

Jari Herranen

HÖYRYTURBIININ REVISION DOKUMENTOINTI

Case Vieskan Voima

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Tammikuu 2019**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Tammikuu 2019	Tekijä/tekijät Jari Herranen
Koulutusohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Työn nimi HÖYRYTURBIININ REVISION DOKUMENTOINTI. Case Vieskan Voima		
Työn ohjaaja Aki Suokko	Sivumäärä 103 + 7	
Työelämäohjaaja Tommi Salo		
<p>Opinnäytetyö tehtiin Oy Herrfors Ab:n toimeksiannosta Ylivieskan voimalaitokselle. Ylivieskassa sijaitsevan Vieskan Voiman voimalaitoksen omistaa kokonaan Oy Perhonjoki Ab, joka on Herrforsin tuotantoyhtiö. Voimalaitos on vuonna 1993 rakennettu sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos, joka käyttää polttoaineena turvetta ja haketta.</p> <p>Yritys haki syksyllä 2017 alkavalle turbiinirevisiolle dokumentoijaa, jotta revisioon liittyvän aineiston myöhempi tarkastelu olisi mahdollista. Työn tavoitteena oli tehdä mahdollisimman kattava ja tarkka kirjallinen dokumentti turbiinirevisiosta. Dokumentoinnin lisäksi opinnäytetyön tekijä osallistui revisiossa mekaaniseen työhön asentajana. Dokumentointi tapahtui tekemällä muistiinpanoja ja valokuvamalla kaikki revision työvaiheet. Opinnäytetyö ja kaikki revisioon liittyvä materiaali koostettiin ja tallennettiin Herrforsin palvelimelle henkilökunnan saataville.</p> <p>Voimalaitoksen höyryturbiinilla oli ennen turbiinirevisiota takanaan noin 150000 käyttötuntia. Tämän tyyppiselle höyryturbiinille tehdään täysrevisio 50000 käyttötunnin välein. Turbiinirevisiossa huollettiin koko turbolaitteisto eli höyryturbiini, vaihdelaatikko, generaattori sekä toimilaitteet.</p> <p>Työn teoriaosuudessa käsitellään kyseisen vastapainevoimalaitoksen kerrosleijukattilan, turbolaitteiston ja turbiinirevision teoriaa. Käytännön osuudessa käydään läpi koko turbolaitteiston kunnostaminen toimilaitteineen. Käytännön osuudesta löytyvät myös revisioon liittyvät mittaukset ja mittapöytäkirjat sekä muutostyöt.</p> <p>Turbiinirevisiota voidaan pitää kaiken kaikkiaan onnistuneena aikataulun viivästymisestä huolimatta. Turbolaitteisto toimii moitteetta ja hyötysuhde parani revision myötä. Suoritettujen tarkastusten ja mittausten perusteella voidaan olettaa turbolaitteistolla olevan vielä paljon käyttötunteja jäljellä.</p>		
Asiasanat Dokumentti, generaattori, höyryturbiini, kerrosleijukattila, mittapöytäkirja, mittaus, muutostyö, toimilaitte, turbiinirevisio, turbolaitteisto, vaihdelaatikko, voimalaitos.		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date January 2019	Author Jari Herranen
Degree programme Electrical and automation engineering		
Name of thesis DOCUMENTATION OF STEAM TURBINE OVERHAUL. Case Vieskan Voima		
Instructor Aki Suokko	Pages 103 + 7	
Supervisor Tommi Salo		
<p>The thesis was commissioned by Oy Herrfors Ab for the Ylivieska power plant. The Vieskan Voima power plant in Ylivieska is owned by Oy Perhonjoki Ab, a production company of Herrfors. The power plant is a cogeneration plant built in 1993, and it uses peat and wood chips as fuel.</p> <p>The company was looking for a person who would document a turbine overhaul beginning in the fall 2017 so that it would be possible to review the turbine overhaul material later. The aim of the work was to make the most comprehensive and accurate written document about the turbine overhaul. In addition to the documentation the author of the thesis took part in the mechanical work as an installer. The documentation was done by taking notes and photographing all the overhaul steps. The thesis and all the material related to the overhaul were compiled and stored on the Herrfors server for the staff to use.</p> <p>The steam turbine of the power plant had about 150000 operating hours before the turbine overhaul. A steam turbine of this type is subjected to full overhaul every 50000 hours of operation. The turbine overhaul serviced the entire turbocharger, steam turbine, gearbox, generator and the actuators.</p> <p>The theoretical part of the thesis discusses the theory of the fluidized bed boiler, turbocharger and turbine overhaul of the respective backpressure power plant. In the practical part, the entire turbocharger and actuators were refurbished. The practical part also included overhaul-related measurements and measurement protocols as well as modification work.</p> <p>Overall, the turbine overhaul can be considered successful despite the timetable delay. The turbocharger works flawlessly, and the efficiency improved with the overhaul. On the basis of the checks and measurements carried out, it can be assumed that there are still many hours of operation remaining on the turbocharger.</p>		

Key words

Actuator, document, fluidized bed boiler, gearbox, generator, measurement, modification, power plant, steam turbine, turbine overhaul, turbocharger.

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (Combined Heat and Power)
D-pää	Drive-end; Moottorin / generaattorin käyttöpää
E/H-muunnin	Elektrohydraulinen muunnin. Ohjaa painetta virtasignaalin avulla
Entalpia	Höyryn paine- ja lämpöenergia. Tunnus <i>H</i> . Yksikkö Joule, J
Eroosio	Materiaalin kulumista jonkin ulkopuolisen tekijän johdosta
Fe ₃ O ₄	Magnetiitti
Fluidi	Väliaine, jossa rakenneosat voivat liikkua vapaasti toistensa suhteen
Korroosio	Materiaalin kemiallista ja sähkökemiallista tuhoutumista ympäristön vaikutuksesta
Na ₂ SO ₄	Natriumsulfaatti
Na ₃ PO ₄	Natriumfosfaatti
NaCl	Natriumkloridi
NaOH	Natriumhydroksidi
NDT	Non-Destructive testing (Rikkomaton testaus)
N-pää	Non-drive-end; moottorin / generaattorin vapaa pää
Paaksi	Akselinpyörityslaite
RMS	(Root Mean Square) siirtymän tehollisarvo. Yksikkö mm/s
Servo	Asemointiin tarkoitettu toimilaitteen ohjauspiiri
SiO ₂	Piidioksidi (Silikaatti)
Stelliitti	Deloro-yhtiön kobolttipohjainen kovapinnoite
Sykloni	Fluidien puhdistamiseen käytettävä laite
Vickers	Materiaalin kovuuskoe. Tunnus HV. Yksikkö N/mm ²

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty Herrforsin henkilökunnalle tueksi ja turvaksi tuleviin turbiinirevisioihin. Turbiinirevisio on ollut minulle henkilökohtaisesti hieno ja ainutlaatuinen oppimiskokemus. Siksi haluan kiittää kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat auttaneet minua tämän työn aikana.

Ensimmäiseksi haluaisin kiittää koko Herrforsin henkilökuntaa ja erityisesti voimalaitospäällikkö Tommi Saloa, joka mahdollisti työharjoittelun ja tämän opinnäytetyön tekemisen. Kiitokset kuuluvat myös Alhon huollon turbiinimestari Tom-Johan Alholle ja turbiiniasentajille John-Henry Alholle, Joni Karhulle sekä Sauli Nevalaiselle, opin teiltä paljon. Kiitokset toimitusjohtaja Kari Alholle tukemisesta ja mahdollisuudesta osallistua voimalaitosseminaariin yhtenä luennoitsijana. Kiitokset myös Mihaly Makkaille neuvoista ja kannustamisesta työhön.

Lisäksi haluan kiittää yliopettaja FT,DI Aki Suokkoa opinnäytetyön ohjaamisesta sekä lehtori Ulla Orjalaa kirjoittamisen ohjaamisesta.

Kiitos todella paljon kaikille.

Jari Herranen

Ylivieskassa 25 helmikuuta 2019.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
ESIPUHE
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 OY HERRFORS AB	3
2.1 Yrityksen historia	4
2.2 Ylivieskan voimalaitoksen historia	5
3 VASTAPAINENOIMALAITOS	7
3.1 Kattila	8
3.2 Turbolaitteisto	9
3.2.1 Höyryturbiini	10
3.2.2 Vaihdelaatikko	14
3.2.3 Generaattori	15
3.2.4 Öljyjärjestelmä	16
3.2.5 Laakerit	20
3.2.6 Tiivisteet	21
3.2.7 Toimilaitteet	22
3.2.8 Automaatio ja instrumentointi	23
4 TURBIINIREVISIO	25
4.1 Tarkastusmenetelmiä	25
4.2 Revisioon liittyvät mittaukset	26
4.3 Linjaus	27
4.4 Värähtelymittaus	28
4.5 Osien puhdistaminen	30
5 VIESKAN VOIMAN TURBIINIREVISIO	31
5.1 Aloituspalaveri	31
5.2 Värähtelymittaus alasajossa	32
5.3 Turbiinirevision ennakkotyöt	34
6 TURBIININ PURKAMINEN	37
6.1 Akselien linjaus	37
6.2 Laakerit	39
6.3 Pikasulkuventtiili	43
6.4 Säätoventtiili	43
6.5 Ulkopesät	44
6.6 Johtosiipikannattimet	47
6.7 Labyrinttitiivisteet	49
6.8 Roottori	51
6.9 Johtosiipilinjaus	51
7 TURBIININ KUNNOSTUS	54
7.1 Laakerit	54
7.2 Ulkopesät	56

7.3 Johtosiipikannattimet	60
7.4 Roottori	64
7.5 Pikasulkuventtiili.....	66
7.6 Säästöventtiili	67
8 TURBIININ KOKOONPANO	69
8.1 Johtosiipikannattimet	69
8.2 Roottori	72
8.3 Laakerit.....	74
8.4 Ulkopesät.....	75
8.5 Säästöventtiili	76
8.6 Pikasulkuventtiili.....	77
8.7 Akselien linjaus.....	79
8.8 Eristys.....	80
9 TOIMILAITTEIDEN KUNNOSTUS JA MUUTOSTYÖT	81
9.1 Päähöyryputki	81
9.2 Tulohöyrysihti	82
9.3 Poistohöyryventtiili	83
9.4 Poistohöyryputki	84
9.5 Öljyjärjestelmä	85
9.6 Muutostyöt.....	88
10 VAIHDELAATIKON TARKASTUKSET JA KUNNOSTUS	90
10.1 Laakerit.....	90
10.2 Hammaskosketus	92
10.3 Paaksi	92
10.4 Vaihdelaatikon ja generaattorin välinen kytkin	94
11 GENERAATTORIN TARKASTUKSET JA KUNNOSTUS	95
11.1 Herätinkone	95
11.2 Eristysvastusmittaus	96
12 YLÖSAJO.....	97
12.1 Ylösajon aloitus	97
12.2 Ylösajon värähtelymittaukset	98
13 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	101
LÄHTEET	102
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Katternö-konsernin omistus pohja (mukailten Katternö 2018).....	4
KUVIO 2. Epäkeskisestä massasta aiheutuva voima (mukailten Lähteenlahti 2015).....	27
KUVIO 3. Akselien linjausvirheet (mukailten Lähteenlahti 2015)	28
KUVIO 4. Alasajon värähtelymittausten kokonaistasot (Vimpari 2017).....	33
KUVIO 5. Purkuvaiheen akselilinjausmittauksen raportti (Alhon Huolto Oy 2017).....	39
KUVIO 6. Laakerisilmämittaus	42
KUVIO 7. Purkuvaiheen linjausmittausraportti (mukailten Alhon Huolto Oy 2017).....	53

KUVIO 8. Kokoonpanovaiheen linjausmittausraportti (mukaillen Alhon Huolto Oy 2018).....	71
KUVIO 9. Kokoonpanovaiheen akselilinjausmittauksen raportti (Alhon Huolto Oy 2018).....	80
KUVIO 10. Ylösajon värähtelymittausten kokonaistasot (Vimpari 2018).....	99
KUVIO 11. Pyörrevirta-antureiden suodattamattomat ratakäyrät 6,5 MW:n teholla (Vimpari 2018).	100

KUVAT

KUVA 1. Oy Perhonjoki Ab:n Vieskan Voiman voimalaitos Ylivieskassa.....	6
KUVA 2. Vieskan Voiman CHP-laitoksen periaatekuva (Ylivieskan voimalaitos 1994)	8
KUVA 3. Kerrosleijukattila (Ylivieskan voimalaitos 1994)	9
KUVA 4. Aktioturbiinin toimintaperiaate (mukaillen Huhtinen ym. 2016, 111).....	11
KUVA 5. Reaktioturbiinin toimintaperiaate (mukaillen Huhtinen ym. 2016, 111)	11
KUVA 6. Tasausmännän toiminta (mukaillen Kauppinen 2018, 95).....	12
KUVA 7. Höyryturbiini osittain purettuna	13
KUVA 8. Poikkileikkauskuva Ylivieskan voimalaitoksen turbiinista (Dampfturbinen 1993)	13
KUVA 9. Saksalaisen Flenderin valmistama vaihdelaatikko	15
KUVA 10. ABB Strömberg -tahtigeneraattori	16
KUVA 11. Öljysumuimuri.....	17
KUVA 12. Kuvan keskellä oleva komponentti on pääöljypumppu.....	17
KUVA 13. Öljynjäähdyttimet	18
KUVA 14. Öljynsuodattimet	19
KUVA 15. Vaihdelaatikon toisioakselin radiaali/akksiaalilaakeri	20
KUVA 16. Labyrinttitiivisteiden toimintaperiaate (mukaillen Kauppinen 2018)	21
KUVA 17. Tiivistehöyryn toimintaperiaate (mukaillen Artikel Teknologi Indonesia 2018).....	22
KUVA 18. Pikasulkuventtiili	22
KUVA 19. Säästöventtiili ilman toimilaitetta	23
KUVA 20. Magneettikiinnitteiset kiihtyvyysanturit asennettuna.....	30
KUVA 21. Turbiiniöljysäiliön mittalasi	32
KUVA 22. Poistohöyryputken nostotyö	34
KUVA 23. Katkeama poistohöyryputken tiivisteessä	35
KUVA 24. Poistohöyryventtiili lähetettiin huoltoon	35
KUVA 25. Päähöyryputkeen hitsattiin toinen sulkuventtiili	36
KUVA 26. Akselien linjauksen tarkastus laserlinjauslaitteella	38
KUVA 27. Turbiiniakselin päittäisvälysmittaus	40
KUVA 28. Laakeripesä avattuna, turbiinin painelaakeri näkyvissä	40
KUVA 29. Roottoriakselin pystyvällyksen mittaus.....	42
KUVA 30. Pikasulkuventtiilin keilassa kerrostumaa	43
KUVA 31. Säästöventtiilin mutterit avattiin hydraulivääntimellä	44
KUVA 32. Alapesä tuetaan kiilojen avulla runkoon huollon ajaksi.....	45
KUVA 33. Yläpesää kohotetaan aluksi nostopulteilla.....	46
KUVA 34. Yläpesän nosto siltanosturilla	46
KUVA 35. Yläpesän höyrykammion särö	47
KUVA 36. Ylemmän johtosiipikannattimen nosto.....	48
KUVA 37. Etummaisen johtosiipikannattimen tiivistepeltejä irronnut.....	48
KUVA 38. Labyrinttitiivisteiden vällysmittaus	49
KUVA 39. Roottorin nosto	51
KUVA 40. Johtosiipilinjauksen tarkastaminen laserlinjauslaitteella.....	52
KUVA 41. Kuormitusvyöhyke havaittavissa laakerin valkometallissa.....	55
KUVA 42. Turbiinin laakereissa ei havaittu säröjä tunkeumanestetarkastuksessa	55
KUVA 43. Yläpesän lasikuulapuhallus	56
KUVA 44. Yläpesän säröt ja haljennut hitsisauma.....	57

KUVA 45. Höyrykammion särö hiottu pois	57
KUVA 46. Yläpesän kovuusmittaus	58
KUVA 47. Säätoventtiilipesän diffuusoreiden tunkeumanestetarkastus	58
KUVA 48. Tiivistehöyrypesien puristaminen yläpesään	59
KUVA 49. Yläpesän pikasulkuventtiilin pitopinnassa syöpymiä	59
KUVA 50. Muttereiden vastinpinnan hionta	60
KUVA 51. Johtosiipikannattimien irronneet tiivistepellit	61
KUVA 52. Johtosiipikannattimien vaurioituneet tiivistepellit	61
KUVA 53. Johtosiipikannattimen uudet tiivistepellit	62
KUVA 54. Kunnostuksen aikana oli kuusi johtosiipeä vaurioitunut	63
KUVA 55. johtosiipikannattimeen vaihdettiin kaikkiaan 12 uutta siipeä	63
KUVA 56. Roottori huoltopukissa lasikuulapuhalletuna	64
KUVA 57. Roottorille tehtiin jäljennetarkastus	65
KUVA 58. Vaurioita viimeisen siipivyöhykkeen juoksusiivissä	66
KUVA 59. Pikasulkuventtiilin rintalaipasta sorvattiin 0,1 mm pois	67
KUVA 60. Säätoventtiilin siniväritarkastus	68
KUVA 61. Johtosiipikannattimen sivukiila	69
KUVA 62. Johtosiipikannattimen pystykiila	70
KUVA 63. Johtosiipikannattimen jakotason siniväritarkastus	72
KUVA 64. Tiivistehöyrypesän lyijylankamittaus	74
KUVA 65. Turbiinin laakereiden lämpötila-anturit uusittiin	74
KUVA 66. Ulkopesien jakotason siniväritarkastus	75
KUVA 67. Yläpesän lasku	76
KUVA 68. Kunnostettu säätoventtiili	77
KUVA 69. Pikasulkuventtiilin rintalaipan asennus	78
KUVA 70. Pikasulkuventtiilin servon hydrauliputkien liittimet	78
KUVA 71. Turbiini eristettynä	80
KUVA 72. Päähöyryputken hitsisauman magneettijauhetarkastus	81
KUVA 73. Päähöyryputken hitsaus	82
KUVA 74. Tulohöyrysihti lasikuulapuhallettu	83
KUVA 75. Poistohöyryventtiilin koneistus	83
KUVA 76. Poistohöyryputken mutkassa korroosiota	84
KUVA 77. Poistohöyryputken puhdistaminen hiomalla	85
KUVA 78. Pääöljypumpun päätylaippa irrotettu	86
KUVA 79. Pääöljypumpun uudet kytkintapit	86
KUVA 80. Öljysumuimurin suodattimet	87
KUVA 81. Öljynjäähdyttimen tiivistevaurio	87
KUVA 82. Generaattoriakselin maadoitushiili	88
KUVA 83. Turbiiniakselin sähköinen akselinsiirtymämittaus	88
KUVA 84. Turbiiniakselin etupään värähtelymittaus	89
KUVA 85. Turbiiniakselin takapään värähtelymittaus	89
KUVA 86. Ensiöakselin liukulaakerin valkometalli sulanut	91
KUVA 87. Toisioakselin painelaakerin särö	91
KUVA 88. Vaihdelaatikon hammaskosketusvärjäys	92
KUVA 89. Paaksi purettuna	93
KUVA 90. SSS-kytkimen painevoitelun läpivienti purettuna	93
KUVA 91. Vaihdelaatikon ja generaattorin välinen kytkin avattuna	94
KUVA 92. Herätinkoneen rikkoontunut kytkinkumi	95

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Koneiden luokitus standardin mukaan (SFS-ISO 10816-3; SFS-ISO 7919-3)	28
TAULUKKO 2. Arvostelurajat vakio prosessitilanteessa (SFS-ISO 10816-3; SFS-ISO 7919-3).....	29
TAULUKKO 3. Laakerisegmenttien paksuudet.....	41
TAULUKKO 4. Radiaalilaakerien mittaustulokset	42
TAULUKKO 5. Johto- ja juoksusiipien purkuvaiheen välysmitat.....	50
TAULUKKO 6. Tiivistehöyrypesien labyrinthitiivisteiden mittaustulokset.....	50
TAULUKKO 7. Johtosiipikannattimien sivukiilojen korkeudet	70
TAULUKKO 8. Johto- ja juoksusiipien kokoonpanovaiheen välysmitat	73
TAULUKKO 9. Saatujen PI-arvojen tulkinta (Chauvin-Arnoux 2018).....	96
TAULUKKO 10. Kriittiset pyörimisnopeudet akselivärähtelyistä kierrostennostossa (Vimpari 2018)	98

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oy Herrfors Ab:n toimeksiannosta Vieskan voiman Ylivieskan voimalaitokselle. Turbiinirevisiolle haettiin opinnäytetyön tekijää dokumentoimaan revisio, jotta aineiston myöhempi tarkastelu olisi mahdollista. Dokumentointi todettiin tarpeelliseksi, koska aikaisemmin tehdyistä revisioista oli hyvin vähän materiaalia.

Ylivieskan voimalaitoksessa on Saksalaisen Blom & Voss:in valmistama vastapaineturbiini, jolla on takanaan noin 150000 käyttötuntia. Tämän tyyppiselle höyryturbiinille tehdään täysrevisio pääsääntöisesti 50000 tunnin välein. Edellinen revisio oli tehty kahdeksan vuotta sitten vuonna 2009. Revisiossa huolletaan myös vaihdelaatikko, generaattori sekä toimilaitteet. Revision työvaiheet pääpiirteittäin ovat alasajomittaukset, laitteiston purku mittauksineen, osien puhdistus, tarkastukset ja korjaukset, mahdolliset muutostyöt, kokoonpano mittauksineen ja ylösajo mittauksineen.

Revisio oli tilaajavetoinen projekti, jossa valvonta- ja huoltotyöt palveluineen hankittiin suoraan. Työn tilaajana oli Oy Perhonjoki Ab, joka on Oy Herrfors Ab:n tuotantoyhtiö. Revision valvojana toimi Mihaly Makkai, Makkai Oy:stä. Turbiinihuollon suoritti Alhon Huolto Oy, joka nimitti turbiinimestariksi Tom-Johan Alhon. Työhön osallistui myös Herrforsin omia työntekijöitä.

Turbiinirevisio aloitettiin kesäkuussa 2017 alasajomittauksilla, kun voimalaitosta oltiin ajamassa alas. Turbiinissa ei oltu havaittu ajonaikaisia oireita vaurioista tai muista poikkeamista. Työ jatkui syksyllä eristeiden purkamisella, jonka jälkeen aloitettiin varsinaisen turbolaitteiston purkaminen. Osien puhdistusten ja mittausten jälkeen osa laitteistosta toimitettiin korjattavaksi eri konepajoille. Tästä seurasi noin kymmenen viikon tauko. Revisio kesti aina helmikuun 2018 alkuun, jolloin suoritettiin turbiinin ylösajo.

Tehtäväni revisiossa oli dokumentoida sekä osallistua mekaaniseen työhön asentajana. Käytännössä dokumentointi käsitti työvaiheiden ja mittausten kirjaamista, valokuvaamista, tiedon keräämistä turbiiniasentajien kanssa käydyistä keskusteluista, materiaalin kirjaamista järjestelmään sekä raportointia opinnäytetyön muodossa.

Opinnäytetyön kirjoittamisen lähteenä on käytetty useita alan teoksia. Näistä käytetyimpinä mainittakoon Jukka Kauppinen kirja Turbiinitekniikka sekä Markku Huhtisen, Risto Korhosen, Tuomo Pimiän ja Samu Urpalaisen kirja Voimalaitostekniikka. Käytännön osuuden kirjoittamisen tukena on käytetty

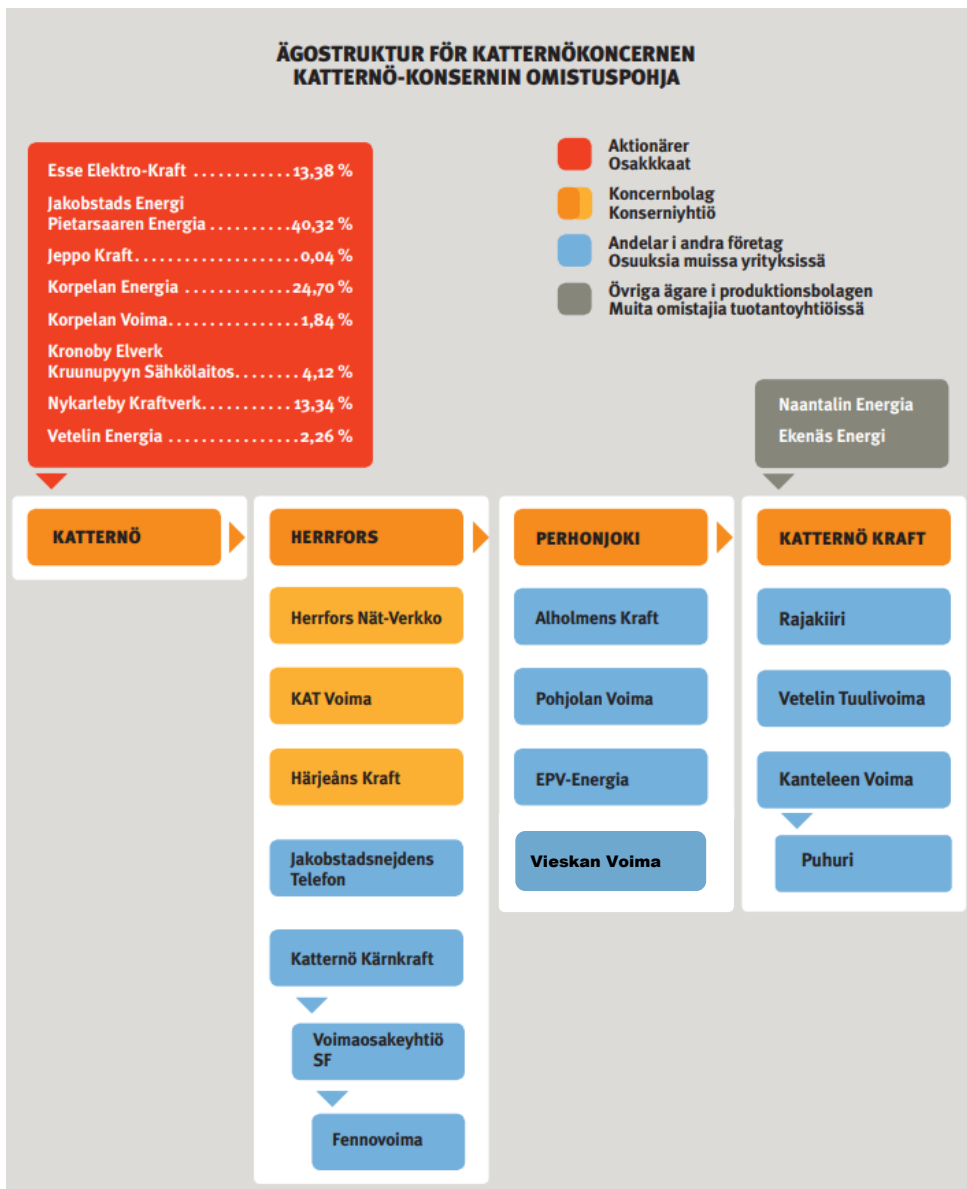
muistiinpanoja turbiinimestari Tom-Johan Alhon ja turbiiniasentajien John-Henry Alhon, Joni Karhun ja Sauli Nevalaisen kanssa käytyjä keskusteluja ja haastatteluita. Alhon Huollon toimitusjohtaja Kari Alho sekä revision valvoja Mihaly Makkai ovat osaltaan olleet avuksi opinnäytetyö tekemisessä. Yli-vieskan voimalaitoksen henkilökunta on myös avustanut ja tukenut opinnäytetyössä.

