihti oli vaurioitunut

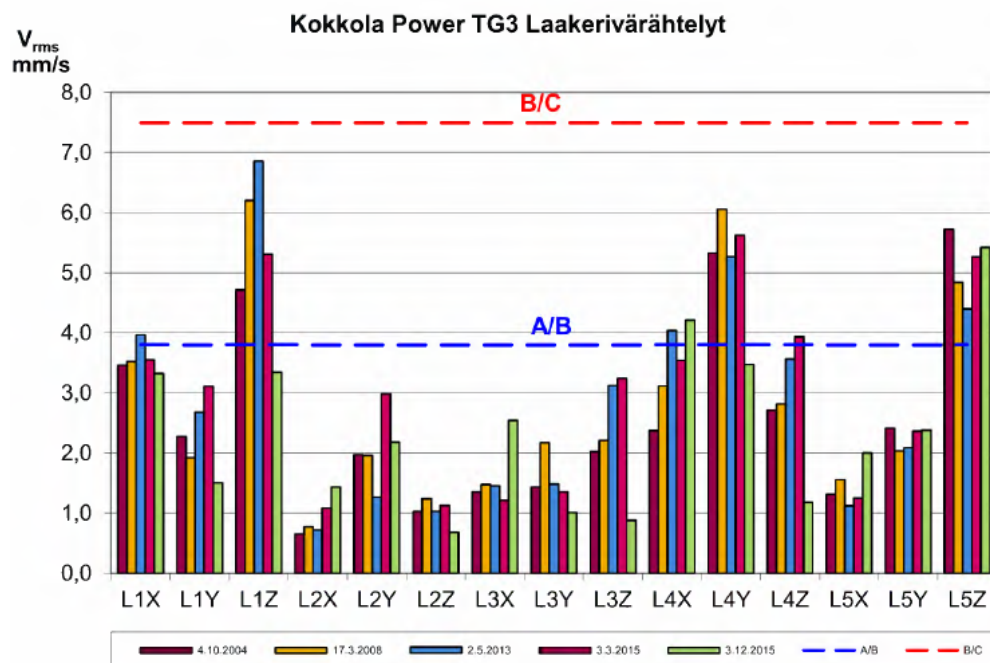
## 12.7 Ylösajo 13.12.15

Lämmityksen aikana tehtiin havaintoja höyryvuodosta oikeassa haarassa linssitiivisteessä tai alapuolen yhdyslinjan laipassa. Vuoto pieneni putkistojen lämmitessä niin että höyryä tai vettä ei havaittu enää. Lisäksi KP-toimilaitteen 2. tiivistepoksi vuoti kunnes kyseinen venttiili tuli käyttöön suuremmalla teholla. KP-tiivistemoduuli 2. vuotaa höyryä, vuodon syytä selvitetään tuotannon ohessa. Tuotantoa päätettiin jatkaa toistaiseksi.