2 OY HERRFORS AB

Oy Herrfors Ab kuuluu Katternö-konserniin. Katternö- konserni on paikallinen energiayhtiö, joka tytäri- ja omistajayhtiöidensä välityksellä vaikuttaa Pohjanmaalla, Pohjois-Pohjanmaalla sekä Harjedalissa Ruotsissa. Konsernin toiminta jakautuu kolmeen osaan: sähkönhankintaan, sähköntuotantoon sekä kaukolämmöntuotantoon. Sähkön- ja kaukolämmöntuotanto tapahtuu pääosin tytäryhtiöiden Oy Perhonjoki Ab:n ja Katternö Kraft Oy Ab:n kautta. Sähkönhankinnan, verkkotoiminnan sekä sähkön- ja kaukolämmönjakelun hoitaa Oy Herrfors Ab. Kuviossa 1 on havainnollistettu Katternö-konsernin omistus pohja, josta käy ilmi, että Oy Perhonjoki Ab omistaa kokonaan Vieskan Voiman voimalaitoksen. Katternö-konsernin liikevaihto oli 141,7 miljoonaa euroa vuonna 2017 ja liiketulosta tehtiin 18,4 miljoonaa euroa. Katternö-konsernin pääkonttori sijaitsee Pietarsaassa ja palvelupisteet ovat Kolpissa ja Ylivieskassa. Konsernin palveluksessa on yhteensä 214 henkilöä. (Katternö 2018.)

Oy Herrfors Ab:n vastuulla ovat sähkökauppa ja kaukolämpötoiminta ja sähköverkkotoiminnasta vastaa tytäryhtiö Herrfors Nät. Herrfors toimittaa asiakkailleen tarpeidensa mukaista sähköä ja kaukolämpöä niin yksityisille pienkuluttajille kuin suurteollisuuden asiakkaille. Herrforsin tytäryhtiössä Oy Perhonjoki Ab:ssa ja sen tytäryhtiössä Katternö Kraftissa hoidetaan suurin osa konsernin sähkön ja kaukolämmön hankinnasta ja tuotannosta. Herrfors-konserniyhtiöiden sähköntuotannosta liki 80 prosenttia perustuu uusiutuviin energialähteisiin. Osuus jakautuu melko tasaisesti vesivoiman, tuulivoiman ja biomassoihin perustuvan tuotannon kesken. Ydinvoiman osuus kokonaistuotannosta on noin kymmenen prosenttia ja hiilen sekä turpeen osuudet ovat molemmat noin viisi prosenttia. Vuonna 2017 Herrforsin palveluksessa oli 91 henkilöä. (Katternö 2018.)

Oy Perhonjoki Ab:n Vieskan Voiman voimalaitos tuotti vuonna 2017 kaukolämpöä 102 GWh ja sähköä 17,5 GWh. Sähköntuotanto supistui 31,8 % edellisvuodesta pitkän turbiinihuollon vuoksi. Prosessihöyryä tuotettiin 4,5 GWh. Voimalan energiantuotannon hyötysuhde koheni 1,3 prosenttiyksikköä edellisvuoteen verrattuna. Kaukolämpöverkkoon saatiin 15 uutta liittymää, joten teoreettinen liittymisteho kasvoi näin ollen noin 1 300 kW eli 1,3 %. (Katternö 2018.)



KUVIO 1. Katternö-konsernin omistus pohja (mukaillen Katternö 2018)

2.1 Yrityksen historia

Oy Herrfors Ab:n historia alkaa jo vuodesta 1907, kun Herrfors-kosken varrella sijaitsevaan puuhiomoon hankittiin sähkögeneraattori. Puuhiomon lisäksi generaattori tuotti sähköä myös paikkakunnan kestikievariin, Kolpin kouluun sekä muutamiin lähialueen taloihin. Vuonna 1921 sekä Herrforsin että Långforsin koskeen rakennettiin suurehkot vesivoimalat. Långforsin voimala tuotti sähköä pohjoisen

suuntaan Kruunupyhyhyn, Lepplaxiin ja myöhemmin Kokkolaan. Herrforsin voimala tuotti sähköä Pännäisten alueelle. Vuonna 1963 Oy Herrfors Ab sai yritysfuusion myötä omistukseensa sekä Långforsin että Herrforsin voimalat. (Herrfors 2018.)

Vuonna 1976 Oy Katternö Ab osti Oy Herrfors Ab:n. Kaupan johdosta Katternö-yhtiöstä tuli ensimmäisen kerran energiantuottaja. Myös sähköverkko siirtyi kaupassa ostajalle ja näin ollen Katternö sai huomattavan määrän asiakkaita Pietarsaassa ja Kokkolassa. Tämän jälkeen Oy Herrfors Ab on kehittynyt siten, että se hoitaa kaiken sähkön-, kaukolämmön- ja prosessihöyrynjakelun Katternö -konsernin asiakkaille. (Herrfors 2018.)

Oy Perhonjoki Ab on perustettu vuonna 1957 ja se omistaa Vieskan Voiman Ylivieskan voimalaitoksen (YTJ 2018). Oy Perhonjoki Ab on Oy Herrfors Ab:n tuotantoyhtiö ja toimii Mankala-periaatteella. Mankala-periaate on varsinkin energiateollisuudessa käytetty periaate Suomessa. Periaatteella tarkoitetaan keskinäisen voimalaitosyhtiön omakustannushinnoitteluun perustuvaa vero-oikeudellista käytäntöä. Voimalaitosyhtiöt vastaavat toiminnan kustannuksista ja saavat omakustannushintaan vastineeksi sähköä omistusosuutensa suhteessa. (Hautamäki 2015.)

2.2 Ylivieskan voimalaitoksen historia

Ylivieskassa aloitettiin kaukolämmön tuotanto öljyllä vuonna 1977. Vuonna 1981 tehtiin kannattavuuslaskelma kiinteillä polttoaineilla toimivasta lämpökeskuksesta. Selvitysten perusteella tehtiin hanke suunnitelma lämpölaitoksesta, joka käyttää kotimaista polttoainetta. Keväällä 1983 valmistui turvetta polttava arinakattilalla varustettu lämpökeskus, jota vuonna 1992 täydennettiin lisälämpötehoa antavalla savukaasujen lauhdutuslaitoksella. 1990-luvulle tultaessa kiinteitä polttoaineita käyttävät CHP-laitokset (Combined Heat and Power) olivat tulleet kilpailukykyiseksi kyseisessä kokoluokassa. Yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa puolsivat myös ympäristösyöt. Saman energiamäärän tuottaminen erillisissä laitoksissa vaatisi n. 1,5-kertaisen määrän polttoainetta. (Ylivieskan voimalaitos 1994.)

Vieska Energia Oy:n voimalaitoksen sopimus allekirjoitettiin lokakuussa 1992. Työt aloitettiin joulukuussa 1992 ja joulukuussa 1993 aloitettiin laitoksen tuotannollinen koekäyttö. Voimalaitoksen rakentaja luovutti laitoksen tilaajalle tammikuussa 1994. Laitoksen kustannusarvio oli kaikkiaan 50 milj. markkaa, johon saatiin 6 milj. markan valtion investointiavustus. Voimalaitoksen sähköteho on 6,5 MW

ja kaukolämpöteho 20 MW (KUVA 1). Samanaikaisesti Suomessa rakennettiin useita muitakin saman kokoluokan voimalaitoksia. (Ylivieskan voimalaitos 1994.)

Sähkömarkkinoiden sääntelyä alettiin purkaa 1990-luvulla. Tämä johti osaltaan rajuihin omistussuhteiden muutoksiin monilla tahoilla. Tämä koettiin myös Ylivieskassa ja Alavieskassa, kun Katternö osti Vieska Energian vuonna 2001. (Katternö 2012.)



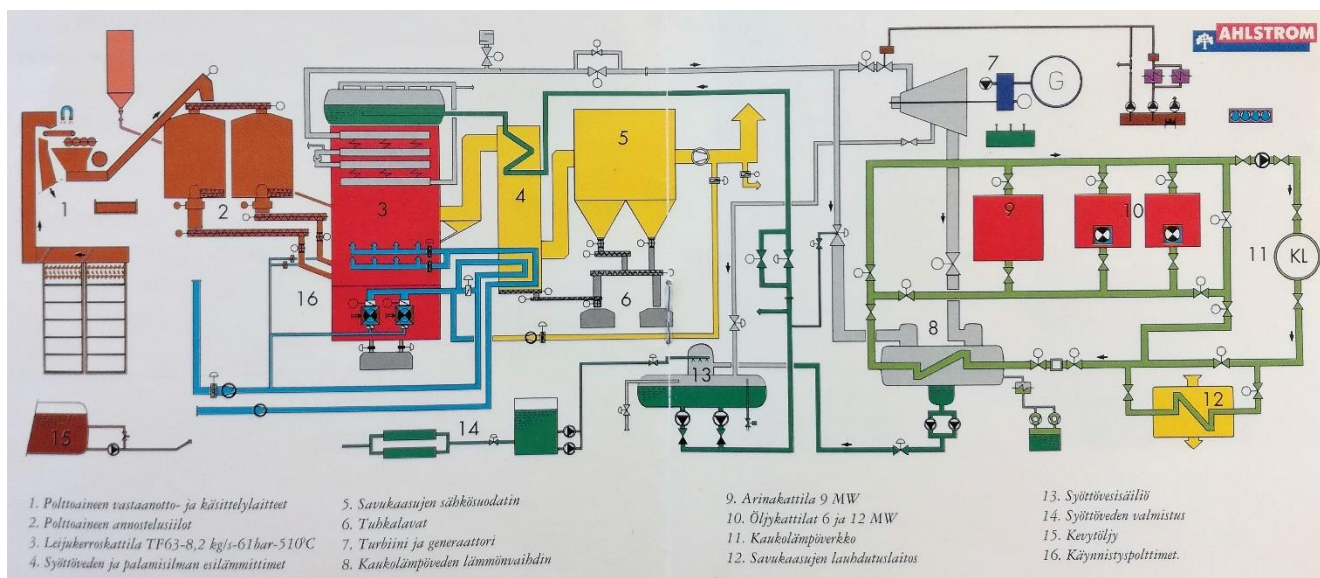
KUVA 1. Oy Perhonjoki Ab:n Vieskan Voiman voimalaitos Ylivieskassa

3 VASTAPAINOVOIMALAITOS

Vastapainevoimalaitos on yhteistuotantolaitos, joka tuottaa sekä sähköä että lämpöä, toisin kuin lauhdevoimalaitos, joka tuottaa pelkästään sähköä. Vastapainevoimalaitos saa nimensä turbiinin jälkeisestä vastapainehöyrystä, jonka paine ja lämpötila ovat niin korkeat, että niitä voidaan käyttää kaukolämmön tuottamiseen. Vastapaineturbiinista voidaan ottaa myös prosessihöyryä turbiinin väliottohöyrillä. Vastapainevoimalaitoksen kokonaishyötysuhde on yleensä yli 85 %, toisin kuin lauhdevoimalaitoksen, jossa se parhaimmillaankin on noin 40 %. Vastapainevoimalaitoksen parempi hyötysuhde selittyy lauhteesta saatavan energian hyödyntämisellä kaukolämmöksi. Lauhdevoimalaitoksen lauhdetta taas ei voida hyödyntää turbiinin jälkeisen höyryn matalan paineen ja lämpötilan vuoksi. (Korpinen 1998.)

Vastapainevoimalaitoksessa polttoaineen sisältämä kemiallinen energia muutetaan sähköksi ja lämmöksi. Polttoaineen palaessa kattilassa muuttuu siihen sitoutunut kemiallinen energia savukaasujen lämpöenergiaksi. Kattilassa savukaasujen lämpöenergia siirtyy veteen lämmönsiirtimissä ja vesi höyrystyy. Kattilan yläosan tulistimissa höyry tulistetaan eli lämmitetään höyrystymislämpötilaa korkeampaan lämpötilaan. Näin höyryn paine- ja lämpöenergia kasvaa eli tapahtuu entalpiamuutos. Tulistettu höyry johdetaan höyryputkia pitkin turbiinille, jossa osa höyryn entalpiasta muutetaan akselia pyörittäväksi kiineettiseksi energiaksi. Turbiinin pyörittäessä generaattoria saadaan mekaaninen energia muutettua sähköksi. Turbiinista poistuva höyry lauhdutetaan takaisin vedeksi kaukolämpövaihtimessa. Lauhdepumput pumpaavat veden kaukolämpövaihtimesta syöttövesisäiliöön, josta syöttövesipumppu pumppaa veden takaisin kattilaan höyrystettäväksi. Näin saadaan aikaan höyryn kiertoprosessi. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2016, 21-23.)

Ylivieskassa sijaitsevan Vieskan Voiman vastapainehöyryvoimalan sähköteho on 6,5 MW ja kaukolämpöteho 20 MW. Voimalasta toimitetaan myös prosessihöyryä asiakkaalle. Polttoaineena käytetään lähiseudulta saatavaa turvetta ja haketta sekä jonkin verran puutähdettä. Kuvassa 2 on Vieskan Voiman CHP-laitoksen periaatekuva.



KUVA 2. Vieskan Voiman CHP-laitoksen periaatekuva (Ylivieskan voimalaitos 1994)

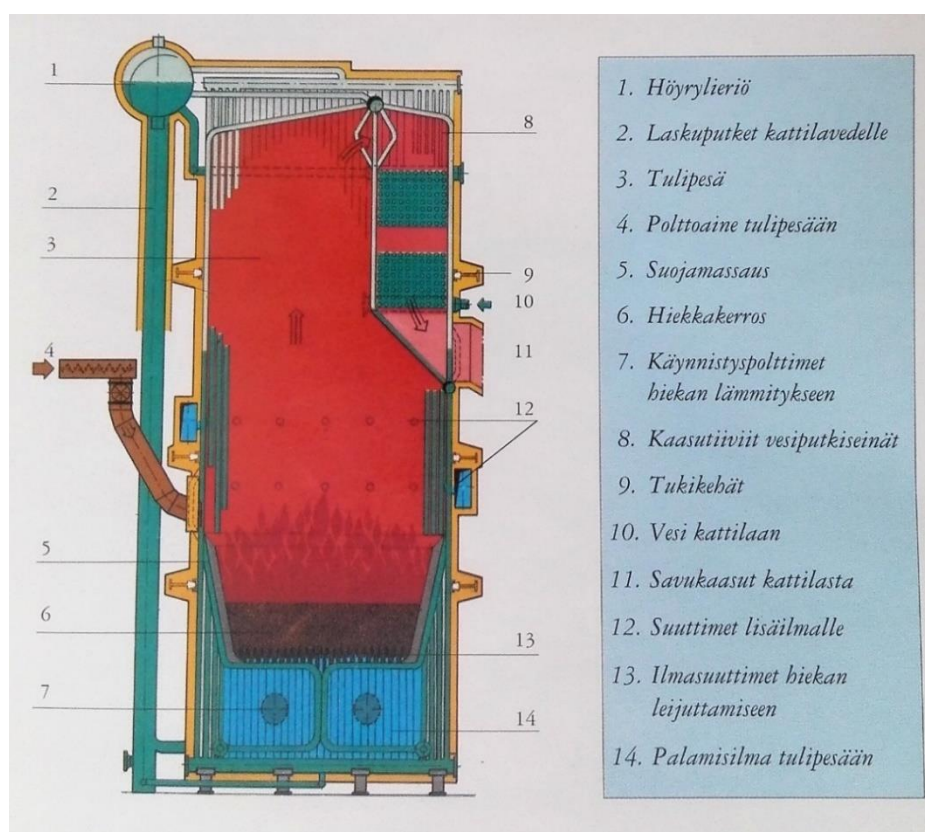
3.1 Kattila

Leijukerrospoltto on nykyään lähes syrjäyttänyt arinatekniikan yli 20 MW:n voimalaitoskattiloissa. Leijukerrostekniikassa polttoaine palaa leijutettavan hiekan seassa. Hiekka saadaan leijumaan puhaltamalla ilmaa kattilan alaosaan. Leijukerroskattilat jaetaan kahteen ryhmään, kerrosleiju- ja kierto-leijukattiloihin. Näiden kahden kattilatyypin ero on leijutusnopeudessa. Kerrosleijukattilassa polttoaine poltetaan noin 40-80 cm korkeassa leijuvassa hiekkapedissä kattilan alaosaan. Hiekkapeti on kupliva ja selvästi erotettavissa. Kiertoletikattilassa käytetään suurempaa leijutusnopeutta, jolloin käytetty hienempi hiekka poistuu tulipesästä savukaasujen mukana. Hiekka palautetaan takaisin kattilaan, kun se on ensin erotettu savukaasuista syklonin avulla. Syklonissa savukaasut saatetaan voimakkaaseen pyörivään liikkeeseen, joka erottaa keskipakoisvoimalla hiekan syklonikartion reunoille. Kartion reunoilta hiekka putoaa syklonin pohjalle, josta se johdetaan takaisin kattilan tulipesän alaosaan. Savukaasut poistuvat syklonin yläosasta savukaasukanavaan. (Huhtinen ym. 2016, 36-37.)

Ylivieskan voimalaitoksessa on kerrosleijukattila. Kerrosleijukattilassa hiekka saadaan leijumaan primääripuhaltimella, joka puhaltaa ilmaa kattilan alaosaan olevan leijusuutinarinan läpi. Kiinteä polttoaine syötetään hiekkapedin päälle pudotusputkia pitkin. Polttoaine kaasuuntuu ja osittain palaa kuumen hiekan seassa, joten tekniikka soveltuu hyvin kosteille polttoaineille. Sekundääripuhaltimella syötetään tulipesään lisäilmaa kattilan seinämille sijoitettujen suuttimien kautta. Polttoaineen lopullinen palaminen

tapahtuu sekundääri-ilman avulla kattilan ylemmissä osissa. Sekundääri-ilman avulla voidaan myös kontrolloida savukaasujen happipitoisuutta ja ilmaylimäärää. Leijukerrospoltoissa syntyvä tuhka on lähes kaikki lentotuhkaa, joka poistetaan yleensä sähkösuodattimilla. Leijukerrospolton etuja ovat mm. alhaiset typen ja rikin oksidipäästöt, polttotilan korkea lämpökapasiteetti ja tasainen palaminen sekä lämpötila, jolla estetään tuhkan sulaminen. (Huhtinen ym. 2016, 36-37, 42.)

Ylivieskan Voimalaitoksen kattila on erityisesti kotimaisille polttoaineille suunniteltu A. Ahlströmin valmistama kerrosleijukattila TF63. Kattilan lämpöteho on 23,5 MW ja höyryn arvot ovat 8,2 kg/s – 61 bar - 510°C (KUVA 3). Polttoaineena käytetään turvetta ja haketta. (Ylivieskan voimalaitos 1994.)



KUVA 3. Kerrosleijukattila (Ylivieskan voimalaitos 1994)

3.2 Turbolaitteisto

Voimalaitoksen turbolaitteisto koostuu höyryturbiinista, vaihdelaatikosta sekä tahtigeneraattorista. Turbolaitteiston toimintaan liittyviä osia ovat myös höyryputkisto venttiileineen, öljy- ja jäähdytysjärjestelmä, akselinpyörityskone eli paaksi sekä instrumentointi- ja automaatiojärjestelmät. (Lähteenlahti

2005, 9.) Vieska Energian Ylivieskan voimalaitokselle suoritettu turbiinirevisio keskittyi edellä mainittuihin turbolaitteiston komponentteihin. Seuraavissa alaluvuissa esitellään turbolaitteiston keskeisimmät osat.

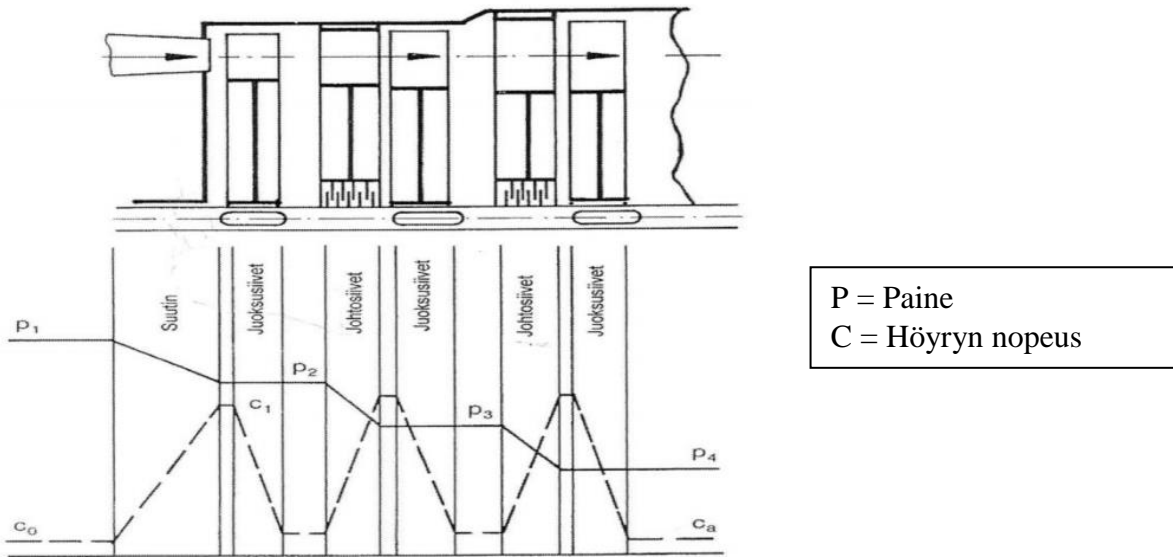
3.2.1 Höryturbiini

Höryturbiini on lämpövoimakone, jonka tehtävä on muuttaa höyryyn sitoutunutta energiaa (entalpia) akselia pyörittäväksi kineettiseksi energiaksi. Yleensä tämä mekaaninen työ muutetaan generaattorissa sähköenergiaksi. On myös olemassa höryturbiineja, jotka pyörittävät pumppuja, puhaltimia ja kompressoreja. Höryturbiinia käytetään myös laivojen voimanlähteenä. (Kauppinen 2018, 44.)

Ruotsalainen insinööri Gustaf de Laval kehitti ensimmäisen höryturbiinin vuonna 1883. Turbiinia käytettiin voimanlähteenä meijerissä kerman erotukseen. Höryturbiinilla tuotettiin sähköä ensimmäisen kerran vuonna 1890 Englannissa Forth Banksin voimalaitoksessa Newcastlella. Höryturbiineja valmistetaan useissa kokoluokissa aina 1 MW:n turbiineista yli 1800 MW:n ydinvoimalaitosturbiineihin. (Kauppinen 2018, 43-45.)

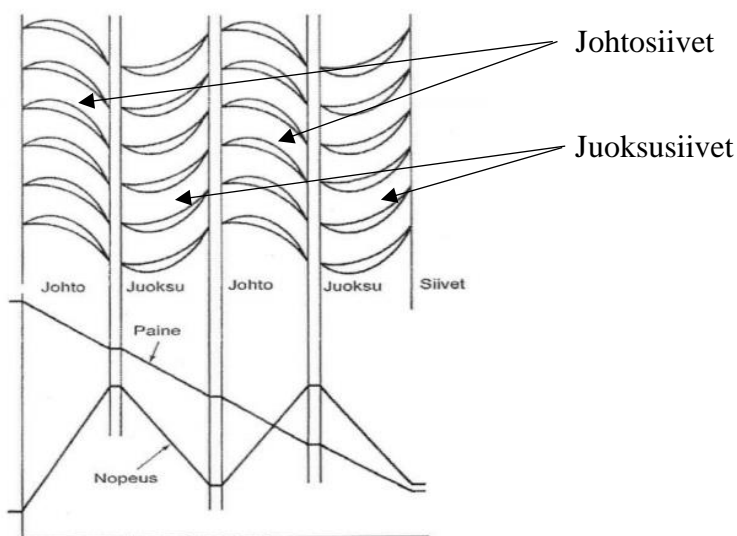
Höryturbiinissa höyryyn sitoutunut lämpöenergia muutetaan johtosiivissä nopeusenergiaksi. Höyrysuihkun nopeusenergia aiheuttaa roottorin juoksusiipiin kehävoiman, joka pyörittää roottorin akselia. Turbiinin kiinteissä johtolaitteissa höyrysuihkun nopeus ja suunta saadaan sopiviksi roottoriin kiinnitetyille juoksusiiville. Johtosiivet ja juoksusiivet muodostavat siipivyöhykkeitä, joiden lukumäärän perusteella puhutaan yksi- tai monivyöhykkeisistä turbiineista. Monivyöhykkeisessä turbiinissa entalpioiden pudotus tapahtuu useammassa jaksossa, mikä nostaa turbiinin hyötysuhdetta. (Kauppinen 2018, 44-45.)

Höryturbiinit jaetaan aktio- ja reaktioturbiineihin toimintaperiaatteen mukaan. Aktioturbiinissa höyry virtausnopeutta kasvatetaan johtosiivissä supistamalla höyryä ulostuloaukkoa, mikä saa aikaan paineen laskun. Höyry virtaa juoksusiipien läpi vakioaineella ja aiheuttaa kehävoiman juoksusiivistöön. Entalpioiden pudotus tapahtuu pelkästään johtosiivissä (KUVA 4). Suomenkielinen nimitys tasapaineturbiini johtuu siitä, että juoksusiivissä höyryä paine ei laske. (Kauppinen 2018, 47-48.)



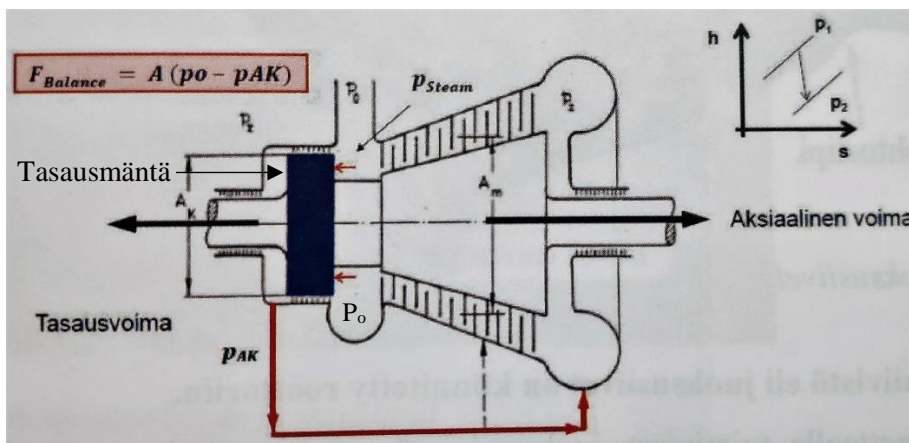
KUVA 4. Aktioturbiinin toimintaperiaate (mukaillen Huhtinen ym. 2016, 111)

Reaktioturbiinissa entalpian muutosta tapahtuu myös juoksusiivissä. Tämä johtuu siitä, että höyryn virtausnopeus juoksusiipiin nähden kasvaa ja aiheuttaa entalpian muutoksen. Juoksusiiven siipikanavan poikkipinta pienenee virtaussuunnassa, jolloin höyryn nopeus siiven suhteen kasvaa. Tämä aiheuttaa juoksusiipiin kehävoiman osittain höyryn virtaussuunnan muutoksesta sekä höyryn massavirran kiihdytyksestä syntyvästä reaktiovoimasta. Reaktioturbiinissa höyryn paine on juoksusiiven tuloreunalla suurempi kuin jättöreunalla (KUVA 5). Tästä johtuukin suomenkielinen nimitys ylipaineturbiini. (Kauppien 2018, 48-50.)



KUVA 5. Reaktioturbiinin toimintaperiaate (mukaillen Huhtinen ym. 2016, 111)

Niin sanottu yksijuoksuinen turbiini tarvitsee tasausmännän kumoamaan aksiaalivoimia. Tasausmäntä sijaitsee roottoriakselilla (kuvassa 6 tummennettu osa). Yksijuoksuisessa turbiinissa höyry virtaa turbiinin läpi eli tulee sisään turbiinin etupäästä eli ns. kuumasta päästä ja poistuu takapäästä eli ns. kylmästä päästä. Tämä aiheuttaa roottorin reaktiosiipivyöhykkeisiin aksiaalivoiman höyryn menosuuntaan nähden. Tämä voima kumotaan tasausmännän ja pyöräkammiossa olevien aksiaalisten poikkipinta-alojen ja paine-erojen avulla. Toisin sanoen tasausmäntä työntää roottoriakselia höyryn tulosuuntaan päin. (Lähteenlahti 2005, 18.) Kuva 6 havainnollistaa tasausmännän toimintaperiaatetta.



$$F = A \times P$$

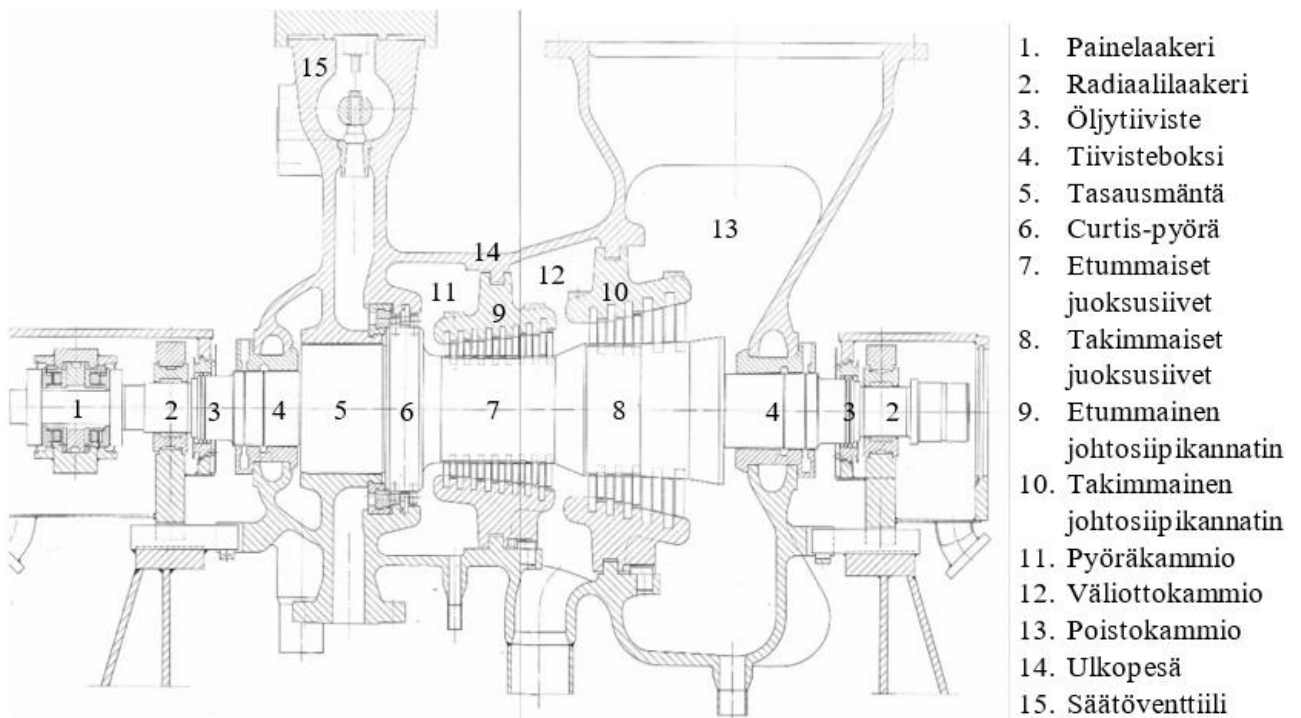
F = Voima
 A = Pinta-ala
 P = Paine

KUVA 6. Tasausmännän toiminta (mukailten Kauppinen 2018, 95)

Ylivieskan voimalaitoksen höyryturbiini on saksalaisen Blom & Voss'in valmistama vastapaineturbiini. Turbiinissa on niin sanottu yksikuorinen rakenne, jossa johtosiipikannattimet on kiinnitetty pultiliitoksien alemmaan ulkopesään. Tällä liukuvalla liitoksella mahdollistetaan johtosiipikannattimien lämpölaajeneminen ulkopesiin nähden. Ulkopesät koostuvat ylemmästä- ja alemmasta pesästä, joiden välissä on jakotaso. Pesät kiinnittyvät toisiinsa pultiliitoksella jakotasosta. Turbiinin sisällä olevassa roottorissa on kaksi aktiosiipivyöhykettä ja kolmetoista reaktiosiipivyöhykettä sekä tasausmäntä. Roottorin päissä on liukulaakerityyppiset radiaalilaakerit sekä painelaakeri etupäässä. Kuvassa 7 on höyryturbiini osittain purettuna ja turbiiniasentajat ovat juuri mittaamassa Curtis-pyörän tiivistepeltien välyksiä. Turbiinin nimellisteho on 6,5 MW ja nimelliskierrosnopeus 12000 1/min. Turbiini on varustettu höyryn välitotolla. Turbiinille tulevan höyryn arvot ovat 60 bar – 510 °C - 8,0 kg/s. Valmistajan ilmoittamat arvot höyryturbiinille on tarkemmin esitetty liitteessä 1. Kuvassa 8 on esitetty poikkileikkauskuva Ylivieskan voimalaitoksen turbiinista.



KUVA 7. Höryturbiini osittain purettuna



KUVA 8. Poikkileikkauskuva Ylivieskan voimalaitoksen turbiinista (Dampfturbinen 1993)

3.2.2 Vaihdelaatikko

Mikäli turbiinin pyörintänopeus on eri kuin generaattorin, tarvitaan niiden väliin vaihteisto. Turbiinikäytössä generaattorin pyörintänopeus on yleensä joko 1500 tai 3000 rpm 50 Hz:n sähköverkossa riippuen generaattorin napapariluvusta. Varsinkin pienempien turbiinien pyörintänopeus on yleensä huomattavasti suurempi kuin generaattorien. (Kauppinen 2018, 113.)

Ylivieskan voimalaitoksen vaihdelaatikossa on kaksi hammasrattain varustettua akselia, ensiö- ja toisioakseli. Turbiinilta tuleva voima välittyy vaihdelaatikon ensiöakselille hammaskytkimellä, joka saa voitelun öljyruiskutuksella. Ensiöakselin generaattorin puoleisessa päässä on paaksi eli akselinpyörityslaite. Paaksia käytetään alas- ja ylösajotilanteissa roottorin ja muiden osien vääntymisen estämiseksi. Ensiöakseli on liukulaakeroitu päistään. Ensiöakselissa ei ole painelaakeria, vaan se keskittyy kahden vinohampaisen hammasrattaansa johdosta toisioakselin määräämään kohtaan.

Toisioakselin turbiinin puolen päässä on pääöljypumppu. Pääöljypumpun ja toisioakselin välissä on tappikytkin. Toisioakseli on myös liukulaakeroitu, mutta radiaalilaakereiden lisäksi siinä on myös painelaakerit hammaspyörän molemmin puolin. Toisioakselilta voima välittyy generaattorille rasvatäyteen hammaskytkimen välityksellä.

Vaihdelaatikko on saksalaisen Flenderin valmistama hammaspyörävaihteisto. Vaihdelaatikossa on ensiö- ja toisioakselit hammaspyörineen välityssuhteella 8,04, jolla saadaan turbiinin pyörimisnopeus muutettua generaattorille sopivaksi. Valmistajan ilmoittamat arvot vaihdelaatikolle löytyvät liitteestä 2. Kuvassa 9 on vaihdelaatikon kansi sekä pääöljypumppu poistettu. Ensiö- ja toisioakselit näkyvät hammaspyörineen



KUVA 9. Saksalaisen Flenderin valmistama vaihdelaatikko

3.2.3 Generaattori

Generaattori on kone, joka muuttaa mekaanisen liike-energian sähkövirraksi. Generaattorissa on kaksi pääkomponenttia, paikallaan oleva staattori ja pyörivä roottori. Generaattorin magnetoinnista riippuu, saadaanko sähkö staattorilta vai roottorilta. Voimalaitosgeneraattoreissa sähkövirta tulee yleensä staattorilta. (Kauppinen 2018, 257.)

Tahtigeneraattorin N-päässä on kestopagnetoitu apumagnetointikone eli herätinkone. Herätinkoneella syötetään päämagnetointilaitetta diodisillan kautta. Herätinkoneen ja roottoriakselin välissä on kumikytkin. Roottoriakselin päissä on roiskevoidellut radiaaliliukulaakerit. D-päässä on myös painelaakeri. Painelaakerin aksiaalivälitys on normaalia suurempi, koska magnetoitaessa roottori hakee magneettisen nol-lapisteensä. Generaattorin jäähdytyksestä huolehtivat roottoriakselilla olevat puhallinsiivet kierrättämällä ilmaa generaattorin yläpuolella olevien radiaattorien lävitse. Tahtigeneraattori on ABB Strömbergin valmistama (KUVA 10). Valmistajan ilmoittamat arvot generaattorille löytyvät liitteestä 3.



KUVA 10. ABB Strömberg -tahtigeneraattori

3.2.4 Öljyjärjestelmä

Öljyjärjestelmän tehtävänä on voidella ja jäähdyttää joka tilanteessa turbolaitteiston laakerit, kytkimet sekä vaihteiston hammaspyörät. Öljyjärjestelmän tärkeydestä kertoo se, että öljykierron toiminta varmistetaan kolmen eri pumpun toiminnalla. Näiden pumppujen toiminta avataan jäljempänä. Oikea öljynpaine ja -tuotto erityisesti liukulaakereille on tärkeää, koska pienikin katkos öljynsaannissa voi johtaa laakerivaurioon. Öljyjärjestelmän tehtävänä on myös tuottaa käyttöpaine ohjausöljylle. Ohjausöljyjärjestelmällä ohjataan mm. turbiinin säätöventtiilin ja pikasulkuventtiilin toimilaitteita. Turbiiniöljylle on omat laatukriteerinsä viskositeetin, hapettumisen eston, ilmanerotuskyvyn, korroosion, vedenerotuskyvyn ja puhtauden suhteen. (Kauppinen 2018, 110.)

Ylivieskan voimalaitoksen koko turbolaitteisto makaa suuren öljysäiliön päällä. Öljysäiliön tilavuus on 5500 litraa. Öljysäiliö on varustettu lämmitysvastuksilla, pinnankorkeusmittarilla, lämpötilanmittauksella sekä öljysumuimurilla. Öljysumuimurin tehtävä on imeä säiliöön ja laakereille alipaine ja poistaa kaasuuntunut öljy säiliöstä. Öljysumuimurin sisällä on suodattimet, joihin kaasuuntunut öljy ja epäpuhtaudet jäävät (KUVA 11). Öljysäiliön pohjassa on venttiili veden poistamiseksi.



KUVA 11. Öljysumuimuri

Pääöljypumppu sijaitsee vaihdelaatikossa ja se saa käyttövoimansa toisioakselilta. Pääöljypumpun ja toisioakselin välissä on tappikytkin. Pääöljypumppu on hammasratastyyppinen vakiotilavuuspumppu paineensäätöventtiilillä varustettuna. Pääöljypumpun tehtävä on tuottaa riittävä öljynpaine ja -tuotto käytön aikana (KUVA 12).



KUVA 12. Kuvan keskellä oleva komponentti on pääöljypumppu

Apuöljypumppua tarvitaan ylös- ja alasajotilanteissa, kun pääöljypumpun paine ja tuotto eivät riitä matalilla kierroksilla. Apuöljypumppu käynnistyy automaattisesti öljynpaineen laskiessa alle 4,5 baarin painetason. Apuöljypumppu saa käyttövoimansa kolmivaiheoikosulkumoottorilta.

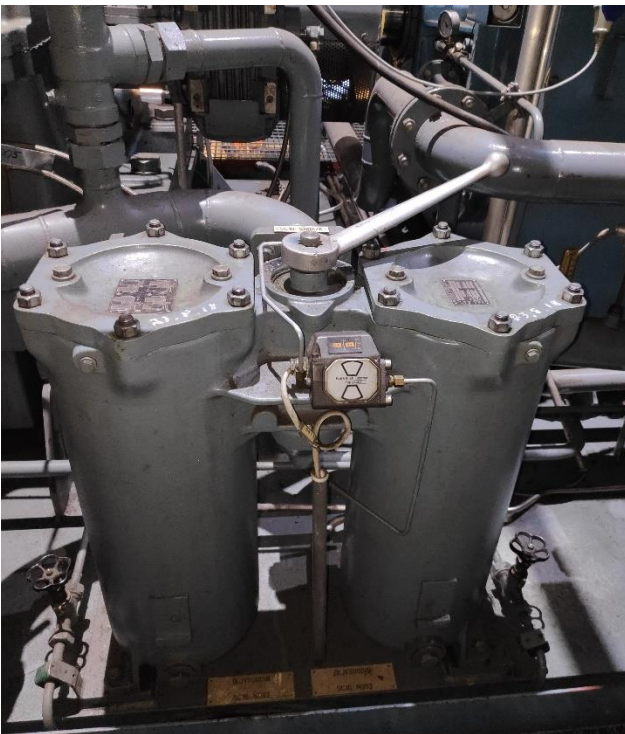
Hätäöljypumppu on tasavirtakäyttöinen ja saa virran akustolta. Hätäöljypumppu varmistaa öljynsaannin tilanteissa, joissa pääöljypumppu ja apuöljypumppu eivät pysty tuottamaan riittävää painetta. Tällainen tilanne voi tulla esimerkiksi alasajotilanteessa, jossa vaihtovirta on menetetty. Hätäöljypumppu käynnistyy paineen laskiessa alle 1,0 baarin paineen. Mikäli öljynpaine laskee alle 0,8 baarin, tapahtuu turbiinin pikasulku.

Öljypumpuilta öljy virtaa putkistoa pitkin öljynjäähdyttimille, joiden tehtävänä on jäähdyttää kuumentunut öljy. Öljynjäähdyttimiä on kaksi rinnan kytkettyinä. Öljynjäähdyttimien yhteydessä on öljyn lämpötilansäädin, jonka tehtävänä on säätää lähtevän öljyn lämpötila viskositeettiarvoa vastaavaksi. Öljyn lämpötilan säätö tapahtuu sekoittamalla pumpulta tulevaa kuumentunutta öljyä jäähdyttimiltä tulevaan jäähdytettyyn öljyyn (KUVA 13).



KUVA 13. Öljynjäähdyttimet

Öljynjäähdyttimiltä öljy virtaa öljynsuodattimille, joiden tehtävä on poistaa epäpuhtaudet öljystä. Epäpuhtaudet voivat vaurioittaa laakereita ja aiheuttaa ongelmia ohjausöljyjärjestelmässä. Öljynsuodattimia on kaksi rinnan asennettuina. Kolmitieventtiilillä voidaan öljyn virtausta säätää kulkemaan joko molempien tai kumman tahansa suodattimen kautta. Tämä mahdollistaa öljynsuodattimen huollon ajon aikana. Suodattimilla on paine-eromittari, joka vertaa öljyn painetta suodattimien tulo- ja lähtöpuolelta. Paineeron kasvaessa liian suureksi aiheuttaa se hälytyksen ja silloin on syytä vaihtaa tai pestä suodatin. Suodattimet ovat metalliverkkotyypiset 40 µm:n suodatuskyvyllä (KUVA 14).



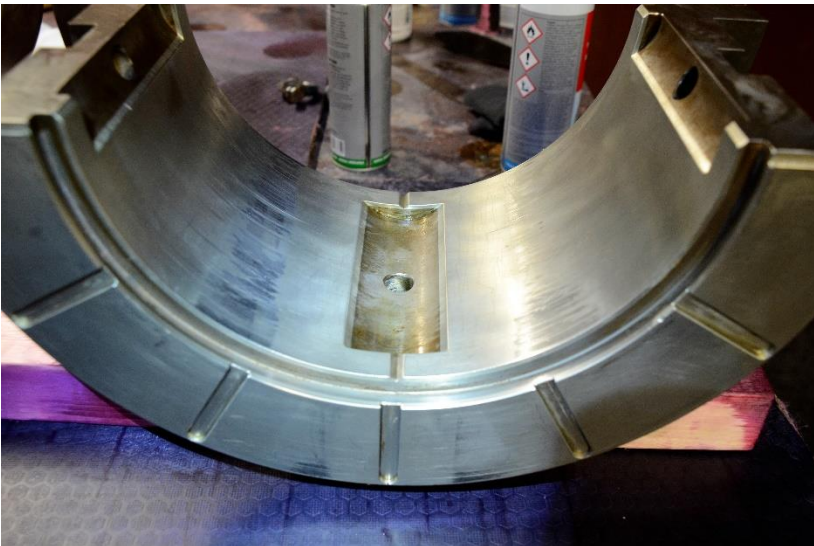
KUVA 14. Öljynsuodattimet

Suodattimilta öljy virtaa putkistojä pitkin käyttökohteille. Putkistossa on kiinteitä kuristimia, joilla säädetään oikea öljynvirtaus ja paine laakereille. Liian pieni öljynpaine aiheuttaa öljykalvon menetyksen laakerin ja laakerikaulan väliltä. Liian pieni öljyn virtaus taas nostaa laakerin lämpötilaa. Molemmissa tapauksissa on tuloksena laakerivaurio. Liian suuri öljyn virtaus voi aiheuttaa öljyvuotoja akselitiivisteissä. Laakereilta ja muilta öljyn käyttökohteilta öljy palaa takaisin säiliöön ns. nollaputkia pitkin.

3.2.5 Laakerit

Turbolaitteiston laakerit ovat pääsääntöisesti liukulaakereita. Laakeripinta on valkometallia, joka koostuu tinasta, kuparista, lyijystä sekä antimonista. Valkometallia käytetään sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Pehmeytensä puolesta valkometalli kestää reunapuristusta ja pystyy hautaamaan kovia partikkeleja. Valkometallin valmistaminen on helppoa ja edullista ja sen kitkaominaisuudet ovat hyvät. (Kauppinen 2018, 103.)

Turbiinin, vaihdelaatikon sekä generaattorin akselit on laakeroitu molemmista päistään radiaalilaakerein. Radiaalilaakerin tehtävä on painon kannattaminen sekä ottaa vastaan säteen suuntaisia voimia. Aksiaali- eli painelaakereita on taas turbiinin etupäässä, vaihdelaatikon toisioakselilla sekä generaattorin D-päässä. Nimensä mukaisesti aksiaalilaakerin tehtävä on ottaa vastaan akselinsuuntaisia voimia. Vaihdelaatikossa sekä generaattorilla radiaali- ja aksiaalilaakeri on yhdistetty (KUVA 15), mutta turbiinilla ne ovat erikseen. Turbiinin roottorin ja johtosiipikannattimien väliset vällykset ovat pieniä hyvän hyötysuhteen saavuttamiseksi. Tämä asettaa laakereille suuret vaatimukset vällysten suhteen. Liian suureksi kasvanut välly voi aiheuttaa osien yhteen hankautumista ja kiinnileikkautumista. (Kauppinen 2018, 101-106.)



Kuva 15. Vaihdelaatikon toisioakselin radiaali/aksaalilaakeri

3.2.6 Tiivisteet

Turbiinin erittäin kuumien ja korkeapaineisten osien liitoksissa ei käytetä tiivisteitä. Tällaisia tasopintoja ovat esim. ulkopesien välinen jakotaso, pikasulkuventtiilin ja ulkopesän pitopinnat sekä säätöventtiilin tukin ja ulkopesän pitopinnat. Tasopinnat on koneistettu suoriksi ja tasaisiksi, jotta metalli–metallikosketuksella saadaan pitävä liitos riittävän suurella puristuksella. Kuumien komponenttien liikkuvien karojen (esim. säätöventtiilikarojen) tiivisteinä käytetään tiivisteboksien sisällä grafiitti ja hiilirenkaita niiden korkean lämpötilan- ja paineen keston vuoksi. Alemmissa paineissa ja lämpötiloissa käytetään metallitiivisteitä sekä metallivahvisteisia grafiittitiivisteitä, esimerkiksi laippatiivisteinä. (Röntynen 2016, 32.)

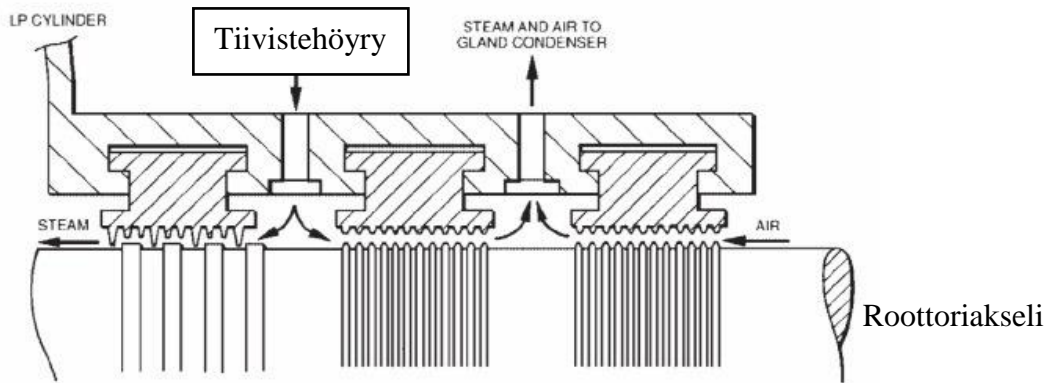
Turbiinin akselin ja siipivyöhykkeiden tiivistämisessä käytetään labyrinttitiivisteitä. Labyrinttitiivisteet ovat pyörivien osien tiivisteitä, joissa tiivistepinnat eivät ole kosketuksissa toisiinsa. Tiivisteiden toiminta perustuu höyryn kuristamiseen ja paisuttamiseen aiheuttamaan pyörteilyyn ja paineen laskuun. Kuristaminen vähentää höyryn painetta ja paisuttaminen entalpiaa. Tämän tyyppisessä tiivisteessä tapahtuu aina pientä vuotoa. Kuva 16 havainnollistaa labyrinttitiivisteiden toimintaperiaatetta. (Röntynen 2016, 32.)

Vastapaineturbiinin poistokammiossa vallitsee alipaine. Alipaine pyrkii imemään ilmaa roottoriakselin välistä poistokammioon. Tiivistehöyryjärjestelmällä estetään ilman pääsy turbiinin sisään. Käynnin aikana tiivistehöyry tulee korkeapainepään labyrinttitiivisteeltä matalapainepään labyrinttitiivisteelle. Ylösajossa tiivistehöyry otetaan tiivistehöyryjärjestelmästä. Kuva 17 havainnollistaa tiivistehöyryn toimintaperiaatetta. (Kauppinen 2018, 91-92.)



- a. Roottorin akseli
- b. Labyrinttiholkki
- c. Tiivistepelti
- d. Sidelanka

KUVA 16. Labyrinttitiivisteiden toimintaperiaate (mukaillen Kauppinen 2018)



KUVA 17. Tiivistehöyryn toimintaperiaate (mukaiillen Artikel Teknologi Indonesia 2018)

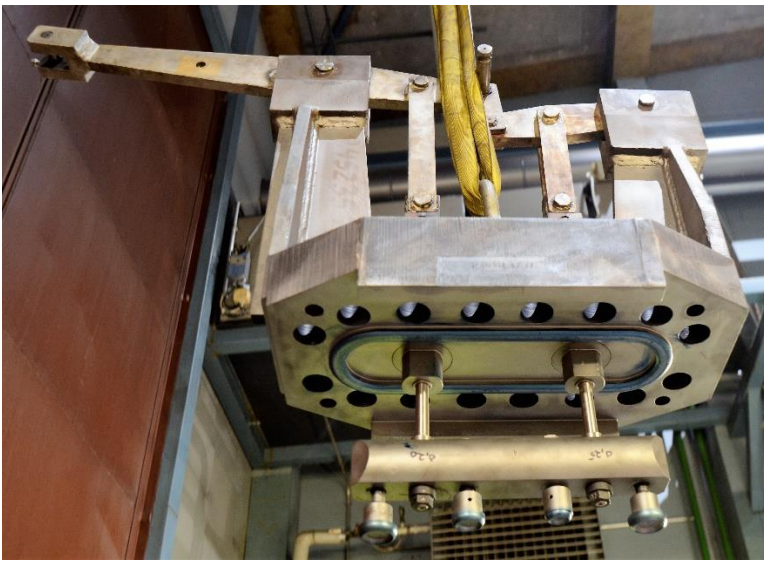
3.2.7 Toimilaitteet

Turbiinin toimilaitteisiin kuuluvat pikasulkuventtiili sekä säätöventtiili. Tuorehöyry virtaa kattilan tulistimien kautta turbiinille pikasulkuventtiilin ja säätöventtiilin kautta. Pिकासulkuventtiili on turbiinin tärkein varolaite ja sen tehtävä on suojata turbiinia ryntäämiseltä kuorman hävitessä. Ryntäämisellä tarkoitetaan turbiinin roottorin nopeaa pyörimisnopeuden kasvua, josta voi seurata laitevaurioita. Pिकासulkuventtiili sulkee höyryn tulon turbiinille. Venttiili sulkeutuu jousivoimalla ja avautuu hydraulisesti ohjausöljyn paineella. Jousivoima sulkee pikasulkuventtiilin, mikäli toimilaitteelle ei tule ohjausta. Pिकासulkuventtiili katkaisee höyryn tulon turbiinille myös häiriö- ja pysäytystilanteissa. Vastapainevoimallaitoksessa pikasulkuventtiilin lauettua ohjataan tuorehöyry reductioventtiilin kautta kaukolämmönvaihtimelle. (Kauppinen 2018, 65-66.) Kuvassa 18 on pikasulkuventtiili irrotettu pesästään huoltoa varten.