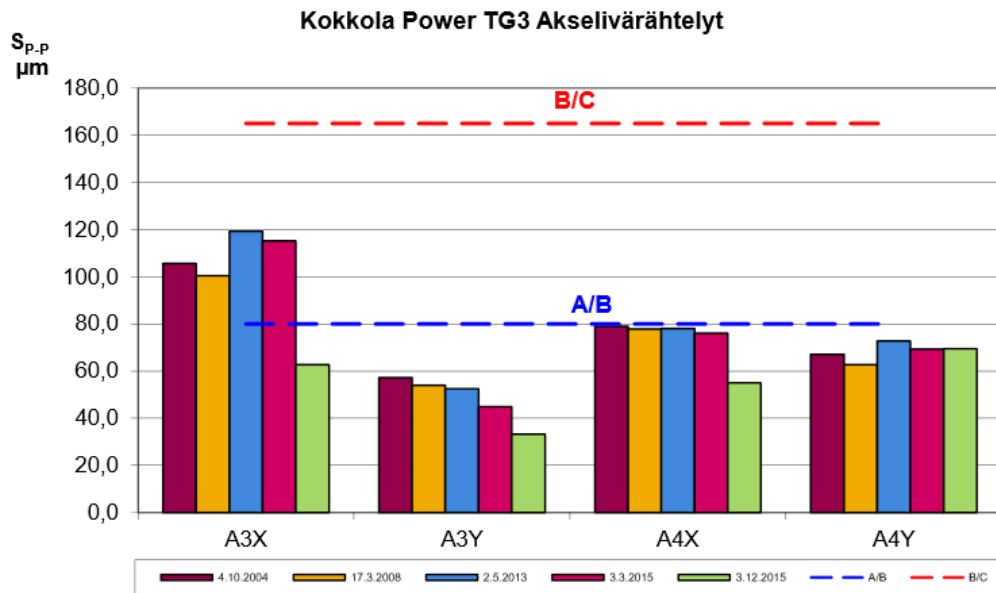


## 13 Mittaustulokset

Ylösajossa suoritettujen laakerivärähtelymittaukset tehtiin standardin ISO 10816-2 mukaan. Kaksi suurinta värähtelyä aiemmista mittauksista on saatu laskettua B luokasta A luokkaan (ks. kuvio 34). Mittausraportissa olevan maininnan mukaan uusien turbiinien värähtely tulisi olla luokassa A, ja luokan B koneet soveltuvat pitkäaikaiseen käyttöön. Akselivärähtelymittaukset kuuluvat standardin ISO 7919-2 mukaan luokkaan A (ks. kuva 35).



Kuvio 34. Laakerivärähtelymittaukset ennen (punainen) ja jälkeen revision (vihreä)



Kuvio 35. Akselivärähtelymittaukset ennen (punainen) ja jälkeen revision (vihreä)

Jäljennetarkastukset osoittivat muutoksia materiaalien rakenteissa. Tarkastusraportin mukaan materiaalien kovuudet olivat laskeneet uuden materiaalistandardin DIN 17175 viitearvojen alarajalle ja paikoin sen alapuolellekin. Täten raportissa suositellaan uusintatarkastuksia 30 000 käyttötunnin sisällä. Curtispyörän hitsisaumalle suositellaan suoritettavan tarkastuksia samalla kun jäljennetarkastukset uusitaan.

## 14 Yhteenveto

Kokkolan Energia halusi selvittää turbiinin kunnon ja samalla saada kirjallisen raportin, jossa on maininnat revision aikana tehdyistä töistä, mittauksista ja havainnoista. Revisiotyötä valokuvattiin ja videoitiin eri vaiheissa siten, että jokaisesta työvaiheesta saatiin kuvamateriaalia. Jatkossa raporttia lukien ja valokuvia selaten voidaan nähdä lähes kaikki revisiossa suoritettavat toimenpiteet. Suurimpien kappaleiden nostot voidaan nähdä videoilta. Täten seuraavaa revisiota tai korjaustoimia tehdessä voidaan verrata havaittuja ongelmia ja työmenetelmiä raportin merkintöihin. Raporttia ja muuta revisiomateriaalia, voidaan myös käyttää yrityksen sisäisissä koulutuksissa.

Revisiossa havaittiin korkeapaineroottorin kiinnileikkautuma ensimmäisessä siipivyöhykkeessä. Roottori ja johtosiipikannake lähetettiin huoltoon, jonka seurauksena oli revision pitkittyminen selvää. Revisio suoritettiin sillä tavoitteella, ettei turbiinille jätetä tunnettuja ongelmakohtia. Korkeapaineroottorille tehtiin huollossa tarkastuksia joissa havaittiin säröjä curtispyörän hitsisaumassa. Säröt koneistettiin pois. Roottorin palattua, turbiini kasattiin ja turbiinisuoja testien jälkeen yritettiin ylösajoa. Ylösajo keskeytettiin höyryvuotojen vuoksi. Lopulta korjauksien jälkeen saatiin turbiini tuotantoon.

### **Pohdinta**

Turbiinirevisiota suoritettaessa omana työnä ei olla täysin sidoksissa turbiinin valmistajaan. Koneistuspalvelut, mahdollisesti varaosien uudet materiaalit ja useat muut asiat voidaan valita itse. Kuitenkin muutosten teko vaatii tietoa ja tästä syystä tarvitaan usein asiantuntijan apua.

Tunnettaessa eteen tulevia korjauksia ja tarkastuksia, on kannattavaa selvittää palveluverkosto ennen revisiota. Mistä saadaan tarkastajat, missä saadaan koneistettua suuret kappaleet, ja onko esimerkiksi lisäasentajien saaminen mahdollista, ovat kysymyksiä joihin kannattaa hankkia vastaukset ennen revision aloittamista.

Turbiinia purettaessa on erilaisia osia paljon. Osien pitäminen järjestyksessä voi olla haastavaa, ellei asiaa ole suunniteltu etukäteen. Osille kannattaa varata laatikoita ja lavoja sekä tietty alue, jossa osia säilytetään. Pienempiä ja suurempia kappaleita joudutaan hiomaan ja tarkastamaan joten huoltopöydät ja alueet on syytä valita hyvissä ajoin. Painavien osien kuten pesien ja roottorien paikat on valittava siten, ettei niiden paino aiheuta vaaraa rakenteille ja täten ihmisille.