KUVA 18. Pिकासulkuventtiili

Säätöventtiilin tehtävä on säätää turbiinin tehoa. Tehoa säädetään muuttamalla höyryvirtausta kuormituksen tarpeen mukaan. Säätöventtiili sijaitsee höyrykammiossa, jonne höyry tulee pikasulkuventtiililtä. Säätöventtiilin keilojen avautuessa pääsee höyry virtaamaan Curtis-pyörälle suutinvyöhykkeiden kautta. Keiloja ja suutinvyöhykkeitä on yleensä useita. Parhaan hyötysuhteen saavuttamiseksi vain yhtä keilaa säädetään kerralla muiden keilojen ollessa joko kiinni tai auki. Säätöventtiili suljetaan jousivoimalla ja avataan ohjausöljyn paineella hydraulisesti. Jousivoima sulkee säätöventtiilin, jos toimilaitteelle ei tule ohjausta. (Kauppinen 2018, 66-69.) Kuvassa 19 säätöventtiilille on juuri tehty siniväritarkastus, jonka tarkoitus on kertoa pitopinnan tiiveys.



KUVA 19. Säätöventtiili ilman toimilaitetta

3.2.8 Automaatio ja instrumentointi

Voimalaitokset asettavat omat haasteensa automaatiojärjestelmille. Haasteet johtuvat energiantuotannon varmuusvaatimuksista, järjestelmältä vaadittavasta suorituskyvystä ja korkeasta automaatioasteesta sekä voimalaitosprosessin häiriö- ja vaaratilanteiden hallinnasta. Voimalaitoksen automaatiojärjestelmän ensisijaisena tehtävänä on ohjata prosessia optimaalisesti siten, että toiminnalle asetetut tavoitteet saavutetaan parhaalla mahdollisella tavalla. Automaation näkökulmasta voimalaitoksen toiminta on melko nopea prosessi ja sisältää useita suoraan tai prosessin kautta vuorovaikutuksessa olevia säätöjä, joiden hallinta edellyttää jatkuvaa valvontaa ja toimenpiteitä. Esimerkiksi höyryturbiinille syötettävän höyrynpaineen ja lämpötilan säätötoleranssit ovat melko pienet. Voimalaitosautomaatiolla tavoitellaan myös

mahdollisimman korkeaa käytettävyyttä ja hyötysuhdetta samalla kun minimoidaan käyttökustannuksia ja ympäristövaikutuksia. Voimalaitosten automaatiojärjestelmät ovat pääsääntöisesti samoja kuin prosessiteollisuudessa käytetyt. Joidenkin suurempien lauhdevoimalaitosten voimalaitosvaatimukset rajoittavat tarjolla olevien järjestelmien soveltamista esimerkiksi vasteaikavaatimusten vuoksi. Vastapainevoimalaitoksissa taas käytetään lähes poikkeuksetta prosessiteollisuuden automaation vaatimustasoja ja ratkaisuja. (Joronen, Kovács & Majanne 2007, 29, 184.)

Voimalaitoksen prosessien hallinnan perusmittauksia ovat lämpötilan, paineen ja virtauksen mittaukset. Näiden suureiden tarkka mittaaminen on tärkeää toiminnallisten ja taloudellisten syiden vuoksi. Myös turvallisuus ja viranomaismääräykset asettavat omat vaatimuksensa mittauksille. Perusmittauksien lisäksi voimalaitosprosesseissa mitataan mm. pinnan korkeuksia, värähtelyjä, kierrosnopeuksia, akselin siirtymiä, venymiä, happipitoisuuksia ja sähköisiä suureita kuten generaattorin tehoa ja jännitettä. Voimalaitokset joutuvat tarkkailemaan myös päästöjä. Päästömittauksissa mitataan tyypillisesti rikkidioksidi (SO₂)-, typen oksidi (NO_x)- ja hiukkaspäästöjä. Päästöjen laskentaa varten mitataan apusuureina happea (O₂), vettä (H₂O), painetta ja lämpötilaa. Edellä mainittuja suureita mitataan ja säädetään erilaisilla instrumenteilla eli mittalaitteilla, antureilla ja venttiileillä. (Joronen ym. 2007, 84, 105.)

4 TURBIINIREVISIO

Turbiinirevisio on osa voimalaitoksen kunnossapitoa. Revisioksi kutsutaan turbiinin suunniteltua huoltoseisokkia. Revision tarkoituksena on antaa tietoa turbiinin kunnosta ja taata sen häiriötön käyttö korkealla hyötysuhteella seuraavalle käyttöjaksolle. Turbiinirevisiolle voi olla monia syitä. Näitä syitä ovat esimerkiksi hyötysuhteen heikentyminen, joka voi johtua kerrostumista turbiinin siivistössä, kuluminen, vuodot tai muut vauriot. Linjauksen muuttumisesta, laakerien kunnosta, siipivauriosta tai muodonmuutoksista johtuvat muutokset värähtelyissä voivat myös olla revisiotarpeen taustalla. Revision syynä voi olla myös revisiovälin täytyminen tai tarkastus elinikää varten. Turbiinirevisiossa huolletaan yleensä koko turbolaitteisto, johon kuuluvat myös vaihdelaatikko, generaattori sekä toimilaitteet. Revision alussa kannattaa tutustua aikaisemmin tehtyihin huoltoihin ja revisioihin sekä edellisen käyttöjakson kokemuksiin. (Kauppinen 2018, 193.)

Turbiinin osilla on olemassa erilaisia viottumismekanismeja. Näitä ovat mm. kuluminen, väsyminen, viruminen, korroosio, eroosio, materiaaliviat, vieraat esineet ja asennusvirheet. Yleensä poikkeamat turbiinin osissa johtuvat edellä mainituista mekanismeista. Vioittumismekanismit on hyvä tuntea ja tunnistaa, jotta voidaan kartoittaa vian mahdolliset vaikutukset ja leviäminen muihin kohteisiin. (Kauppinen 2018, 128-134.)

4.1 Tarkastusmenetelmiä

Turbolaitteiston kunnan määrittämiseen ja vioittumismekanismien toteamiseen on olemassa erilaisia menetelmiä. Tarkastusmenetelmät tulee valita tarkastuskohteen mukaan. Valintakriteereinä voidaan käyttää tarkastettavan kohteen materiaalia, voimia, lämpötiloja, sijaintia sekä mitä halutaan tarkastaa. Yksi yleinen tarkastusmenetelmä on rikkomaton testaus eli Non Destructive Testing (NDT). NDT-tarkastuksia ovat esimerkiksi visuaalinen eli silmämääräinen tarkastus. Tällä menetelmällä voidaan tarkastella eri pintoja. Silmämääräisesti voidaan havaita korroosio, hankausjäljet, vääntymät ja lämmön aiheuttamat sävyt pinnoilla. Apuvälineinä voidaan käyttää peilejä, suurennuslaseja, valaistusta ja endoskooppia. Visuaalinen tarkastus on kokemusta arvostava. Tunkeumanestetarkastuksella voidaan havaita säröjä, halkeamia, huokosia ja syöpymiä ei-huokoisten materiaalien pinnoilta. Tunkeumanestetarkastuksessa pinta kastellaan tunkeumanesteellä, joka imeytyy pinnan mahdollisiin koloihin ja säröihin. Yli-

määräinen tunkeumaneste poistetaan ja pinnalle levitetään kehitekerros, joka imee epäjatkuvuuksiin jääneen tunkeumanesteen itseensä. Menetelmä tuo esiin vikoja, joita silmämääräisesti on hankala havaita. Magneettijauh tarkastuksella voidaan havaita pinnassa ja lähellä pintaa olevia vikoja ferriittisistä materiaaleista. Menetelmässä pinnalle levitetään rautaoksidijauhetta, joka hakeutuu epäjatkuvuuskohtiin magnetoitaessa kappaletta. Menetelmän hyvä puoli on sen herkkyyden pienten säröjen suhteen. Ultraäänitarkastus soveltuu ääntä johtaville materiaaleille. Menetelmä perustuu ultraäänipulssin kaiun heijastumisen analysointiin. Ultraäänitarkastuksella voidaan havaita materiaalin sisältä epäjatkuvuuskohtia, jotka eivät välttämättä ylety pintaan. Jäljennetarkastuksella voidaan havaita kappaleen viruminen ja määrittellä jäljellä oleva käyttöikä. Tarkastuskohteen pinta hiotaan ja kiillotetaan elektrolyyttisesti. Kiillotetun kohdan mikrorakenne kopioidaan muoviliuskalle eli replikalle. Jäljenne analysoidaan mikroskoopin avulla. Siniväritarkastuksella tarkastetaan metallisten tiivistyspintojen tiiveys. Väriainetta levitetään tiivistyspinnoille ja liitos suljetaan. Liitoksen avaamisen jälkeen nähdään värikuvasta liitoksen tiiveys. Joskus käytetään myös radiografista tarkastusta eli röntgenkuvausta mm. hitsausseamien tarkastamisessa. (Kauppinen 2018, 126, 179-184.)

4.2 Revisioon liittyvät mittaukset

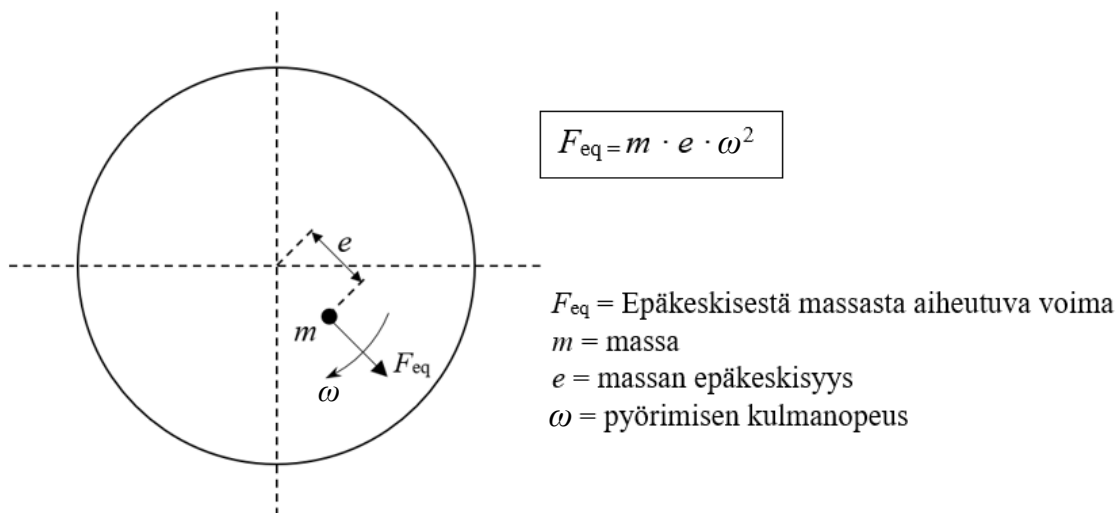
Turbiini on uutena säädetty valmistajan antamien ohjearvomittojen mukaan. Turbiinin osille sekä akselilinjauksille löytyy ohjearvomitat mittapöytäkirjasta eli turbiinipassista. Turbiinirevision purkuvaiheessa mitataan, ovatko osat ja linjaukset pysyneet annetuissa toleransseissa. Mikäli mittaustuloksissa havaitaan poikkeamia, on niiden syyt selvitettävä. Usein poikkeamat johtuvat aikaisemmin mainituista vioittumismekanismeista. Jos poikkeamat ovat toleranssien ulkopuolella, on osat joko korjattava tai vaihdettava uuteen kohteesta riippuen. Turbiinin purkuvaiheen mittaukset kertovat mahdollisista ajon aikana tapahtuneista muutoksista. Asennusvaiheen mittaukset ovat hyvin samantyyppisiä kuin purkuvaiheen, mutta niiden tarkoituksena on saattaa turbiini normaaliin toimintakuntoon. Mittaustuloksia on myös hyvä verrata aikaisempien huoltojen mittapöytäkirjoihin, mikäli sellaisia on saatavilla. Kaikki revisioissa tehtävät mittaukset kannattaakin kirjata mittapöytäkirjaan myöhempää tarkastelua varten. (Kauppinen 2018, 188.)

Turbiinirevision aikana tehdään lukematon määrä erilaisia mittauksia. Näistä suurimpina mainittakoon värähtelymittaukset, välismittaukset ja linjaukset. Revision tekijän täytyykin hallita erilaiset mittalaitteet ja mittaustekniikat välttääkseen mittausrvirheitä. Mittausvirheitä voi syntyä, jos mitta-asteikkoa lue-

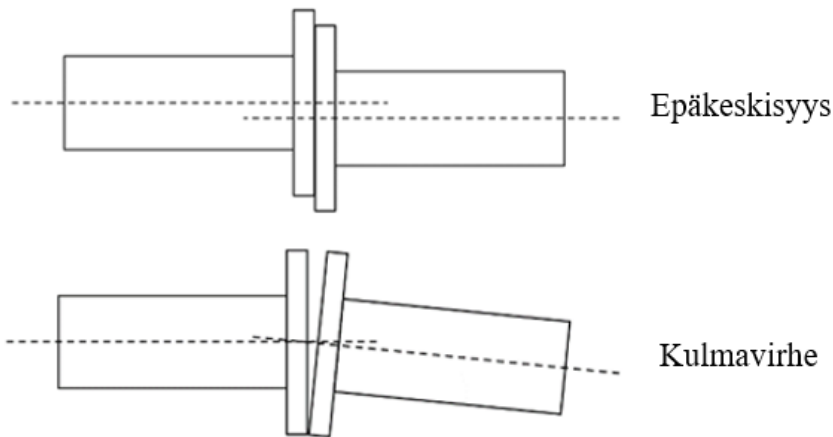
taan väärin, mittalaitteeseen tulee toimintahäiriö tai mittatietojen tallennuksessa tapahtuu virhe. (Keinänen & Järvinen 2014, 95.) Revision valvojan Mihaly Makkain mukaan kohteen mittausta täytyy toistaa niin monta kertaa, että saadaan luotettava tulos (Makkai 2017).

4.3 Linjaus

Kahden akselin pyöriessä epäkeskeisesti toisiinsa nähden aiheuttaa se poikkeaman massakeskipisteen ja pyörintäkeskipisteen välillä. Tämä epäkeskinen massa aiheuttaa värähtelyä, joka rasittaa laakereita ja muita rakenteita (KUVIO 2). (Pennala 1999, 55-58.) Silloin kun akselien linjat ovat samansuuntaiset mutta pyörintäkeskipisteet eroavat toisistaan, puhutaan epäkeskisyydestä. Kulmavirhe taas tarkoittaa sitä, että akselien keskilinjat ovat erisuuntaiset (KUVIO 3). Turbiinin ja vaihdelaatikon sekä vaihdelaatikon ja generaattorin väliset akselit pyritään linjaamaan mahdollisimman suoraan, jotta väärän linjauksen aiheuttamilta ongelmilta välttyttäisiin. Linjauksia on ennen suoritettu viivaimen ja/tai mittakellon avulla. Nykyään on yleisesti käytössä laserlinjausjärjestelmä, mikä nopeuttaa ja helpottaa akselien linjausta. Laserlinjausjärjestelmä on myös tarkka ja luotettava. Akselien linjaukseen on olemassa myös induktiivisiin läheisyysantureihin perustuvia järjestelmiä.



KUVIO 2. Epäkeskisestä massasta aiheutuva voima (mukaillen Lähteenlahti 2015)



KUVIO 3. Akselien linjausvirheet (mukaiillen Lähteenlahti 2015)

4.4 Värähtelymittaus

Värähtelyn avulla voidaan tunnistaa mekaanisia ja sähköisiä vikoja. Värähtelymittauksia pidetäänkin yhtenä tehokkaimmista menetelmistä arvioitaessa koneen kuntoa. Värähtelyt luokitellaan ISO-standardin mukaan. Alle 50 MW:n höyryturbiinien värähtelyjä arvioidaan standardin ISO 10816-3 (laakerivärähtelyt) ja standardin ISO 7919-3 (akselivärähtelyt) mukaan. Standardit on julkaistu 1.2.2009. Standardit jakavat värähtelyt neljään luokkaan taulukon 1 mukaan. (SFS-ISO 10816-3; SFS-ISO 7919-3).

TAULUKKO 1. Koneiden luokitus standardin mukaan (SFS-ISO 10816-3; SFS-ISO 7919-3)

Luokka A	Uusien koneiden värähtelytasojen tulisi yleensä sijoittua tähän luokkaan.
Luokka B	Koneet, joiden värähtelytasot sijoittuvat tähän luokkaan, soveltuvat yleensä pitkäaikaiseen normaaliin käyttöön.
Luokka C	Koneet, joiden värähtelytasot sijoittuvat tähän luokkaan, eivät yleensä sovellu pitkäaikaiseen käyttöön. Yleensä kone voi käydä rajoitetun ajan, kunnes värähtelyn kasvun syyt on selvitetty ja mahdolliset korjaustoimenpiteet tehty.
Luokka D	Tällä alueella olevat värähtelytasot voivat aiheuttaa vaurioita koneelle. Yleensä kone on pysäytettävä välittömästi tai on ryhdyttävä välittömiin toimenpiteisiin värähtelyjen pienentämiseksi.

Standardien mukaan värähtelyn vakavuutta arvioitaessa huomioidaan:

1. Laajakaistaisen (laakerivärähtelyillä yleensä tärinärasitus RMS 10-1000 Hz ja akselivärähtelyillä todellinen huipusta huippuun arvo) värähtelyn kokonaistason suuruusluokka (luokat A-D).
2. Laajakaistaisen värähtelyn kokonaistason muutos

TAULUKKO 2. Arvostelurajat vakioprosessitilanteessa (SFS-ISO 10816-3; SFS-ISO 7919-3)

Laakerivärähtelyjen luokittelu v_{rms} [mm/s], kun pyöriminopeus 120 - 15000 rpm

Luokka	v_{rms} [mm/s]
A	< 3,5
B	3,5 - 7,1
C	7,1 - 11,0
D	> 11,0

Akselivärähtelyjen luokittelu S_{P-P} [μm]

Luokka	12060 rpm	1500 rpm
A	< 44	< 124
B	44 - 82	124 - 232
C	82 - 120	232 - 341
D	> 120	> 341

Standardien suositukset ovat usein lähtökohtana turbolaitteiston värähtelytasojen haitallisuuden arvioimisessa. Turbolaitteistot ovat kuitenkin yksilöllisiä ja niiden normaali värähtelykäyttäytyminen pitää tuntea. Standardin mukaisia värähtelytasojen luokituksia voidaan käyttää yhtenä kriteerinä arvioitaessa turbolaitteiston kuntoa, mutta vikadiagnostiikan kannalta värähtelymuutosten seurannalla on tärkeämpi merkitys. (Kauppinen 2018.)

Turbiinirevisiossa turbolaitteiston värähtelymittaukset suoritetaan alasajossa sekä revision jälkeen ylösajossa. Saatuja mittaustuloksia verrataan aikaisempiin värähtelymittaustuloksiin ja niistä laaditaan raportti. Turbolaitteiston värähtelymittaus suoritetaan asentamalla magneettikiinnitteiset kiihtyvyyssanturit jokaisen laakeripukin kohdalle. Tyypillisesti mitataan horisontaalinen, vertikaalinen, ja aksiaalinen värähtely (X, Y ja Z), joten jokaisen laakeripukin kohdalle asennetaan kolme kiihtyvyyssanturia toisiaan vastaan kohtisuoraan suuntaan. Mittauspisteet valitaan mahdollisimman läheltä värähtelylähdettä, niin että värähtelylähteen ja anturin väliin jää mahdollisimman vähän vaimentavia rajapintoja. Värähtelymittaukset tehdään tuotantoajan, kierrostennoston sekä alasrullauksen aikana. Kierrostennoston aikana tehdyillä mittauksilla voidaan havaita turbolaitteiston kriittiset pyörimisnopeudet sekä rakenteelliset värähtelyt. Kriittisillä pyörimisnopeuksilla värähtelyt ovat suurimmillaan. Värähtelymittauksesta saatava mitausdata analysoidaan ja sen avulla voidaan havaita esimerkiksi laakerivaurio tai generaattorin sähköinen vika. Kuvassa 20 on magneettikiinnitteiset kiihtyvyyssanturit asennettu mittaamaan turbiinin ykköslaakerin värähtelyä.



KUVA 20. Magneettikiinnitteiset kiihtyvyyssanturit asennettuna

4.5 Osien puhdistaminen

Turbiinin likaantuminen aiheuttaa häviöitä ja laskee hyötysuhdetta. Likaantuminen johtuu voimalaitoksen vesikemian puutteista, jotka aiheuttavat kerrostumia ja korroosiota turbiinin pinnoille. Varsinkin turbiinin siipiin kerrostuvat epäpuhtaudet (NaCl , Na_2SO_4 , NaOH , Na_3PO_4 ja SiO_2) laskevat hyötysuhdetta. Kauppisen mukaan 500 grammaa epäpuhtauksia tasaisesti turbiinin siivissä laskee hyötysuhdetta noin prosenttia. Hän ei kuitenkaan ota kantaa siihen, aiheuttavatko epäpuhtaudet yhtä suuren hyötysuhteen laskun turbiinin koosta riippumatta. Kerrostumat nostavat myös höyryn painetta, mistä voi aiheutua siipivyöhykkeiden välisiä ylikuormia. (Kauppinen 2018, 124.)

Turbiinirevisiossa epäpuhtauksien ja kerrostumien poistamiseen nopein ja tehokkain tapa on lasikuulapuhallus. Lasikuulapuhalluksessa hienorakeisia lasikuulia puhalletaan paineilman avulla puhdistettavalle pinnalle. Puhallus poistaa hyvin epäpuhtaudet pinnoilta ja jättää mattamaisen siistin pinnan poistamatta itse materiaalia kappaleen pinnasta. Revisiossa suuri osa turbiinin osista lasikuulapuhalletaan. Jakotasot ja muut pitopinnat puhdistetaan hiomakivellä tai hienolla vesihiomapaperilla tasaisen pinnan aikaansaamiseksi. Öljyiset, rasvaiset tai muuten likaiset osat puhdistetaan liuotintyyppisellä rasvanpoistajalla.

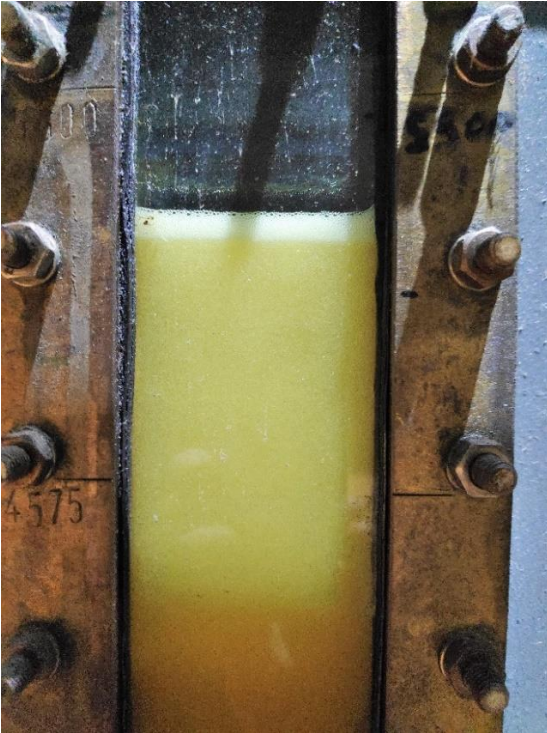
5 VIESKAN VOIMAN TURBIINIREVISIO

Vieskan Voiman turbiinirevision syynä oli 50000 käyttötunnin huolto. Edellinen revisio oli tehty vuonna 2009. Turbiinissa ei ollut havaittu ajon aikaisia oireita vaurioista tai muista poikkeamista edellisellä käyttöjaksolla. Turbiinirevisio oli tilaajavetoinen projekti, jossa valvonta- ja huoltotyöt palveluineen hankittiin suoraan. Revision tilaajana oli Oy Perhonjoki Ab, Vieskan Voima. Revision valvojana toimi Mihaly Makkai Makkai Oy:stä. Turbiinihuollon teki Alhon Huolto Oy, joka nimitti turbiinimestariksi Tom-Johan Alhon. Revisioon osallistui myös Herrforsin omaa henkilökuntaa.

Seuraavissa luvuissa käydään läpi Vieskan Voiman turbiinirevisio. Revision kuvaus perustuu pitkälti omaan revision aikaiseen kokemukseen ja siitä tehtyihin muistiinpanoihin sekä turbiiniasentajien ja revision valvojan kanssa käytyihin keskusteluihin. Kuvaus etenee pääsääntöisesti aikajärjestyksessä joi-tain poikkeuksia lukuun ottamatta. Kokonaisuuden hahmottamisen helpottamiseksi revision kuvaus ete-nee pääpiirteittäin seuraavasti: alasajon värähtelymittaus – ennakkotyöt – turbolaitteiston purku – kun-nostus – kokoonpano – ylösajo värähtelymittauksineen.

5.1 Aloituspalaveri

Ennen turbiinirevision aloitusta pidettiin aloituspalaveri. Palaveriin osallistui Herrforsin puolesta revisi-oon nimetyt henkilöt, revision valvoja Mihaly Makkai sekä Alhon Huollon puolesta Kari Alho. Palave-ri-ssa käytiin läpi yleisiä käytännön asioita turbiinirevisioon liittyen. Käsiteltäviä asioita olivat mm. työ-maakäytännöt, aikataulu, valvojan ja turbiinihuoltajan asiat ja revisiossa käytettävät alihankkijat. Pala-verissa sovittiin, että pidetään työmaakokous viikoittain, jossa paikalla on ainakin tilaajan ja turbiini-huoltajan edustajat. Tulevissa työmaakokouksissa käytäisiin läpi ainakin edellisen sekä tulevan viikon asiat, koska revisiosta oli laadittu työvaihekohtainen aikataulu, jota seurattaisiin työn edetessä. Aloitus-palaverissa tuli myös ilmi, että revision valvoja oli kiinnittänyt huomiota turbiiniöljysäiliön mittalasista havaittavaan öljyn vaahtoamiseen ja maitomaiseen koostumukseen (KUVA 21). Valvoja suositteli, että öljyn ilmanerotuskyky tulisi varmistaa. Turbiiniöljy oli vaihdettu edellisenä kesän uuteen ja saman ha-vainnon perusteella oli jo tehty öljyanalyysi, jossa ei ilmennyt mitään poikkeamaa. Tämän perusteella revision valvoja ehdotti, että revision jälkeisen käynnistyksen yhteydessä varmistettaisiin öljysumuimu-rin alipaineeksi 20 - 40 millibaaria.

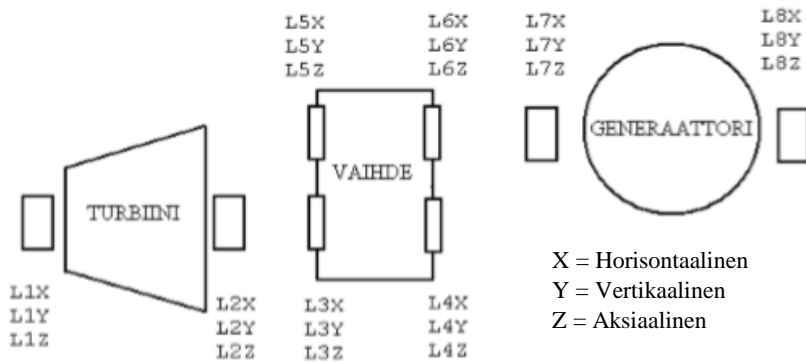
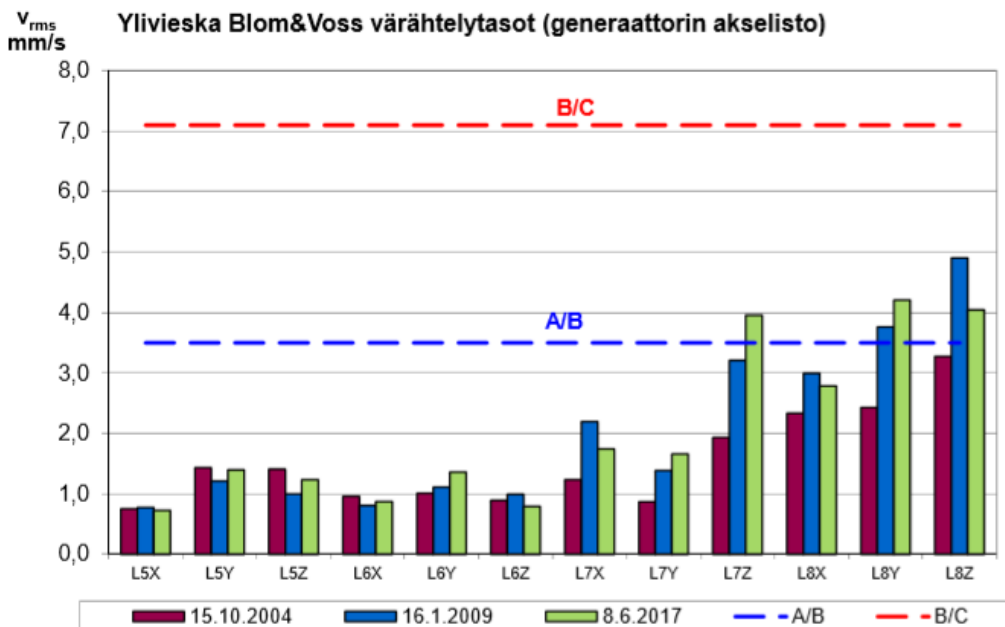
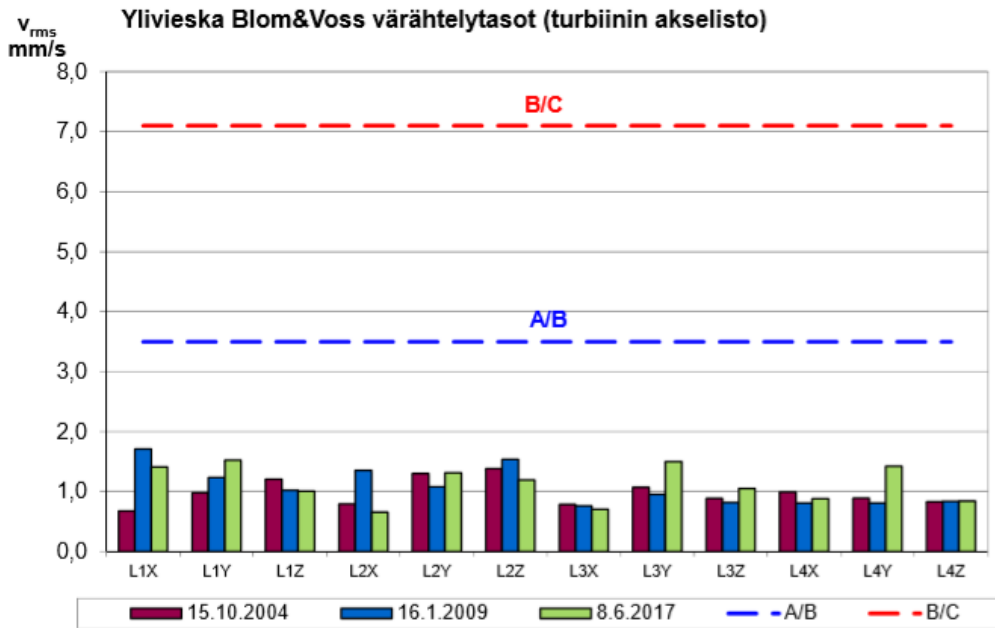


KUVA 21. Turbiiniöljysäiliön mittalasi

5.2 Värähtelymittaus alasajossa

Ylivieskan voimalaitoksen turbolaitteiston alasajon värähtelymittaukset suoritettiin 8.6.2017, kun voimalaitosta oltiin ajamassa alas. Värähtelymittaukset suoritti Pasi Vimpari Fortum Power and Heat Oy:stä. Alasajomittausten raportissa kerrotaan vain huomiot sekä muutokset värähtelyissä. Vastaavat mittaukset suoritetaan ylösajossa revision jälkeen ja mittaustuloksia verrataan alasajomittauksiin sekä aikaisemmin tehtyihin värähtelymittauksiin. Mittauksista laaditaan aikanaan kattavampi raportti.

Alasajomittausten mukaan generaattorin värähtelyissä oli havaittavissa pientä kasvua verrattaessa edelliseen vuonna 2009 suoritettuun mittaukseen. Muutos värähtelyissä johtunee hieman muuttuneesta linjauksesta. Alasrullauksen ja kierrostennoston aikana tehdyissä värähtelymittauksissa ei ollut havaittavissa muutoksia edelliseen mittaukseen. Kuviossa 4 nähdään värähtelymittausten kokonaistasot. Värähtelymittausten suorittaja suositteli huolellista linjausta revision yhteydessä sekä sähköisiä mittauksia generaattorille, koska värähtelyissä oli tapahtunut pientä kasvua. Revision valvoja tutustui myös alasajon värähtelymittaustuloksiin ja totesi sen perusteella, ettei turbiinista todennäköisesti löydy merkittävää huoltotarvetta. (Vimpari 2017.)

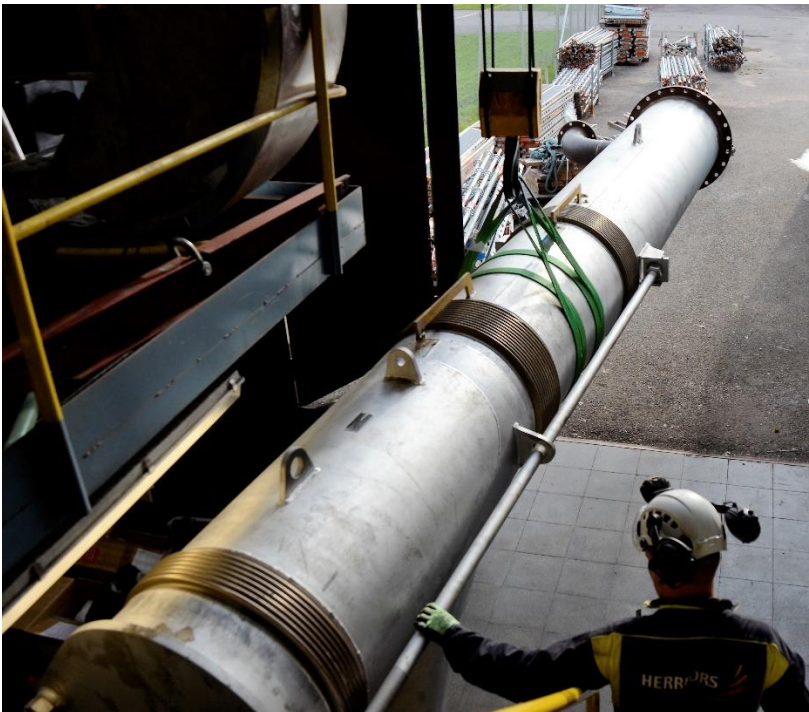


KUVIO 4. Alasajon värähtelymittausten kokonaistasot (Vimpari 2017)

5.3 Turbiinirevision ennakkotyöt

Ennen varsinaisen turbolaitteiston purkamista tehtiin valmistelevia ennakkotöitä. Turbiinisaliin tehtiin hyllyt purettavien osien ja laitteiden varastoinnille. Varastossa olevat turbiinin varaosat inventoitiin ja sijoitettiin hyllyihin helposti saataville. Turbiinisaliin tuotiin myös kunnollinen työpöytä osien kunnostusta varten. Jäteöljylle ja muille nesteille järjestettiin keräyspiste turbiinisaliin. Varmistettiin, että turbiinisalin siltanosturin määräaikaistarkastus oli suoritettu. Hakkeen vastaanottoasema katsottiin hyväksi paikaksi suorittaa lasikuulapuhallukset, joten se tyhjennettiin hakkeesta. Turvallisuussyistä generaattori maadoitettiin suurjännitekeskukselta. Turbiinirevision työmaa-alue rajattiin sisältä ja ulkoa aidoilla, joihin kiinnitettiin varoituskyltit työmaa-alueesta.

Revision ennakkotyönä purettiin eristeet turbiinin, tuorehöyryputken ja poistohöyryputken ympäriltä. Tässä yhteydessä poistettiin samalla osa instrumentointilaitteista, jotta välttyttäisiin niiden rikkoutumiselta. Turbiinin ja vaihdelaatikon yläpuolella olevat sprinkleriputkistot purettiin pois, koska ne olisivat nostojen edessä. Turbiinisaliin tulevan sprinkleriputken sulkuventtiili suljettiin ja lukittiin revision ajaksi. Poistohöyryputki nostettiin pois paikaltaan ja vietiin varastoon (KUVA 22).

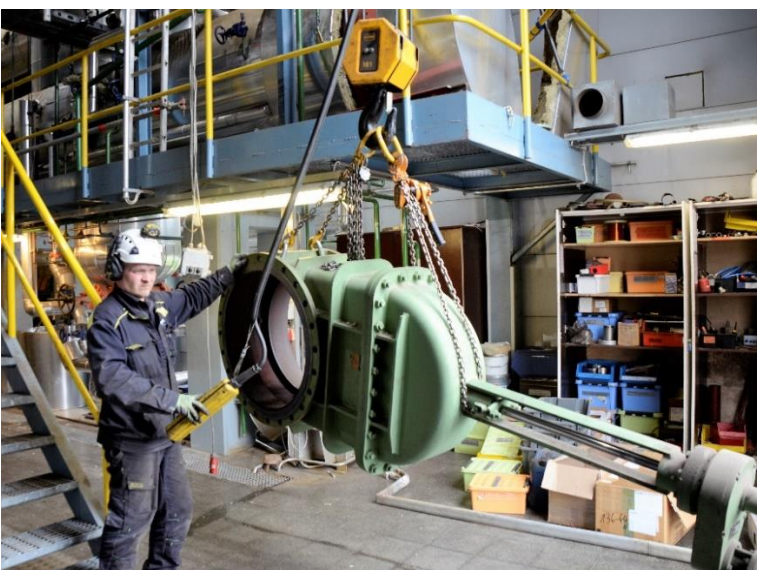


KUVA 22. Poistohöyryputken nostotyö

Noston yhteydessä huomattiin poistohöyryputken ja turbiinin poistokammion välisessä tiivisteessä katkeama (KUVA 23). Epäselväksi jäi, oliko tiiviste katkennut jo aiemmin vai katkesiko se noston yhteydessä. Purkamisen yhteydessä huomattiin myös poistohöyryventtiilissä kiinnileikkautumisen jälkiä. Venttiilin huolto ei varsinaisesti kuulunut turbiinirevisiossa huollettaviin komponentteihin, mutta vaurion vuoksi se lähetettiin Alhon pajalle huoltoon (KUVA 24). Koska poistohöyryventtiili jouduttiin poistamaan, asennettiin sen tilalle ”sokea” laippa, jotta kaukolämmönvaihdinta voitaisiin myöhemmin käyttää.

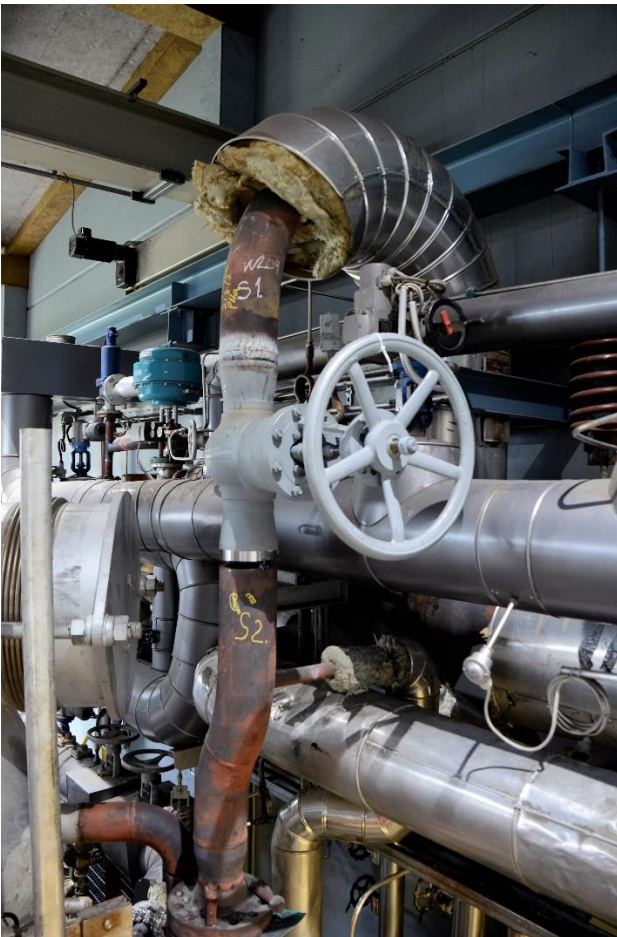


KUVA 23. Katkeama poistohöyryputken tiivisteessä



KUVA 24. Poistohöyryventtiili lähetettiin huoltoon

Turbiinirevision tiedettiin jatkuvan pitkälle syksyyn, jolloin myös voimalaitoskattila olisi otettava käyttöön riittävän kaukolämpötehon sekä prosessihöyryn tuottamiseksi. Koska turbiini ei silloin olisi käytössä, tarkoittaisi se tuorehöyryn ajamista kaukolämmönvaihtimelle reduktioventtiilin kautta. Reduktioventtiilin jälkeen turbiinille menevässä päähöyryputkessa on vain yksi sulkuventtiili. Työskenteleminen turbiinisalissa vain yhden sulkuventtiilin varassa olisi vaarallista. Tämän vuoksi päähöyryputki katkaistiin ja siihen hitsattiin toinen sulkuventtiili (KUVA 25). Päähöyryputkessa sulkuventtiilien välissä oleva vesityspotki avattiin, jotta voitiin indikoida ensimmäisen sulkuventtiilin mahdollinen vuoto. Kuvassa 25 näkyvä sulkuventtiilin alapuolinen päähöyryputki poistettiin, jotta turbiinin yläpesän nosto olisi mahdollista.



KUVA 25. Päähöyryputkeen hitsattiin toinen sulkuventtiili

6 TURBIININ PURKAMINEN

Höyryturbiinin purkamisen yhteydessä tehdään suuri joukko erilaisia mittauksia, jotka kirjataan mittapöytäkirjaan. Purkuvaiheessa osat tarkastetaan lähinnä silmämääräisesti. Muut NDT-tarkastukset osille suoritetaan kunnostusvaiheessa. Puretut osat merkitään, mikäli on olemassa sekaannuksen mahdollisuus. Osat laitetaan niille varatuille paikoille odottamaan jatkotoimenpiteitä. Pienemmät osat sijoitetaan turbiinisaliin ja suuremmat viedään varastoon. Seuraavissa alaluvuissa on kerrottu tarkemmin turbiinin purkuvaiheista.

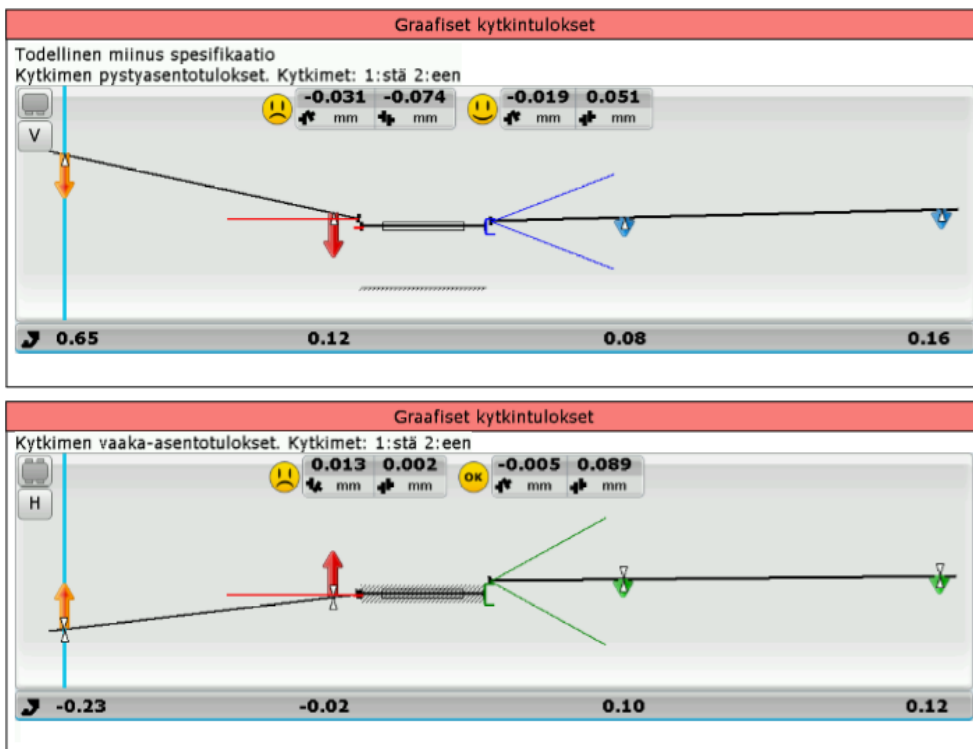
6.1 Akselien linjaus

Turbiiniakselin ja vaihdelaatikon ensiöakselin sekä vaihdelaatikon toisioakselin ja generaattorin roottoriakselin linjaukset tarkastetaan ennen turbolaitteiston purkamista. Linjausmittaus suoritetaan uudestaan kokoonpanon jälkeen. Linjaustuloksia verrataan toisiinsa, ja mikäli havaitaan poikkeamia, täytyy niiden syyt selvittää. Kaikilla koneilla on omat linjaustoleranssit, jotka valmistaja on määrittänyt. Linjauksessa täytyy myös ottaa huomioon lämpöliikearvot, mikäli sellaisia on saatavilla. Koneiden linjaus täytyy suorittaa myös siinä tapauksessa, että ne eivät ole linjaustoleranssien sisällä. Koneiden väliset akselit kiinnittyvät toisiinsa kytkimellä, joten yleensä puhutaankin kytkimen linjaamisesta. Kytkin sallii pienen poikkeaman linjauksessa sekä lämpöliikkeen. Kytkimen valmistaja ilmoittaa toleranssit näille poikkeamille.

Linjauksen oletettiin olevan kunnossa, koska edellisen käyttöjakson aikana ei ollut värähtelyongelmia. Akselien linjaus suoritettiin ROTALIGN-laserlinjauslaitteella (KUVA 26). Linjauslaite kertoo yhdellä mittauksella akselien epäkeskeisyys- ja kulmavirheen sekä laitekorjaukset ja toleranssit. Mittausten perusteella akselilinjaukset olivat toleranssien sisällä, joten linjausta ei muutettu. Kuviossa 5 on purkuvaiheen akselilinjauksen tulokset.



KUVA 26. Akselien linjauksen tarkastus laserlinjauslaitteella



(jatkuu)

Laitetulokset				
	Todellinen spesifikaatio: Todellinen:		Yksikkö:	
Kytkin 1 Tulokset Monipistemittaus :sta				
Pystyasento:				
Rako	-0.031	-0.031	[mm]	
Ero	-0.074	-0.074	[mm]	
Vaaka-asento:				
Rako	0.013	0.013	[mm]	
Ero	0.002	0.002	[mm]	
Kytkin 2 Tulokset Pyyhkäisymittaus :sta				
Pystyasento:				
Rako	-0.019	-0.019	[mm]	
Ero	0.051	0.051	[mm]	
Vaaka-asento:				
Rako	-0.005	-0.005	[mm]	
Ero	0.089	0.089	[mm]	
Laitekorjaukset				
Kone A : TURBIINI		Pystyasento:	Vaaka-asento:	Yksikkö:
Jalka 1		-0.65	0.23	[mm]
Jalka 2		-0.12	0.02	[mm]
Kone B : Vaihdelaatikko 1(staattinen)				
Kone C : Generaattori 1		Pystyasento:	Vaaka-asento:	Yksikkö:
Jalka 1		-0.08	-0.10	[mm]
Jalka 2		-0.16	-0.12	[mm]
Toleranssit				
Kytkin 1				
Lyhyt flex, toleranssityyppi:Taulu		Arvo:	Yksikkö:	
Erinomainen:				
Rako		0.000	[mm]	
Ero		0.000	[mm]	
Hyväksyttävä:				
Rako		0.010	[mm]	
Ero		0.000	[mm]	
Kytkin 2				
Lyhyt flex, toleranssityyppi:Taulu		Arvo:	Yksikkö:	
Erinomainen:				
Rako		0.250	[mm]	
Ero		0.060	[mm]	
Hyväksyttävä:				
Rako		0.350	[mm]	
Ero		0.090	[mm]	
Mittaushistoria				
Nykyinen mittaus				
Kytkin 1,Rako/ero		Pystyasento:	Vaaka-asento:	Yksikkö:
Monipiste				
Rako		-0.031	0.013	[mm]
Ero		-0.074	0.002	[mm]
Kytkin 2,Rako/ero		Pystyasento:	Vaaka-asento:	Yksikkö:
Pyyhkäisy				
Rako		-0.019	-0.005	[mm]
Ero		0.051	0.089	[mm]

KUVIO 5. Purkuvaiheen akselilinjausmittauksen raportti (Alhon Huolto Oy 2017)

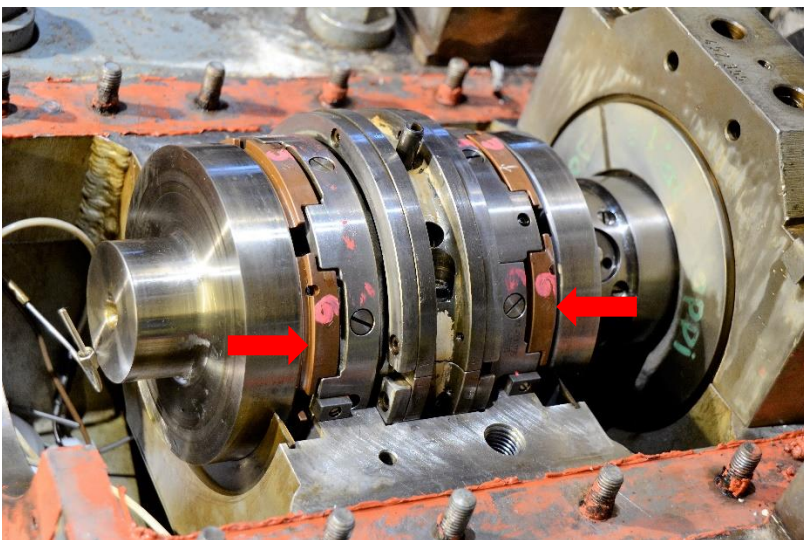
6.2 Laakerit

Laakereiden purkamisen yhteydessä tarkastetaan laakerivälkykset. Painelaakeri määrittää roottorin akselinsuuntaisen aseman ja siitä mitataan päittäisvällys ennen sen purkamista. Painelaakeri on rakenteeltaan kaksipuolinen vaappulaakeri eli segmenttipainelaakeri. Päittäisvällys mitataan roottoriakselin päästä mitakellolla liikuttamalla roottoriakselia akselinsuuntaisesti molempiin ääriasetoihin (KUVA 27). Päittäis- eli aksiaalivälkykseksi mitattiin 0,50 mm. Kuvassa 28 nuolilla merkityt osat ovat laakerisegmenttejä.

Segmentit numeroidaan ennen purkamista, koska ne on hyvä asentaa takaisin omille paikoilleen. Painelaakerin purkamisen yhteydessä laakerisegmenttien paksuudet mitataan mikrometrillä. Mittaustulokset löytyvät taulukosta 3.



KUVA 27. Turbiiniakselin päittäisvälismittaus



KUVA 28. Laakeripesä avattuna, turbiinin painelaakeri näkyvissä

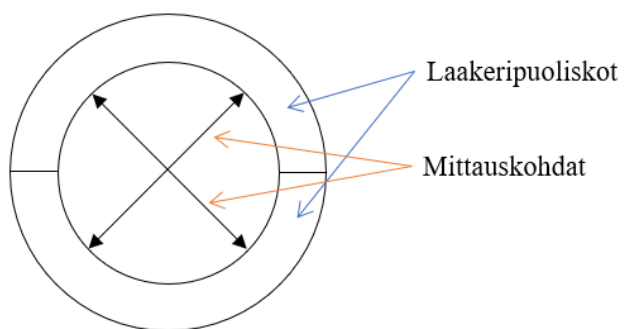
TAULUKKO 3. Laakerisegmenttien paksuudet

Painelaakerin laakerisegmenttien paksuudet			
1E	20,035 mm	1T	20,035 mm
2E	20,030 mm	2T	20,050 mm
3E	20,045 mm	3T	20,040 mm
4E	20,030 mm	4T	20,030 mm
5E	20,040 mm	5T	20,040 mm
6E	20,040 mm	6T	20,040 mm

Radiaalilaakerit sijaitsevat roottoriakselin molemmissa päissä. Turbiinin etupään laakeri nimetään I-laakeriksi ja peräpään II-laakeriksi. Purkuvaiheessa radiaalilaakereista mitataan säteissuuntaiset välykset. Ennen laakerin purkamista mitataan pystyvälitys mittakellolla. Mittakello asennetaan magneettijalan avulla roottoriakselille säteen suuntaisesti ja roottoriakselia kohotetaan vääntöraudan avulla. Näin pystyvälitys voidaan lukea mittakellosta. Kuvassa 29 on ympyröity mittakellon paikka. Radiaalilaakerin sivuvälitys mitataan rakotulkilla eli välysmitalla laakerin ja roottoriakselin laakerikaulan välistä. Jotta mittaus olisi mahdollista, täytyy laakerikansi ja ylempi laakeripuolisko poistaa. Laakerisilmämittaus suoritetaan myöhemmin laakeripuoliskojen ollessa irrallaan. Puoliskot puristetaan yhteen ja halkaisija mitataan kahdesta kohtaa 90°:n kulmassa toisiinsa nähden, mutta ei kuitenkaan laakereiden sauman kohdalta (KUVIO 6). Purkuvaiheessa turbiinin laakerit tarkastettiin silmämääräisesti eikä niissä havaittu vaurioita. Mittauksien jälkeen laakerit kootaan takaisin omille paikoilleen, ettei roottori pääsisi liikahtamaan. Laakerit irrotetaan lopullisesti vasta roottorin noston yhteydessä. Tässä vaiheessa mitataan myös öljykamptiivisteiden välykset. Välysmitaksi saatiin 0,08 mm – 0,13 mm. Radiaalilaakereiden mittaustulokset löytyvät taulukosta 4. Laakereiden välysmitat olivat toleranssien sisällä.