Ulkoistetussa revisiossa on suositeltavaa kuitenkin hankkia asiantuntija muualta kuin urakoitsijalta. Asiantuntija seuraa töitä ja täten varmistaa töiden suorittamisen vaaditulla tavalla. Tällä tavoin saadaan pidettyä kontrolli työssä vaikka se onkin ulkoistettu. Ulkoistetusta revisiosta ei välttämättä jää käteen kuin kunnostettu turbiini ja lyhyt revisioraportti. Kuitenkin omia asentajia käytettäessä, saadaan turbiinista jäämään arvokasta tietoa yrityksen omaan käyttöön tulevaisuutta ajatellen.

## Lähteet

Ahlstrom pyroflow esite. N.d.

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. Viitattu 07.11.2016 <http://www.motiva.fi/files/685/t2045.pdf>

Chaplin, R.a. N.d. Steam turbine impulse and reaction blading. Viitattu 02.02.2016 <http://www.eolss.net/sample-chapters/c08/e3-10-03-02.pdf>

D600/D400 Steam Turbines. N.d. GE Power. Viitattu 25.01.2016 <https://powergen.gepower.com/products/steam-turbines/d600-d400-steam-turbines.html>

Energiakonserni. N.d. Kokkolan Energian yritysinfo uudelle työntekijälle.

Energialähteet. 2015. Energiateollisuus. Viitattu 15.01.2016 <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet>

Hargitai, S. 2015. Turbiiniasiantuntija. Kokkolan Energia Oy. Haastattelu 14.09.2015.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H. 1998. Höyrykattilatekniikka. 3.p. Helsinki: Edita.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T., Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. 2.p. Helsinki: Opetushallitus

Höyryturbiinin perusteet, Knowenergy. N.d. Viitattu 04.04.2015 [http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt\\_kattilat/10\\_turbiini/frame.htm](http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt_kattilat/10_turbiini/frame.htm)

Järviö J., Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito, tuotanto-ominaisuuden hoitaminen. 5p Painopaikka Copy-Set Oy Helsinki, Helsinki: KP-Media Oy.

Kivihiili. N.d. Energiateollisuus. Viitattu 16.01.2016 <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/kivihiili>

Kolehmainen. J. 2011. Höyryturbiinin aksiaalivoimien kompensointi. Viitattu 28.12.2015 <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69635/nbnfi-fe201105171564.pdf?sequence=3>

Kumpulainen, M. 2004. Turbiinikoulutus 2004. Enprima Oy.

Lang T3 käyttöohje. 1977.

Metsäenergia. N.d. Energiateollisuus. Viitattu 16.01.2016  
<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/metsaenergia>

Standardi SFS-EN 13306. 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Steam turbines: how big can they get? 2007. Viitattu 14.02.2016  
<http://www.modernpowersystems.com/features/featuresteam-turbines-how-big-can-they-get/>

Steam turbine. N.d. Wikipedia. Viitattu 17.01.2016  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Steam\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine)

Takala, H. 1987. Turbiininhoitajien koulutus. Outokumpu.

Teollisuuden energiatekniikka. Peruskaavat ja -käsitteet. 2011. Aalto-yliopisto, energiatalous ja voimalaitostekniikan tukimateriaali. Viitattu 10.4.2015.  
[https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/127603/mod\\_resource/content/1/Ene-59\\_4101\\_peruskaavat\\_ja\\_kasitteet.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/127603/mod_resource/content/1/Ene-59_4101_peruskaavat_ja_kasitteet.pdf)

The steam turbine. Construction. N.d. Modern Enerctics. Viitattu 09.02.2016  
<http://mda139.net/steamturbine/construction.html>

Toppila, J., Pietikäinen, P. 1991. Voimalaitosten käyttöikäprojekti. Höryturbiinien käyttöikäopas. Helsinki.

Tuikka, S. Käynnissäpitomestari. Kokkolan Energia Oy. Haastattelu 20.08.2015 ja 22.01.2016.

Turve. N.d. Energiäteollisuus. Viitattu 16.01.2016

<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/turve>

Yritysesittely. N.d. Kokkolan Energia Oy. Viitattu 12.12.2015

<http://www.kokkolanenergia.fi/fi/yritysesittely.htm>

# Liitteet

Liite 1. Turbiinin osakuva.