KUVA 29. Roottoriakselin pystyvälyksen mittaus



KUVIO 6. Laakerisilmämittaus

TAULUKKO 4. Radiaalilaakerien mittaustulokset

Radiaalilaakerien mittaus	
I-laakeri	
Pystyvälys	0,19 mm
Sivuvälys	0,08 mm
Laakerisilmä	100,19 mm / 100,14 mm
Roottoriakselin kaulamitta	99,98 mm

(jatkuu)

TAULUKKO 4. (jatkuu)

II-laakeri	
Pystyvällys	0,15 mm
Sivuvällys	0,08 mm
Laakerisilmä	100,17 mm / 100,15 mm
Roottoriakselin kaulamitta	99,98 mm

6.3 Pikasulkuventtiili

Pikasulkuventtiilistä irrotettiin ohjausservon öljyputket ja rajakytkimen johdot. Rintalaipan kiinnitysmuttereiden avaamisen jälkeen todettiin pikasulkuventtiilin olevan tiukasti kiinni yläpesässä. Venttiili irrotettiin lyömällä kiiloja rintalaipan ja yläpesän väliin. Öljyputkien liitoksissa havaittiin pientä vuotoa, mikä johtunee putkien väärästä linjauksesta. Silmämääräisesti pikasulkuventtiilissä havaittiin kerrostumia höyrytilassa olevissa osissa sekä kuluneisuutta venttiilin karassa (KUVA 30).



KUVA 30. Pikasulkuventtiilin keilassa kerrostumaa

6.4 Säätoventtiili

Säätoventtiilin öljyputket, sähköjohdot ja palautusjouset irrotettiin. Ohjausservo nostettiin pois paikaltaan myöhempää tarkastusta varten. Säätoventtiilin kiinnitysmuttereiden todettiin olevan tiukassa, joten

niihin laitettiin ruosteenirrottajaa. Mutterit avattiin hydraulivääntimellä (KUVA 31). Säästöventtiili nostettiin siltanosturilla pois paikaltaan ja vietiin varastoon odottamaan kunnostusta. Silmämääräisesti säästöventtiili näytti olevan muuten kunnossa, mutta venttiilin karoissa oli kiinnileikkautumisen jälkiä.



KUVA 31. Säästöventtiilin mutterit avattiin hydraulivääntimellä

6.5 Ulkopesät

Turbiinin ulkokuori koostuu ylä- ja alapesästä. Pesien väliin jäävää saumaa kutsutaan jakotasoksi. Ulkopesien lämpölaajeneminen tapahtuu turbiinin etupään suuntaan. Yläpesä makaa liukuvasti etupään rungon päällä ja sallii lämpöliikkeen. Rakenteesta johtuen alapesä on tuettu vain takapästä. Ennen kuin jakotason kiinnitysmuttereita voidaan löysätä, täytyy alapesä tukea etupään runkoon kiiloilla (KUVA 32).



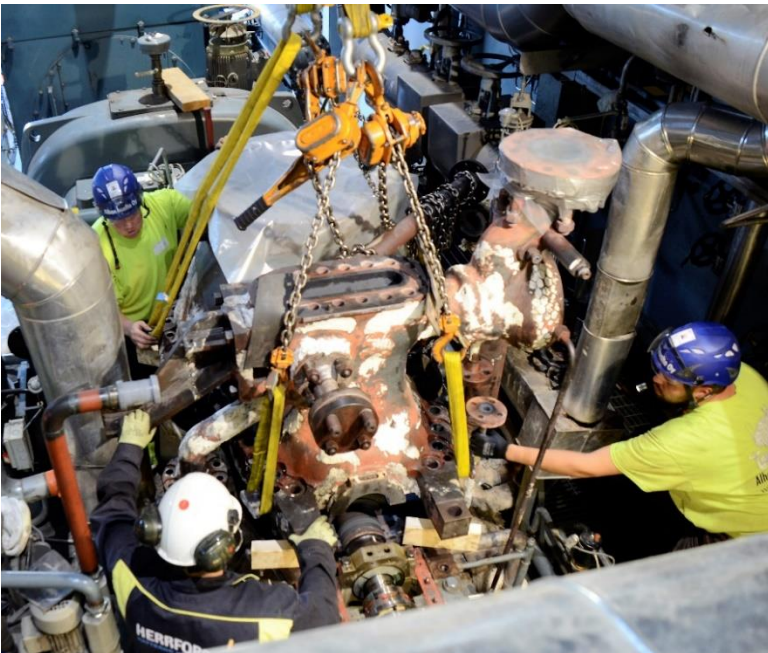
KUVA 32. Alapesä tuetaan kiilojen avulla runkoon huollon ajaksi

Jakotason kiinnitysmuttereiden irrotuksen jälkeen mitattiin jakotason raot välysmitalla. Mitat olivat pääsääntöisesti välillä 0 – 0,09 mm. Ainoastaan poistokammion peräpäähän kohdalla rako oli hieman suurempi, 0,13 mm. Mittausten perusteella jakotaso oli kohtuullisen suora. Silmämääräisen tarkastuksen perusteella ei havaittu vuotokohtia jakotasossa.

Yläpesälle tehtiin puuparruista huoltopukki, jonka päälle pesä voitaisiin laskea ja myöhemmin huoltaa. Mittauksen jälkeen poistettiin jakotason vaarnaruuvit ja joka kulmaan laitettiin ohjaustangot. Ohjaustankojen tarkoitus on pitää yläpesä suorassa noston aikana. Yläpesää nostettiin aluksi tasaisesti neljän nostopultin avulla (KUVA 33). Pesä täytyi nostaa aluksi kohtisuoraan ylöspäin turbiinin sisällä olevien pienten välysten vuoksi. Kun yläpesää oli nostettu viitisen senttiä, laitettiin puiset lankut pesien väliin. Tästä eteenpäin nostoa jatkettiin siltanosturilla yläpesän nostokorvakkeista (KUVA 34). Pesä laskettiin huoltopukin päälle ja jätettiin turbiinisaliin odottamaan puhdistusta. Alapesää ei poisteta, koska se huolletaan omalla paikallaan. Silmämääräisen tarkastuksen perusteella havaittiin yläpesän höyrykammiossa särö (KUVA 35). Tässä vaiheessa sovittiin, että särö tutkitaan hiomalla.



KUVA 33. Yläpesää kohotetaan aluksi nostopulteilla



KUVA 34. Yläpesän nosto siltanosturilla



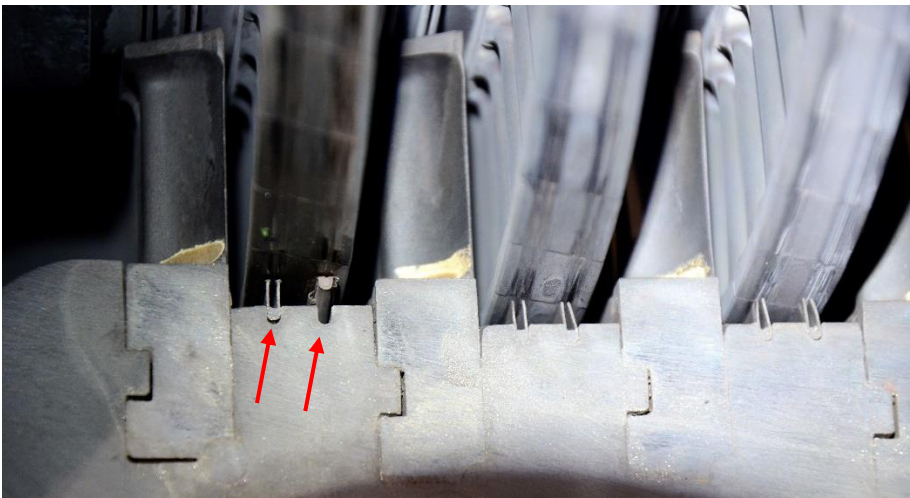
KUVA 35. Yläpesän höyrykammion särö

6.6 Johtosiipikannattimet

Yläpesän poiston jälkeen saatiin näkyville turbiinin johtosiipikannattimet. Johtosiipikannattimien jakotason pultit avattiin, minkä jälkeen voitiin ylemmät johtosiipikannattimet nostaa pois paikoiltaan. Nosto täytyy tehdä rauhallisesti kohtisuoraa ylöspäin, ettei siipiin tai tiivistepelteihin tulisi vaurioita (KUVA 36). Silmämääräisesti havaittiin, että siivistössä oli kerrostumia. Etummaisesta johtosiipikannattimesta oli tiivistepeltejä irronnut ja ne olivat hanganneet turbiinin juoksusiipipantaan. Osa tiivistepelleistä oli myös levinnyt hankauksen johdosta (KUVA 37). Sovittiin, että Alhon huolto selvittää johtosiipikannattimien labyrinttitiivisteiden vaihdon ja koneistuksen hinnan ja aikataulun. Tässä vaiheessa alemmat johtosiipikannattimet jätetään vielä paikalleen, koska ne voidaan poistaa vasta roottorin noston jälkeen.



KUVA 36. Ylemmän johtosiipikannattimen nosto



KUVA 37. Etummaisena johtosiipikannattimen tiivistepeltejä irronnut

6.7 Labyrinttitiivisteet

Purkamisen yhteydessä tarkastetaan tiivistehöyrypesien sekä johto- ja juoksusiipien labyrinttitiivisteiden välykset. Samalla mitataan roottorin ja johtosiipien väliset aksiaalissuuntaiset välykset sekä tarkastetaan tiivistepeltien kunto. Välykset mitataan välysmitalla roottorin ollessa paikallaan (KUVA 38). Silmämääräisesti tarkasteltuna tiivistehöyrypesien labyrinttitiivisteet olivat kunnossa, mutta osa etummaisien johtosiipikannattimen tiivistepelleistä oli irronnut. Johto- ja juoksusiipien mittaustulokset ovat taulukossa 5. Taulukossa 6 esitetään tiivistehöyrypesien labyrinttitiivisteiden mittaustulokset.



KUVA 38. Labyrinttitiivisteiden välysmittaus

TAULUKKO 5. Johto- ja juoksusiipien purkuvaiheen väläysmitat

		Radiaali				Aksiaali				
		vasen	oikea	ylä	ala	+ suunta		- suunta		
						vasen	oikea	vasen	oikea	
Johtosiipi - Roottori	1	1,85	1,70			1,9	2,0	3	2,35	
	2					1,6	1,85			
	3	0,5	0,5			2,0	1,90	3,1	3,2	
	4	0,5	0,5			2,0	2,0	2,8	2,9	
	5	0,5	0,5			2,0	2,05	3,4	3,1	
	6	0,5	0,5			1,85	1,85	3,2	3,25	
	7	0,5	0,5			1,7	1,85	3,2	3,25	
	8	0,5	0,5			1,75	1,75	3,3	3,25	
	9	0,5	0,5			1,7	1,6	3,7	3,55	
	10	0,5	0,5			1,5	1,35			
	11	0,35	0,5			2,3	2,35	4	3,5	
	12	0,35	0,5			2,3	2,25	4,1	3,9	
	13	0,35	0,5			1,85	2,25	4,1	3,5	
	14	0,3	0,45			4,1	4,0	5,4	5,35	
	15	0,25	0,45			4,1	3,4			
Juoksusiipi - Pesä	1	0,45	0,7							KP-curtisspyörän aksiaaliväläykset: vasen mm oikea mm
	2	0,75	0,7							
	3	0,30	0,3							
	4	0,35	0,3							
	5	0,35	0,25							
	6	0,40	0,50							
	7	0,45	0,55							
	8	0,45	0,55							
	9	0,45	0,55							
	10	0,45	0,55							
	11	0,35	0,5							
	12	0,35	0,5							
	13	0,35	0,5							
	14	0,4	0,6							
	15	0,4	0,6							

TAULUKKO 6. Tiivistehöyrypesien labyrinttitiivisteiden mittaustulokset

Tiivistehöyrypesien labyrinttitiivisteiden väläykset			
Etupää		Takapää	
Vasen	Oikea	Vasen	Oikea
0,16 mm	0,16 mm	0,09 mm	0,13 mm
0,16 mm	0,13 mm	0,09 mm	0,13 mm
0,16 mm	0,12 mm	0,08 mm	0,13 mm
0,14 mm	0,12 mm	0,06 mm	0,08 mm
0,14 mm	0,30 mm	0,21 mm	0,30 mm

6.8 Roottori

Ennen roottorin nostoa irrotetaan radiaalilaakereiden laakerikannet ja ylemmät laakeripuoliskot. Paine-laakerin purkamisen jälkeen roottoria ei saa liikuttaa aksiaalisuunnassa, ettei siivistöön tulisi vaurioita. Nostoliinat kiinnitettiin roottoriakselille radiaalilaakerikaulojen ja tiivistehöyrypeltien väliin. Toisen nostoliinan väliin laitettiin ketjutalja, jotta roottorin nosto saataisiin säädettyä vaakasuoraan. Roottori nostettiin varovasti siltanosturilla. Koko noston ajan seurattiin, että roottori pääsee nousemaan vapaasti (KUVA 39). Roottori laskettiin huoltopukkiin ja vietiin varastoon odottamaan kunnostusta. Silmämääräisesti tarkasteltuna roottorissa oli runsaasti kerrostumaa.



KUVA 39. Roottorin nosto

6.9 Johtosiipilinjaus

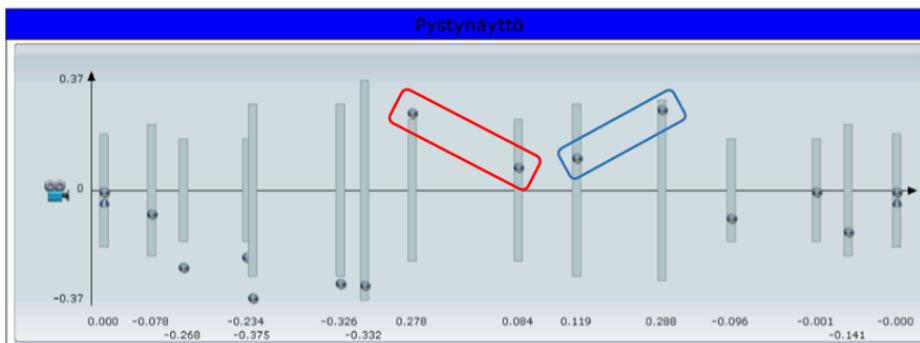
Roottorin noston jälkeen tarkastettiin johtosiipilinjaus. Johtosiipilinjaus kertoo johtosiipien aseman roottoriin nähden. Linjauksessa nähdään myös öljytiivisteiden, tiivistehöyrypesien ja tasausmännän pesän

asema roottoriin nähden. Linjaus suoritettiin laserlinjauslaitteella (KUVA 40). Kuviossa 7 on purkuvaiheen linjausmittausraportti. Raportista nähdään, että molemmat johtosiipikannattimet olivat pystysuunnassa keskilinjan yläpuolella. Lisäksi etummaisena johtosiipikannattimen etureuna oli 0,19 mm korkeammalla kuin takareuna. Takimmaisena johtosiipikannattimen etureuna oli taas 0,17 mm alempana kuin sen takareuna. Vaakasuunnassa johtosiipikannattimien poikkeama keskilinjasta oli alle 0,1 mm.



KUVA 40. Johtosiipilinjauksen tarkastaminen laserlinjauslaitteella

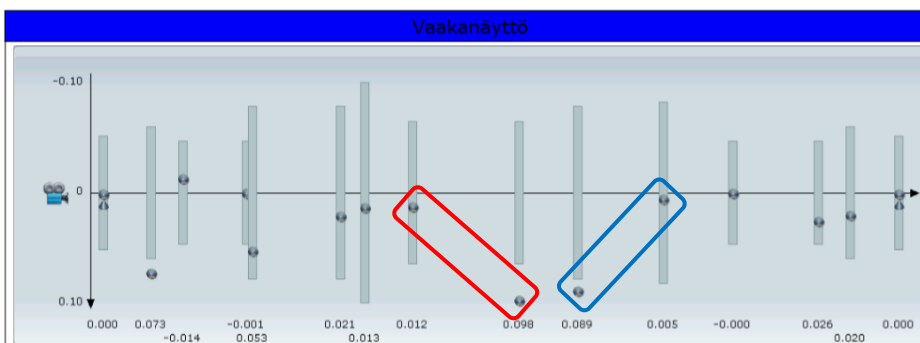
Laite esiasetus				
Nr	Nimi	Absoluuttietäisyys	Pystyesiasetus	Vaakaesiasetus
1	1 LAAKERI	0	0.000	0.000
2	ÖLJYTIIVISTE	90	0.000	0.000
3	TIIVISTEPOKSI ETU	150	0.000	0.000
4	1 TIIVISTEPOKSI TAKA	270	0.000	0.000
5	TASAUSMÄNTÄ ETU	280	0.000	0.000
6	TASAUSMÄNTÄ TAKA	445	0.000	0.000
7	1 JOHDESIIPPI	490	0.000	0.000
8	1. SISÄPESÄ ETU	580	0.000	0.000
9	1. SISÄPESÄ TAKA	780	0.000	0.000
10	2. SISÄPESÄ ETU	890	0.000	0.000
11	2. SISÄPESÄ TAKA	1050	0.000	0.000
12	2. TIIVISTEPOKSI ETU	1180	0.000	0.000
13	2. TIIVISTEPOKSI TAKA	1340	0.000	0.000
14	2. ÖLJYTIIVISTE	1400	0.000	0.000
15	2. LAAKERI	1490	0.000	0.000



Pystysuunta

Etummainen johtosiipikannatin

Takimmainen johtosiipikannatin



Vaakasuuunta

Huoltotulokset						
Nr	Nimi	Tila	Pysty-tulos [mm]	Vaaka-tulos [mm]	Laatu [%]	Ikoni
1	1 LAAKERI	Kiinnitetty	0.000	0.000	91	🔧
2	ÖLJYTIIVISTE	---	-0.078	0.073	74	🔧
3	TIIVISTEPOKSI ETU	---	-0.268	-0.014	90	🔧
4	1 TIIVISTEPOKSI TAKA	---	-0.234	-0.001	88	🔧
5	TASAUSMÄNTÄ ETU	---	-0.375	0.053	88	🔧
6	TASAUSMÄNTÄ TAKA	---	-0.326	0.021	74	🔧
7	1 JOHDESIIPPI	---	-0.332	0.013	49	🔧
8	1. SISÄPESÄ ETU	---	0.278	0.012	90	🔧
9	1. SISÄPESÄ TAKA	---	0.084	0.098	93	🔧
10	2. SISÄPESÄ ETU	---	0.119	0.089	90	🔧
11	2. SISÄPESÄ TAKA	---	0.288	0.005	49	🔧
12	2. TIIVISTEPOKSI ETU	---	-0.096	-0.000	49	🔧
13	2. TIIVISTEPOKSI TAKA	---	-0.001	0.026	49	🔧
14	2. ÖLJYTIIVISTE	---	-0.141	0.020	74	🔧
15	2. LAAKERI	Kiinnitetty	-0.000	0.000	91	🔧

KUVIO 7. Purkuvaiheen linjausmittausraportti (mukailien Alhon Huolto Oy 2017)

7 TURBIININ KUNNOSTUS

Kunnostusvaiheessa turbiinin osat puhdistetaan, mitataan ja niille suoritetaan NDT-tarkastuksia. Turbiinin osille on olemassa tarkastus- ja mittausohjeet. Löydösten perusteella arvioidaan osien kunto ja päätetään jatkotoimenpiteistä. Vialliset tai toleranssien ulkopuolella olevat osat joko kunnostetaan tai vaihdetaan uusiin. Osan uusimiseen pitää olla mitattavissa oleva syy. Syy voi olla esimerkiksi vika, vaurio tai eliniän loppuminen. Viat ja vauriot voivat johtaa ennenaikaisiin keskeytyksiin tai hyötysuhteen heikkenemiseen. Useimmat turbiinin osat voidaan myös korjata. Osien korjaamisen kannattavuuteen vaikuttavat korjauksen hinta, aika ja takuu. Kokenut turbiinirevision tekijä osaakin yleensä arvioida, kannattaako osa uusia vai korjata. (Kauppinen 2018, 126-127.)

Työmaakokouksessa päätettiin, että kaikki turbiinin pultit ja mutterit uusitaan sekä laakereiden lämpötila-anturit vaihdetaan uusiin. Myös turbiiniöljystä päätettiin ottaa uusi näyte analysoitavaksi, koska edellisestä näytteestä ei oltu selvitetty ilmanerotuskykyä. Seuraavissa alaluvuissa on kerrottu tarkemmin turbiinin osien kunnostus.

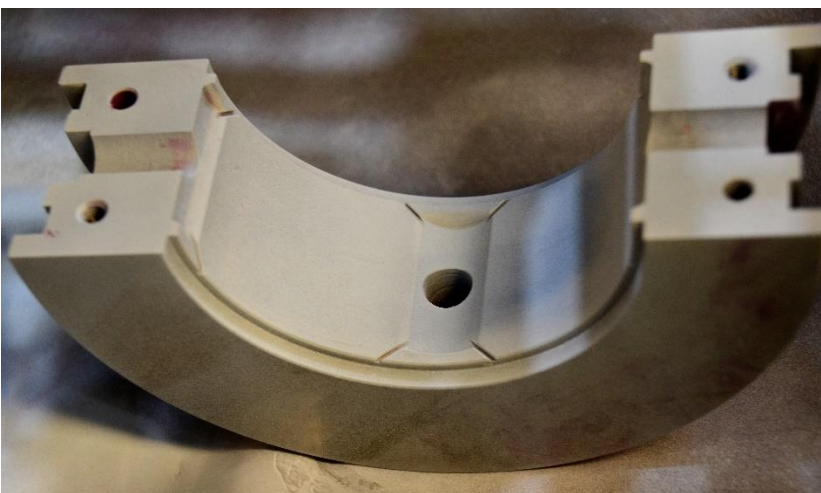
7.1 Laakerit

Turbiiniin oli olemassa uudet radiaalilaakerit käytössä olevien laakereiden lisäksi. Näille varastossa oleville laakereille päätettiin myös tehdä NDT-tarkastukset, koska pitkä varastointiaika saattaa aiheuttaa mm. laakerin valkometallin irtoamista. Purkuvaiheessa tehtyjen mittausten perusteella käytössä olevien laakereiden muoto ja mitat olivat toleranssien sisällä. Silmämääräisesti laakereissa ei havaittu vikaa. Etupään alemmassa radiaalilaakerissa oli havaittavissa normaali kuormitusvyöhyke hieman sivussa keskilinjasta (KUVA 41). Kuormitusvyöhykkeen poikkeaminen laakerin keskilinjasta on tyypillistä nopeasti pyörivien akseleiden laakereissa, koska akseli pyöriessään alkaa ”kiivetä” pyörimissuunnan vastaiselle sivulle.

Laakereiden tunkeumaneste- ja ultraäänitarkastuksissa ei havaittu säröjä tai valkometallipinnoitteen irtoamisia. Tehtyjen NDT-tarkastusten perusteella laakerit täyttävät vaatimustason. Kuvassa 42 on radiaalilaakerin tunkeumanestetarkastus, jossa ei havaittu säröjä. Laakereiden tarkastuspöytäkirjat löytyvät liitteistä 4, 5 ja 6.



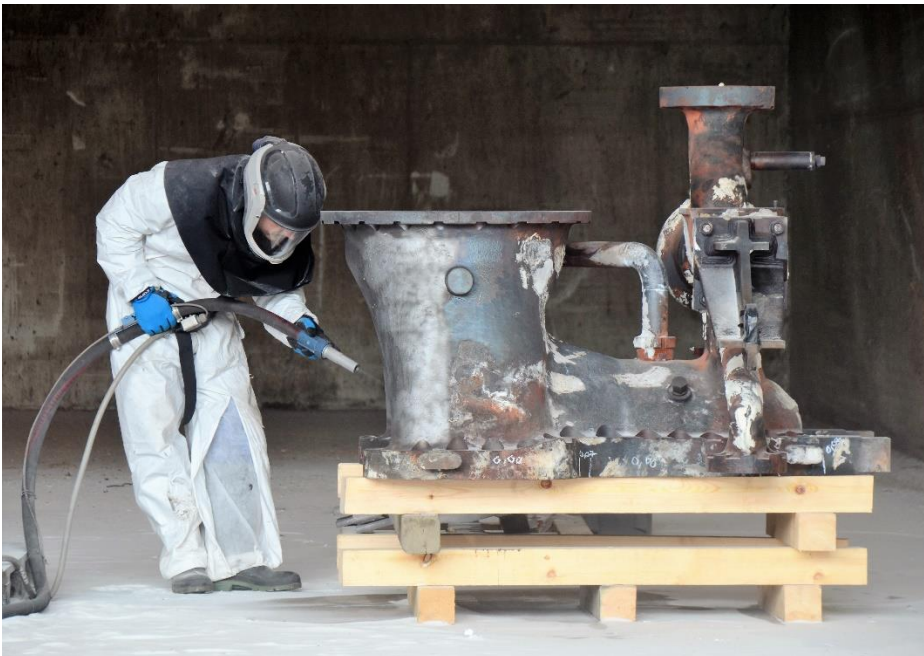
KUVA 41. Kuormitusvyöhyke havaittavissa laakerin valkometallissa



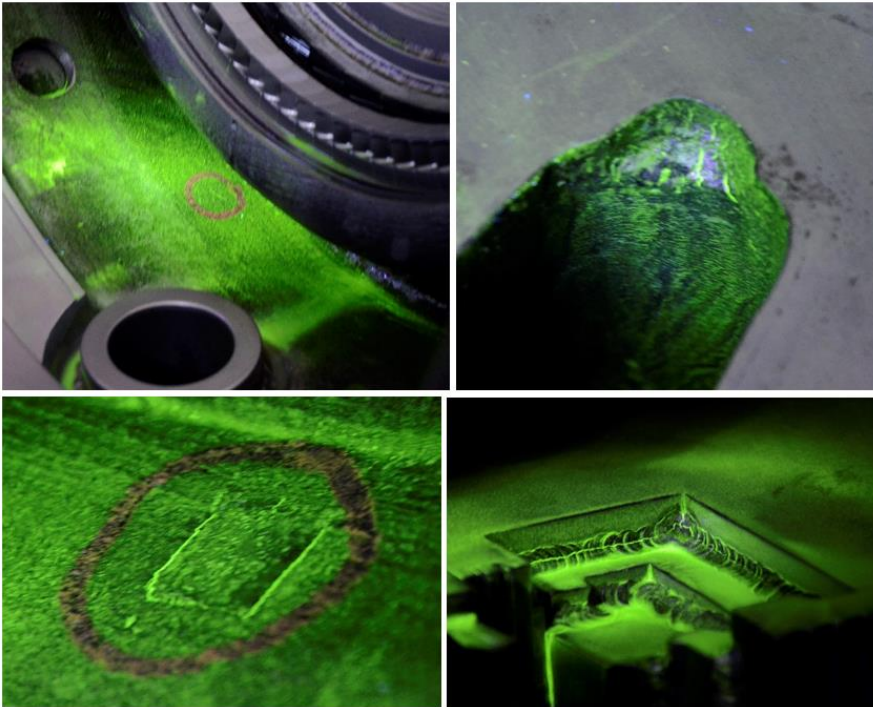
KUVA 42. Turbiinin laakereissa ei havaittu särojä tunkeumanestetarkastuksessa

7.2 Ulkopesät

Ulkopesien kunnostaminen aloitettiin yläpesän lasikuulapuhalluksella (KUVA 43). Koska alapesä oli omalla paikallaan turbiinialissa, ei sen puhaltaminen ollut mahdollista. Alapesä puhdistettiin käyttämällä puhdistusainetta ja nailon-hioma-arkkia eli karhunkieltä. Ulkopesien jakotasot puhdistettiin hiomakivellä. Puhdistamisen jälkeen suoritettiin ulkopesille magneettijauhetarkastus. Yläpesästä löytyi joi-takin säröjä sekä haljennut suutinsegmenttien hitsisauma (KUVA 44). Revision valvojan mukaan haljennutta hitsisaumaa ei kannata hitsata uudelleen, sillä se voi aiheuttaa pesään jännityksiä ja uusia säröjä. Haljenneen hitsisauman ei katsottu aiheuttavan ongelmia. Muut pesän säröt saatiin hiomalla pois.



KUVA 43. Yläpesän lasikuulapuhallus



KUVA 44. Yläpesän säröt ja haljennut hitsisauma

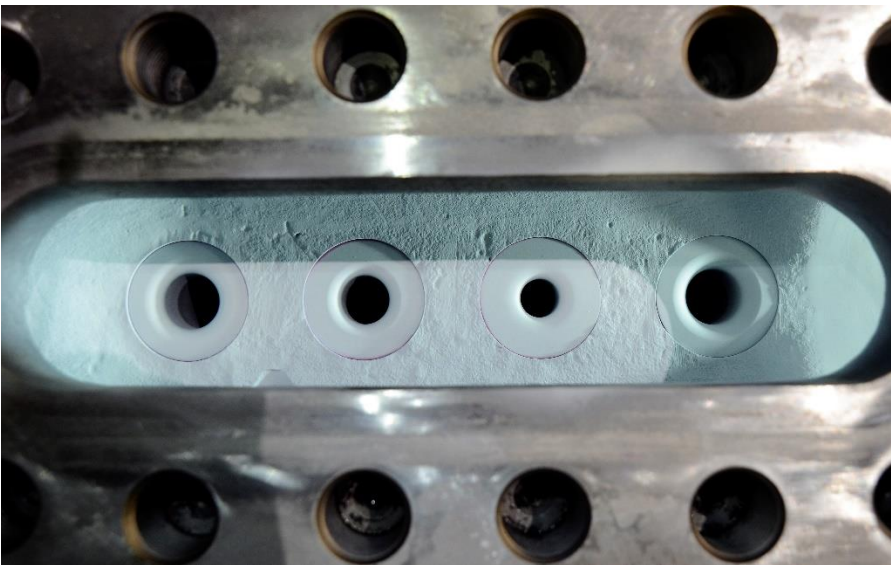
Jo aiemmin silmämääräisesti havaittu särö pikasulkuventtiilin jälkeisessä höyrykammiossa hiottiin pois ja sen todettiin olevan vain alkuperäinen valuvika (KUVA 45). Yläpesän jäljennetarkastuksen sekä kovuusmittauksen suoritti Replico Oy (KUVA 46). Tarkastuksessa ei havaittu virumista eikä muutenkaan poikkeamaa. Säätoventtiilipesän diffuusoreille (KUVA 47), hiotulle höyrykammionlehdelle sekä säätoventtiilin pitopinnalle tehtiin tunkeumanestetarkastus. Tarkastuksessa ei havaittu säröjä.



KUVA 45. Höyrykammion särö hiottu pois



KUVA 46. Yläpesän kovuusmittaus



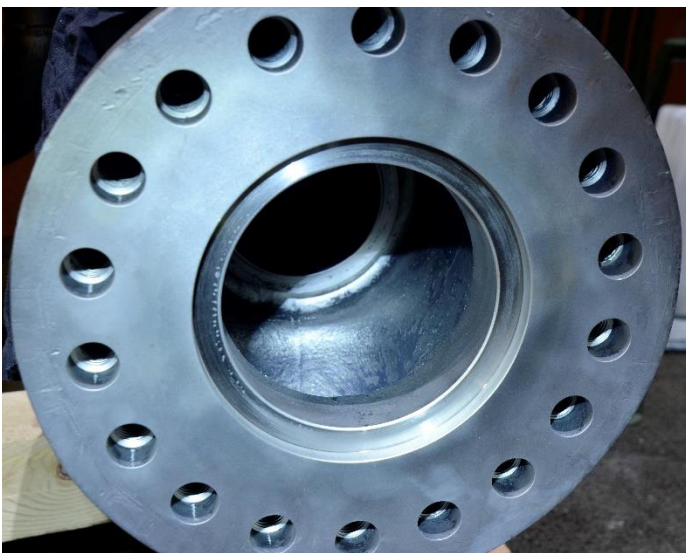
KUVA 47. Säätoventtiilipesän diffuusoreiden tunkeumanestetarkastus

Tiivistehöyrypesät sovitettiin ulkopesiin ja pesien väliin laitettiin kittiä tiiveyden varmistamiseksi. Tiivistehöyrypesät puristettiin ulkopesää vasten sitä varten tehdyillä työkaluilla. Työkalut jätettiin joksikin aikaa paikoilleen, jotta kitti ehtisi kuivua (KUVA 48). Yläpesän pikasulkuventtiilin pitopinnassa olevat syöpyvät hiottiin pois sitä varten tehdyllä hiontatyökalulla (KUVA 49). Yläpesässä olevat jakotason

kiinnitysmuttereiden vastinpinnat hiottiin tasaiseksi porakoneeseen kiinnitetyllä hiontalaikalla (KUVA 50). Tällä estetään muttereiden kiinnileikkautuminen pesään kiristysvaiheessa sekä varmistetaan tasainen kiristysmomentti.



KUVA 48. Tiivistehöyrypesien puristaminen yläpesään



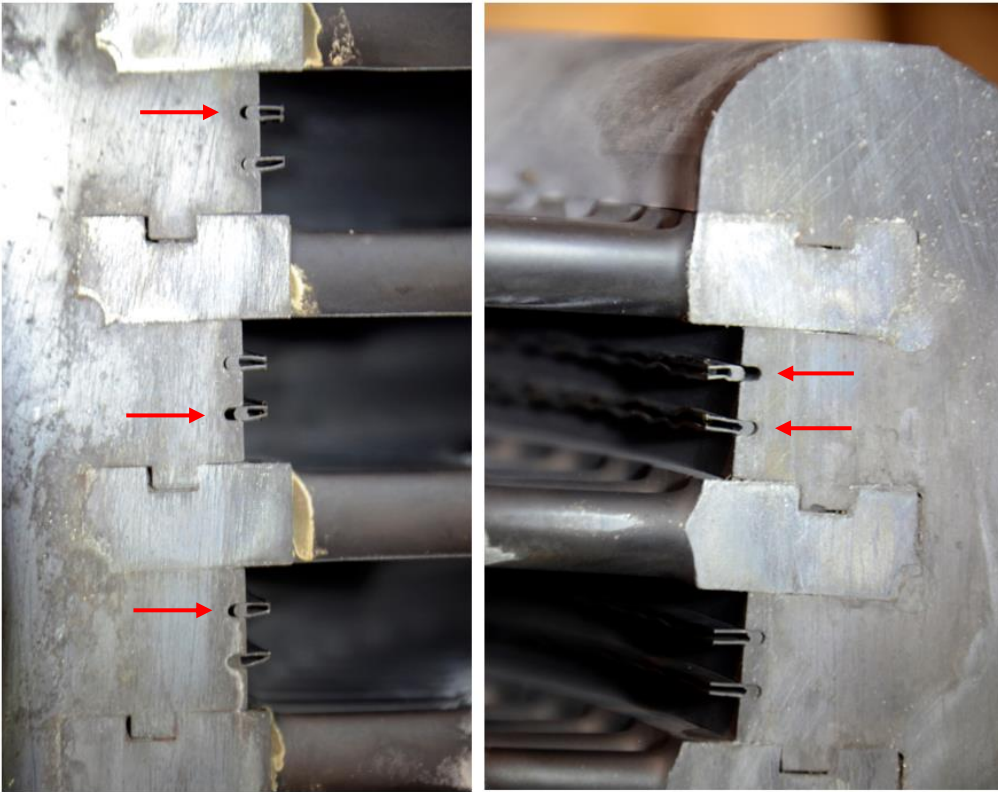
KUVA 49. Yläpesän pikasulkuventtiilin pitopinnassa syöpymiä



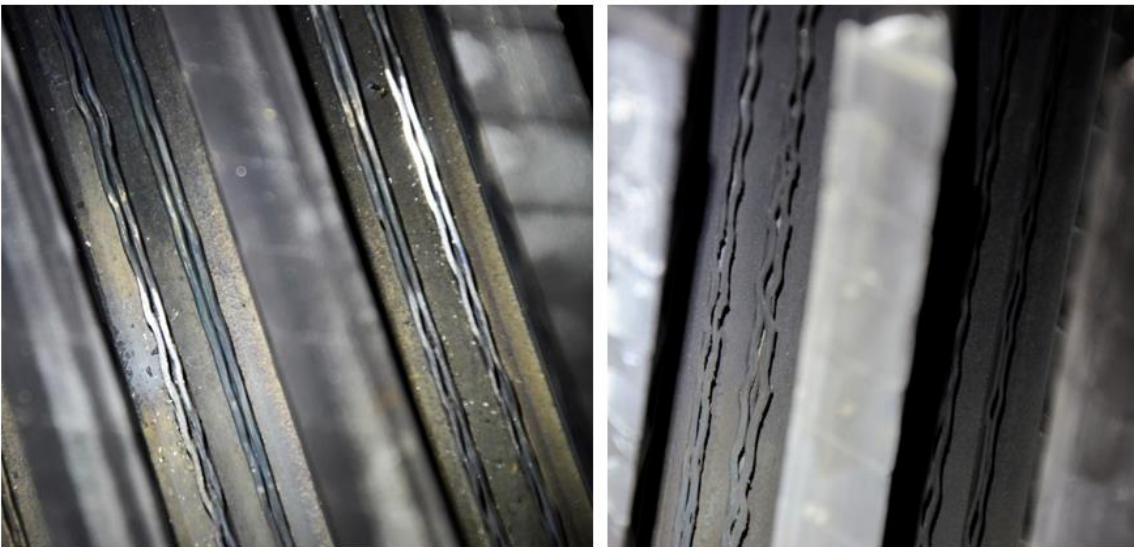
KUVA 50. Muttereiden vastinpinnan hionta

7.3 Johtosiipikannattimet

Johtosiipikannattimien siivistöissä oli kerrostumaa, joten ne puhdistettiin lasikuulapuhaltamalla. Silmämääräisen tarkastelun perusteella etummaisien johtosiipikannattimien siipivyöhykkeiden 1 – 3 tiivistepellit olivat irtoilleet (KUVA 51). Tiivistepellit olivat osittain mutkilla ja niissä oli vaurioita johtuen hankauksesta siipipantaan (KUVA 52). Johtosiipikannattimien tiivistepeltien vaihto on vaativaa käsi-työtä. Tiivistepelti lukitaan uraansa sidelangalla, joka naputellaan uraan taltan ja vasaran avulla. Myös tiivistepeltien sorvaaminen oikeisiin mittoihin on haastavaa, koska pelti on vain 0,3 mm:n paksuista ja erittäin kovaa. (Alho 2017.)

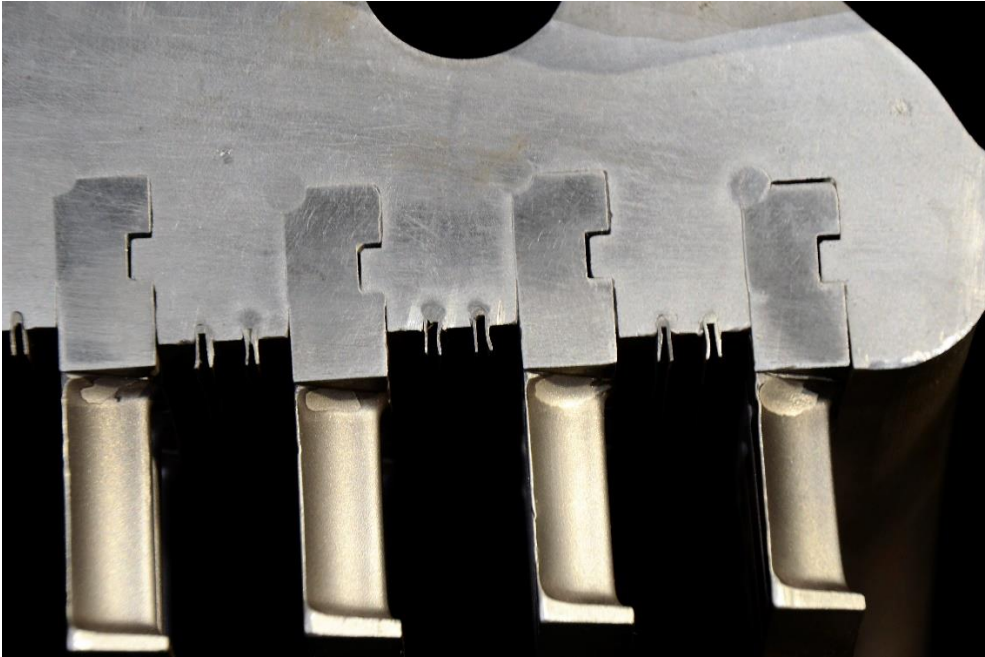


KUVA 51. Johtosiipikannattimien irronneet tiivistepellit



KUVA 52. Johtosiipikannattimien vaurioituneet tiivistepellit

Etummaisten johtosiipikannattimien tiivistepeltien vaihtaminen ja koneistaminen suoritettiin Alhon voimalaitoshuollon yhteistyökumppanilla Energetecillä Belgiassa. Tiivistepellit vaihdettiin vain niiltä osin, kun ne olivat vaurioituneet. Takimmaisiet johtosiipikannattimet olivat hyvässä kunnossa. Ainoastaan joitain pieniä hankausjälkiä löytyi tiivistepelleistä sekä jakotason pultin lukitustapin sauma oli haljennut. Sauma korjattiin hitsaamalla. Kuvassa 53 on etummainen alempi johtosiipikannatin, jossa on uudet, oikeisiin mittoihin koneistetut tiivistepellit.



KUVA 53. Johtosiipikannattimen uudet tiivistepellit

Johtosiipikannattimien korjauksessa oli sattunut vahinko ja kuusi johtosiipeä oli vaurioitunut ylemmästä kannattimesta (KUVA 54). Rikkoontuneet johtosiivet täytyi vaihtaa uusiin ja tästä aiheutui turbiinirevisioon noin 13 viikon viivästys. Kuvassa 55 johtosiipikannatin on palannut huollosta uusiin siivin.



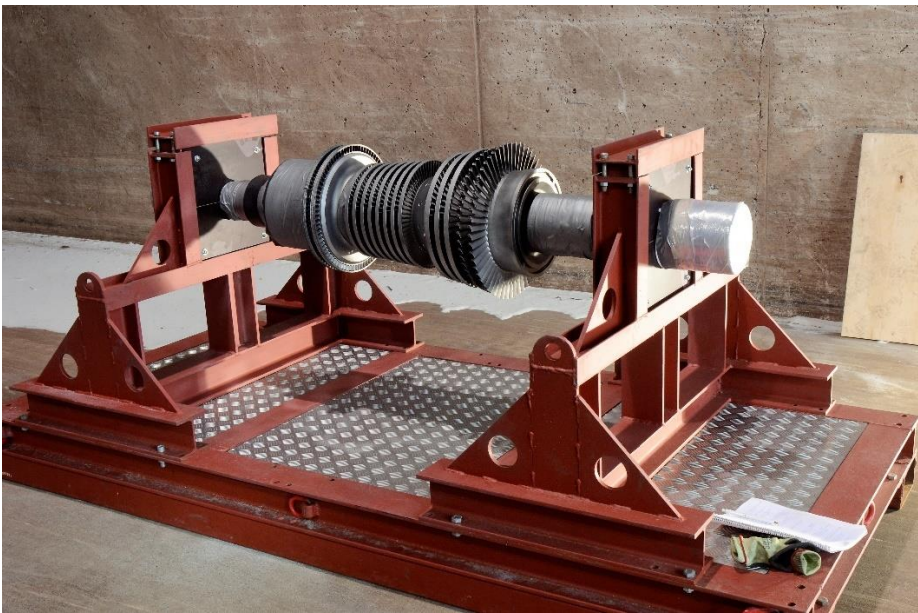
KUVA 54. Kunnostuksen aikana oli kuusi johtosiipeä vaurioitunut



KUVA 55. Johtosiipikannattimeen vaihdettiin kaikkiaan 12 uutta siipeä

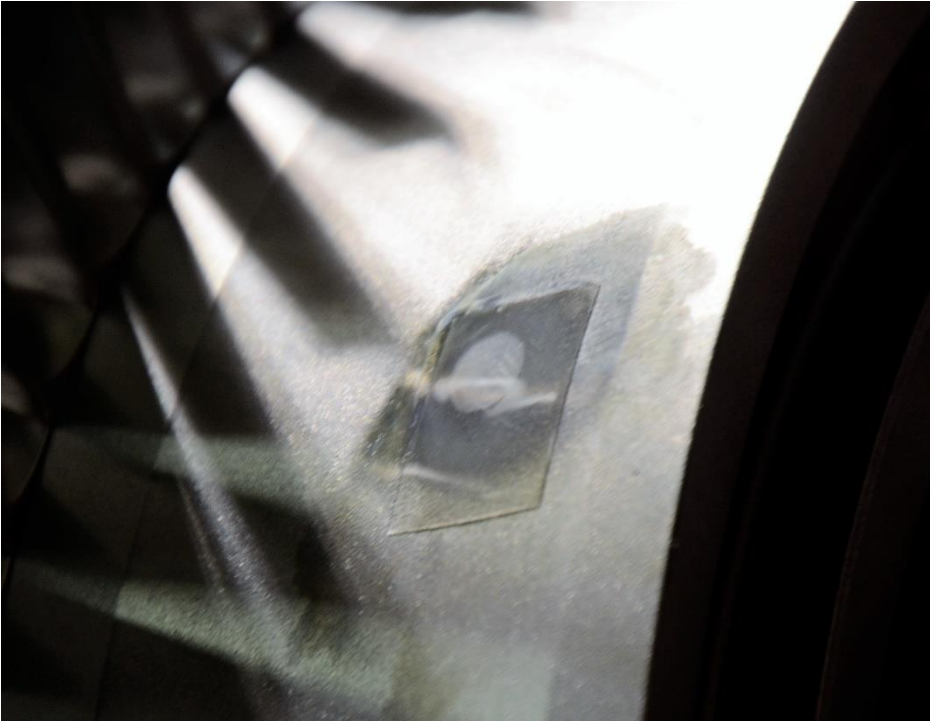
7.4 Roottori

Roottori oli purkuvaiheessa nostettu huoltopukkiin ja siirretty varastoon. Seuraava työvaihe oli roottorin lasikuulapuhallus. Ennen roottorin lasikuulapuhallusta siitä suojattiin laakerikaulat, kytkin ja kaikki labyrinthitiivisteet. Kuvassa 56 roottori on juuri puhdistettu lasikuulapuhaltamalla. Puhaltamisen jälkeen roottori vietiin takaisin kuivaan ja lämpimään varastoon, ettei se ruostuisi.



KUVA 56. Roottori huoltopukissa lasikuulapuhallettuna

Puhdistamisen jälkeen Replico Oy suoritti roottorille jäljennetarkastuksen, magneettijauh tarkastuksen sekä kovuusmittauksen. Jäljenteet otettiin roottorin Curtis-pyörästä sekä viimeisen siipivyöhykkeen jälkeisestä osasta. Kuvassa 57 näkyvä pyöreä alue on kiillotettu elektrolyyttisellä kiillotus/syövytyslaitteella. Kiillotetun kohdan mikrorakenne kopioidaan kuvassa näkyvälle muoviselle replikalle ja tutkitaan mikroskoopilla. Jäljennetarkastuksessa ei havaittu perusaineen mikrorakenteessa hajaantumista. Magneettijauh tarkastus tehtiin roottorin laakerikaulojen ja tasausmännän alueelle. Revision valvojan mukaan nämä alueet ovat herkimmit säröytymään. Magneettijauh tarkastuksessa ei löydetty säröjä. Kovuusmittaukset otettiin samoista kohdista kuin jäljenteet. Mitatut Vickers-kovuudet olivat välillä 224 HV – 250 HV. Mittauksen mukaan roottorin kovuudessa ei ollut tapahtunut muutoksia.



KUVA 57. Roottorille tehtiin jäljennetarkastus

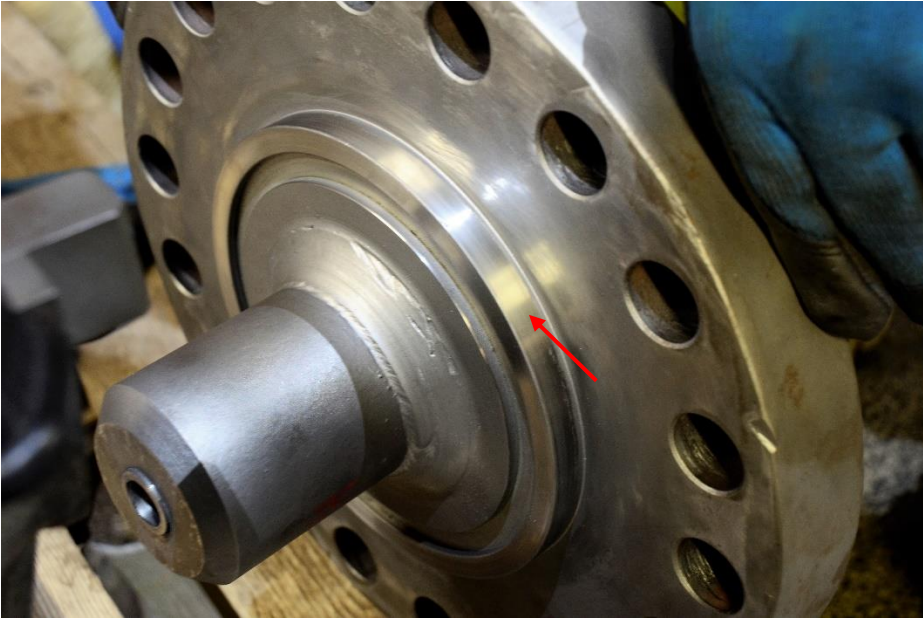
Silmämääräisesti roottori näytti muuten ehjältä, mutta viimeisen siipivyöhykkeen juoksusiivissä oli vaurioita (KUVA 58). Siipivauriot eivät näyttäneet kostean höyryn vesipisaroiden aiheuttamalta eroosiolta vaan pikemminkin joltain mekaaniselta vauriolta. Kolot siivissä ovat todennäköisesti olleet jo edellisen revision aikana, koska niissä oli havaittavissa jonkinlaisten pihtien hampaan jälkiä. Todennäköisesti siipiä on yritetty edellisessä revisiossa oikoa. Siiville ei tällä kertaa tehty mitään, koska niiden vaihtaminen on erittäin kallista ja korjaaminen voi aiheuttaa siipiin lisää vaurioita. Revision valvojan mukaan näin pienet vauriot viimeisessä siipivyöhykkeessä eivät aiheuta ongelmia tai hyötysuhteen huononemista.



KUVA 58. Vaurioita viimeisen siipivyöhykkeen juoksusiivissä

7.5 Pikasulkuventtiili

Pikasulkuventtiili purettiin ja sen servo lähetettiin Alhon huollon pajalle kunnostettavaksi. Pajalla servo oli purettu ja huollettu. Kaikki tarvittavat tiivisteet oli vaihdettu ja servo oli maalattu. Pikasulkuventtiilin kara oli kulunut, joten se lähetettiin Kokkolaan LCC Oy:lle pinnoitettavaksi. Kara laserpinnoitettiin stelliitti 6:lla ja koneistettiin oikeisiin mittoihin. Karan grafiitti- ja hiilirenkaat vaihdettiin uusiin. Koska pikasulkuventtiilin rintalaippa oli ollut tiukasti kiinni yläpesässä, epäiltiin sen olakkeen hiukan levinneen aiemmassa asennuksessa. Tämän johdosta rintalaipan olakkeen halkaisijasta sorvattiin 0,1 mm pois asentamisen helpottamiseksi (KUVA 59). Kaikki pikasulkuventtiilin tiivistepinnat hiottiin ja tarkastettiin ja pitopinnoille tehtiin siniväritarkastus.



KUVA 59. Pikasulkuventtiilin rintalaipasta sorvattiin 0,1 mm pois

7.6 Säätoventtiili

Säätoventtiili purettiin puhdistamisen jälkeen ja sen servo lähetettiin Alhon pajalle huoltoon. Servoon vaihdettiin uudet tiivisteet ja E/H-muunnin kalibroitiin. Servon työsylinteri ja tiivisteet päätettiin myös vaihtaa uutteen kuluneisuuden vuoksi. Säätoventtiilin karoissa oli kiinnileikkautumisen jälkiä, joten nekin pinnoitettiin LCC:llä ja koneistettiin mittaan 15,95 mm. Karojen tiivistepesiin vaihdettiin uudet grafiitti- ja hiilirenkaat. Karoille, venttiilipalkille, keiloille ja pitopinnoille tehtiin magneettijauhe- ja tunkeumanestetarkastus. NDT-tarkastuksissa ei löydetty poikkeamia. Säätoventtiilin tukin pitopinta hiottiin hiomakivellä, koska siinä oli pieniä syöpymiä. Pitopinnalle ja venttiilin keiloille tehtiin siniväritarkastus (KUVA 60).



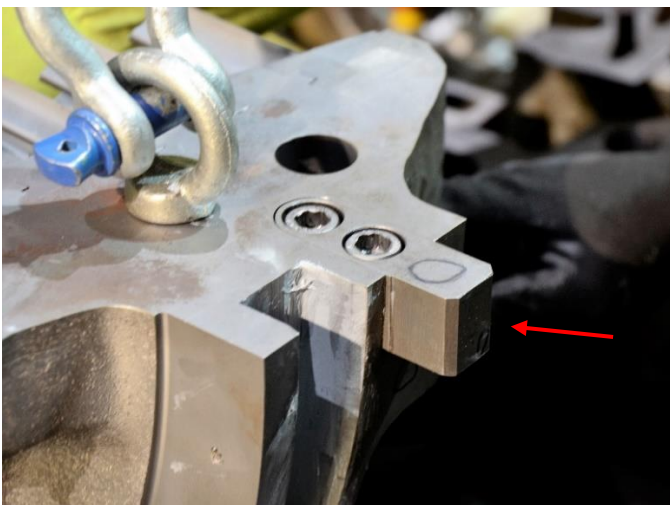
KUVA 60. Säätoventtiilin siniväritarkastus

8 TURBIININ KOKOONPANO

Turbiinin kokoonpano tapahtuu pääosin käänteisessä järjestyksessä kuin purkaminen. Kokoonpanovaiheessa suoritetaan paljon mittauksia, joiden tarkoitus on asettaa turbiini normaaliin toimintakuntoon. Välykset mitataan pyörivien ja kiinteiden osien välillä ja linjaukset tarkastetaan. Painavien turbiiniosien nostossa täytyy olla varovainen, sillä pienetkin hipaisut saattavat aiheuttaa vaurioita. Kokoonpanossa täytyy olla erittäin huolellinen, sillä asennusvirheet saatetaan havaita vasta turbiinin käydessä. Vieraita esineitä ei saa jättää tai pudottaa turbiiniin, sillä pienikin vierasesine voi aiheuttaa turbiinin rikkoutumisen käytön aikana. Ulkopesät puhdistetaan paineilmalla ja imuroimalla roskat pois. Asennustyön aikana noudatetaan puhtautta ja kaikki turbiinin osat puhdistetaan juuri ennen asennusta.

8.1 Johtosiipikannattimet

Purkuvaiheen johtosiipilinjauksessa todettiin johtosiipikannattimien olevan pystysuunnassa jonkin verran keskilinjan yläpuolella. Samoin molempien johtosiipikannattimien etu- ja takareunan korkeuksissa oli eroja eli kannattimet olivat myös hieman kallellaan. Kannattimien vaakasuuntainen poikkeama keskilinjasta oli pieni. Johtosiipikannattimien korkeutta pystytään säätämään sivukiilojen korkeutta muuttamalla (KUVA 61). Kannattimien vaakasuuntaista sijaintia voidaan säätää säteis- eli pystykiilan avulla (KUVA 62). Kannattimien kallistusta on vaikea säätää, koska kannattimien urat asettuvat ulkopesien olakkeisiin.



KUVA 61. Johtosiipikannattimen sivukiila



KUVA 62. Johtosiipikannattimen pystykiila

Johtosiipikannattimia laskettiin alaspäin koneistamalla sivukiiloista noin 0,15 mm pois. Taulukossa 7 on esitetty sivukiilojen korkeudet ennen ja jälkeen koneistamisen. Kannattimien vaakasuuntaista sijaintia päätettiin muuttaa kokeilemalla kääntää pystykiiloja 180 astetta ennen linjausmittausta.

TAULUKKO 7. Johtosiipikannattimien sivukiilojen korkeudet

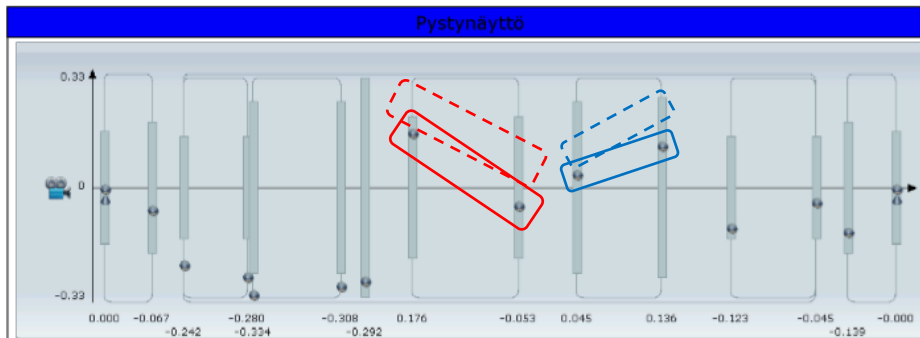
Johtosiipikannattimien sivukiilojen korkeudet			
Etummainen	Ennen koneistusta	Koneistuksen jälkeen	Poistettu
Vasen	29,85 mm	29,70 mm	0,15 mm
Oikea	29,85 mm	29,67 mm	0,18 mm
Takimmainen			
Vasen	29,74 mm	29,62 mm	0,12 mm
Oikea	29,75 mm	29,60 mm	0,15 mm

Johtosiipikannattimien linjausmittaus suoritettiin samalla tavalla kuin purkuvaiheessa, joten mittaustulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Kuviossa 8 on kokoonpanovaiheen linjausmittausraportti. Raportissa katkoviivalla merkityt johtosiipikannattimia esittävät suorakaiteet ovat purkuvaiheen mittaustulokset ja yhtenäisellä viivalla merkityt ovat kokoonpanovaiheen mittaustulokset. Raportista voidaan

todeta, että sivukiiloja koneistamalla saatiin johtosiipikannattimia alemmas lähemmäksi keskilinjaa. Pystykiilojen kääntäminen ei juurikaan vaikuttanut etummaisesta johtosiipikannattimen vaakasuuntaiseen sijaintiin, mutta takimmainen kannatin siirtyi lähemmäs keskilinjaa. Kannattimien kallistukseen tehdyillä säädöillä ei odotetusti ollut merkitystä. Johtosiipikannattimet jätettiin näihin asetuksiin, koska niiden todettiin olevan riittävän lähellä keskilinjaa.

Laitte esiasetus				
Nr	Nimi	Absoluuttietäisyys	Pystyesiasetus	Vaakaesiasetus
1	1 LAAKERI	0	0.000	0.000
2	ÖLJYTIIVISTE	90	0.000	0.000
3	TIIVISTEPOKSI ETU	150	0.000	0.000
4	1 TIIVISTEPOKSI TAKA	270	0.000	0.000
5	TASAUSMÄNTÄ ETU	280	0.000	0.000
6	TASAUSMÄNTÄ TAKA	445	0.000	0.000
7	1 JOHDESIIPPI	490	0.000	0.000
8	1. SISÄPESÄ ETU	580	0.000	0.000
9	1. SISÄPESÄ TAKA	780	0.000	0.000
10	2. SISÄPESÄ ETU	890	0.000	0.000
11	2. SISÄPESÄ TAKA	1050	0.000	0.000
12	2. TIIVISTEPOKSI ETU	1180	0.000	0.000
13	2. TIIVISTEPOKSI TAKA	1340	0.000	0.000
14	2. ÖLJYTIIVISTE	1400	0.000	0.000
15	2. LAAKERI	1490	0.000	0.000

Tulos informaatio	
Optimointi	Optimoitu
Näyttöformaatti	Absoluutti
Referenssi linja:	Staattinen laser viiva
Tulos tyyppi:	Mitattu korjattu esiasetuksilla
Tulos tyyppi kuvaus:	
Mittaukset on otettu mukaan laskelmiin. Seuraavat esiasetukset on otettu myös laskelmiin:	elementit, alikokoonpano, kone.



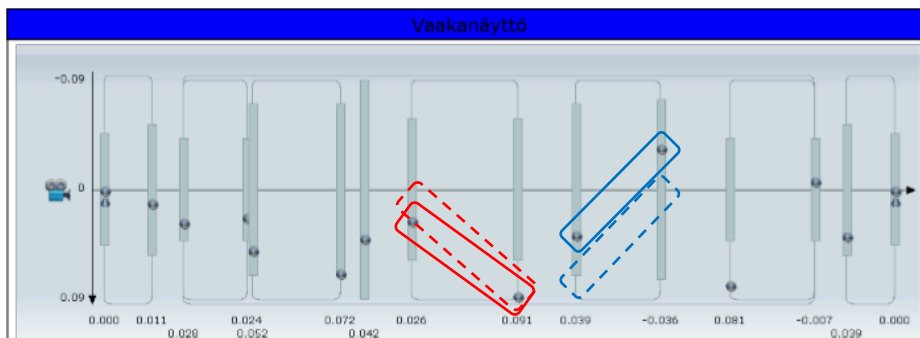
Pystysuunta

Etummainen johtosiipikannatin

Takimmainen johtosiipikannatin

Purkuvaiheen mittaus

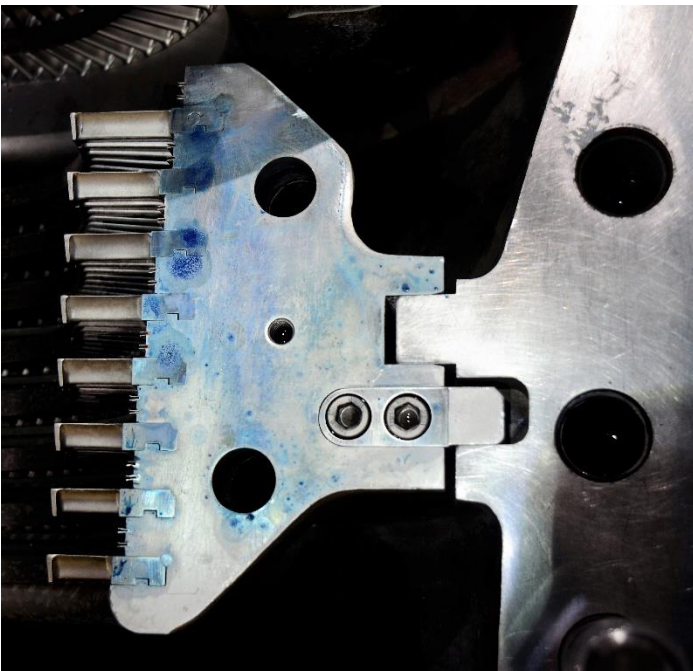
kokoonpanovaiheen mittaus



Vaakasuunta

KUVIO 8. Kokoonpanovaiheen linjausmittausraportti (mukaillen Alhon Huolto 2018)

Johtosiipikannattimien jakotasoille tehtiin siniväritarkastus. Siniväritarkastuksessa väriainetta levitetään ohut kerros jakotasoon ja ylempi johtosiipikannatin lasketaan alemman kannattimen päälle omalle paikalleen. Tämän jälkeen jakotason pultit kiristetään momenttiin. Seuraavaksi pultit irrotetaan ja jakotaso avataan. Väriaine tarttuu niihin kohtiin, joissa on kosketuspintaa (KUVA 63). Siniväritarkastuksessa todettiin jakotasojen kosketuspintojen olevan kunnossa. Johtosiipikannattimien jakotason täytyy olla tiivis, ettei tapahtuisi höyryn ohipuhallusta. Jakotason tiiveys varmistettiin sivelemällä siihen ohuesti kittiä ennen lopullista kiristystä.



KUVA 63. Johtosiipikannattimen jakotason siniväritarkastus

8.2 Roottori

Ennen roottorin paikalleen nostoa laitettiin alemmat johtosiipikannattimet ja radiaalilaakereiden alapuoliskot paikalleen. Tämän jälkeen roottori laskettiin varovasti omalle paikalleen radiaalilaakereiden varaan. Seuraavaksi asennettiin roottorin painelaakeri. Painelaakerin täytyy olla paikallaan, jotta aksiaalisuuntaiset siipivälkykset voidaan mitata. Ensin mitataan labyrinttitiivisteiden ja siipien välkykset sivuilta. Välysmittaus suoritetaan ns. rakotulkilla eli välysmitalla. Taulukossa 8 ovat johto- ja juoksusiipien kokoonpanovaiheen radiaali- ja aksiaalivälysmittaustulokset.

TAULUKKO 8. Johto- ja juoksusiipien kokoonpanovaiheen väläysmitat

		Radiaali				Aksiaali				
		vasen	oikea	ylä	ala	+ suunta		- suunta		
						vasen	oikea	vasen	oikea	
Johtosiipi - Roottori	1	1,80	1,85			1,91	2,20	2,8	2,65	
	2					1,68	1,80			
	3	0,5	0,55			2,15	1,95	3,19	3,0	
	4	0,5	0,55			1,75	1,95	2,9	2,85	
	5	0,5	0,55			2,10	1,95	3,27	3,15	
	6	0,5	0,55			2,05	1,85	3,27	3,15	
	7	0,5	0,55			1,95	1,85	3,1	3,15	
	8	0,45	0,55			1,90	1,85	3,3	3,35	
	9	0,45	0,55			1,8	1,55	3,7	3,65	
	10	0,45	0,55			1,7	1,6			
	11	0,45	0,5			2,5	2,25	3,7	3,9	
	12	0,45	0,5			2,2	2,25	3,75	4,05	
	13	0,45	0,5			2,05	2,35	5,15	3,45	
	14	0,35	0,45			4,0	3,95	5,35	5,30	
	15	0,35	0,35			3,4	3,95			
Juoksusiipi - Pesä	1	0,40	0,75							KP-curtisspyörän aksiaaliväläykset: vasen mm oikea mm
	2	0,80	0,85							
	3	0,20	0,28							
	4	0,25	0,28							
	5	0,25	0,28							
	6	0,40	0,50							
	7	0,45	0,55							
	8	0,45	0,55							
	9	0,50	0,55							
	10	0,50	0,55							
	11	0,45	0,45							
	12	0,45	0,5							
	13	0,45	0,5							
	14	0,60	0,6							
	15	0,6	0,6							

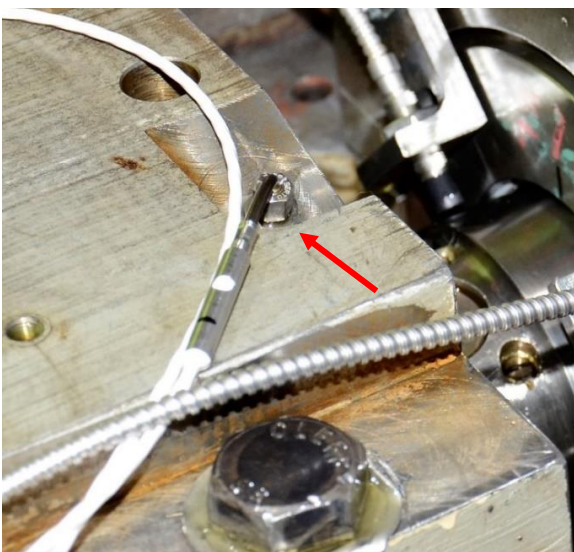
Sivuvälysten mittauksien jälkeen pystyväläykset mitataan lyijylangalla. Lyijylankamittaus käytetään silloin, kun väläystä ei pystytä mittaamaan osien ollessa paikallaan. Lyijylankamittaus suoritetaan laittamalla mitattavien osien väliin väläystä suurempi pehmeä lyijylanka. Osat kiristetään asennustiukkuuteen, jolloin lyijylanka painuu kasaan. Osien avaamisen jälkeen väläys on mitattavissa lyijylangasta. Roottorin siipivyöhykkeiden labyrinthitiivisteiden lisäksi mitattiin myös tasausmännän ja tiivistepesien väläykset lyijylangalla. Roottorin siipivyöhykkeiden pystyväläykset olivat välillä 0,30 mm – 0,40 mm. Tasausmännän labyrinthitiivisteiden väläykset olivat 0,15 mm – 0,30 mm ja tiivistehöyrypesien 0,35 mm – 0,40 mm. Kuvassa 64 on menossa tiivistehöyrypesän lyijylankamittaus.



KUVA 64. Tiivistehöyrypesän lyijylankamittaus

8.3 Laakerit

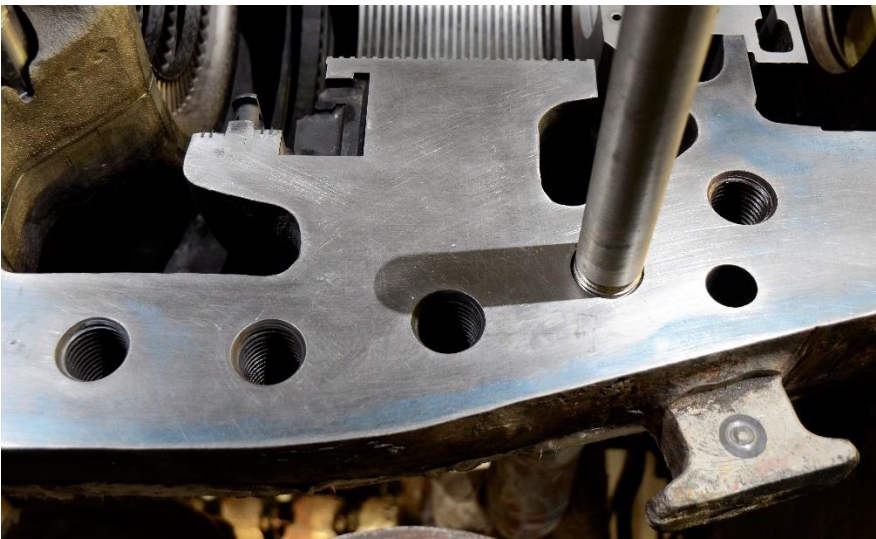
NDT-tarkastusten ja mittausten perusteella käytössä olleet turbiinin laakerit olivat kunnossa, joten kokoonpanossa käytettiin samoja vanhoja laakereita. Liitteissä 4, 5 ja 6 on sekä käytössä olevien että varastoitujen laakereiden tunkeumaneste- ja ultraäänitarkastuspöytäkirjat. Varastossa olevat tarkastetut laakerit merkattiin ja varastoititiin uudelleen. Laakerikansien kiinnityspulttien vaurioituneet lukituspellit uusittiin sekä kaikki turbiinin laakereitten lämpötila-anturit vaihdettiin uusiin (KUVA 65).



KUVA 65. Turbiinin laakereiden lämpötila-anturit uusittiin

8.4 Ulkopesät

Ennen kokoonpanoa ulkopesien jakotasolle suoritettiin siniväritarkastus. Tarkastuksessa todettiin, että pesät pääsääntöisesti vastaavat toisiinsa jakotason ulkoreunasta. Varsinkin tasausmännän kohdalla kosketus oli ohut ja aivan ulkolaidalla (KUVA 66). Pesien poistokammion molemmissa takanurkissa ei jakotasossa ollut lainkaan kosketusta noin 20 cm:n matkalla.



KUVA 66. Ulkopesien jakotason siniväritarkastus

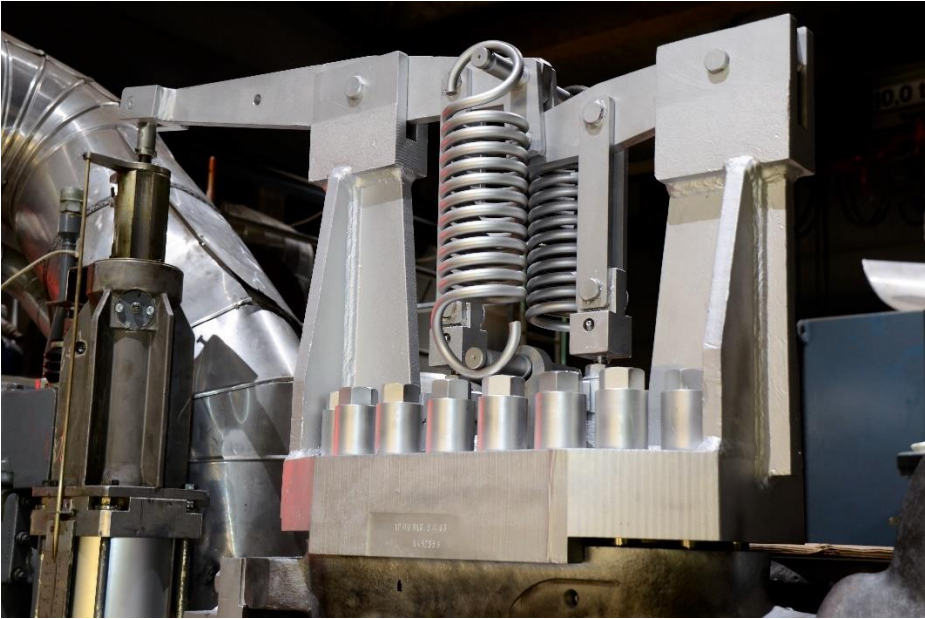
Jakotason kaikki kiinnityspultit ja mutterit uusittiin. Pultit ja ohjaintangot pyöriteltiin paikalleen alapesään ja jakotasoon siveltiin kittiä. Myös alempien tiivistehöyrypesien ja alapesän väliin laitettiin kittiä varmistamaan tiiveys. Yläpesä laskettiin rauhallisesti paikalleen (KUVA 67) ja mutterit kiristettiin hydraulivääntimellä ja lyöntiavaimella sieltä, mihin hydrauliväännin ei mahtunut. Kiristyksen jälkeen todettiin, että yläpesän eturunkopulteissa ei ollut lämpölaajenemisen vaatimaa välystä ja että alapesän tuki-kiilat olivat jumissa. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että kittiä oli liian paksusti jakotasossa. Jakotaso avattiin ja kitti poistettiin. Tällä kertaa kittiä siveltiin ohuempi kerros ja jakotaso suljettiin. Kiristyksen jälkeen alapesän kiilojen ja rungon väliin jäi 0,05 mm välyk ja ne saatiin poistettua. Myös eturungon pultteihin saatiin riittävä välyk.



KUVA 67. Yläpesän lasku

8.5 Säätöventtiili

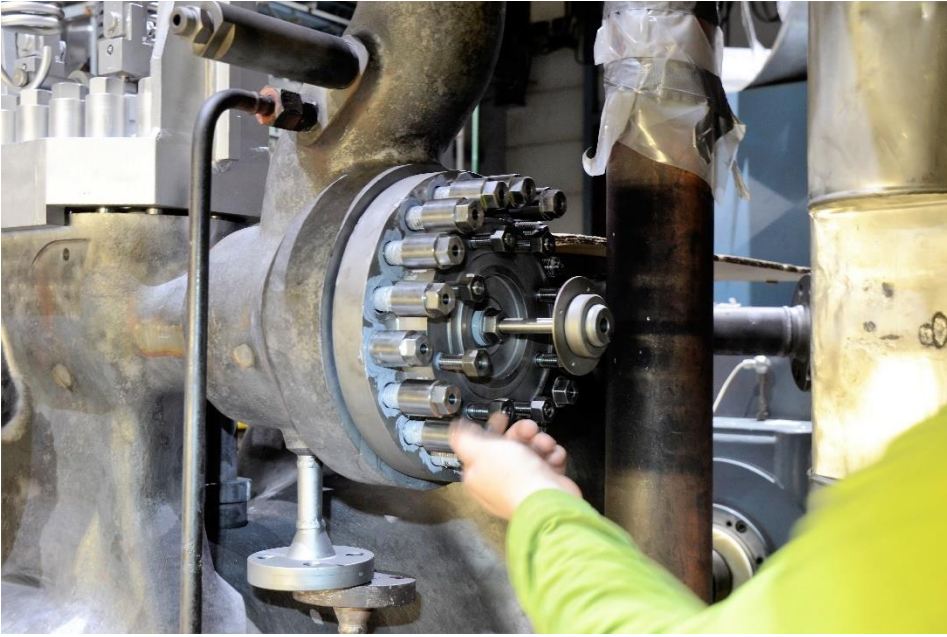
Säätöventtiilin osat maalattiin kuumankestomaalilla ennen kokoonpanoa. Venttiilirungon pitopinnan ja yläpesän väliin laitettiin kittiä varmistamaan tiiveys. Yläpesään pyöriteltiin uudet säätöventtiilin kiinnityspultit ja venttiili laskettiin paikalleen. Venttiilin kiinnitysmuttereitten aluslevyt puhdistettiin nauha-
hiomakoneella ja ne asennettiin uusien muttereitten kanssa. Mutterit kiristettiin aluksi hydraulivääntimellä ja lopullinen kiristys lyöntiavaimella ja isolla lekalla. Säätöventtiilin servo asennettiin paikalleen ja sen öljyputket liitettiin uusien tiivistein. Sähköasentaja asensi servon sähköjohdot paikalleen. Kuvassa 68 on säätöventtiili asennettuna omalle paikalleen.



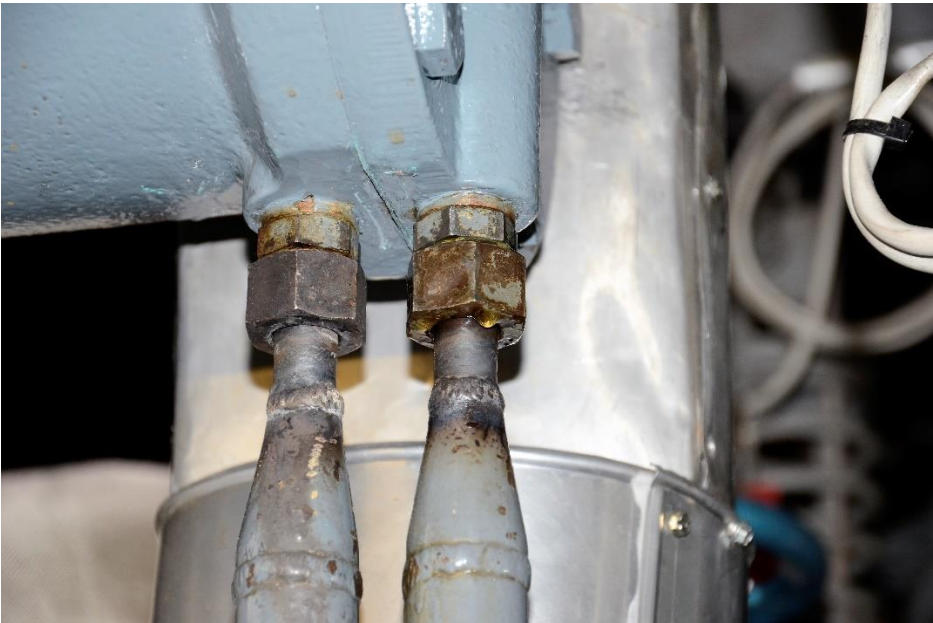
KUVA 68. Kunnostettu säätöventtiili

8.6 Pikasulkuventtiili

Pikasulkuventtiilin asennus aloitettiin kiristämällä rintalaippa yläpesää vasten. Asennuksessa käytettiin uusia pultteja ja muttereita sekä metallisuoja-ainetta, joka kestää suuria lämpötiloja ja vähentää kylmäkiinnileikkautumisen vaaraa muttereitten kiristyksen aikana (KUVA 69). Rintalaipan asennuksen jälkeen pikasulkuventtiilin servo nostettiin paikalleen. Servon hydrauliputkia taivutettiin hieman, jotta ne asettuisivat kohtisuoraan liittimiinsä (KUVA 70). Liittimiä jouduttiin kiristämään muutamia kertoja, jotta öljyvuoto saatiin loppumaan.



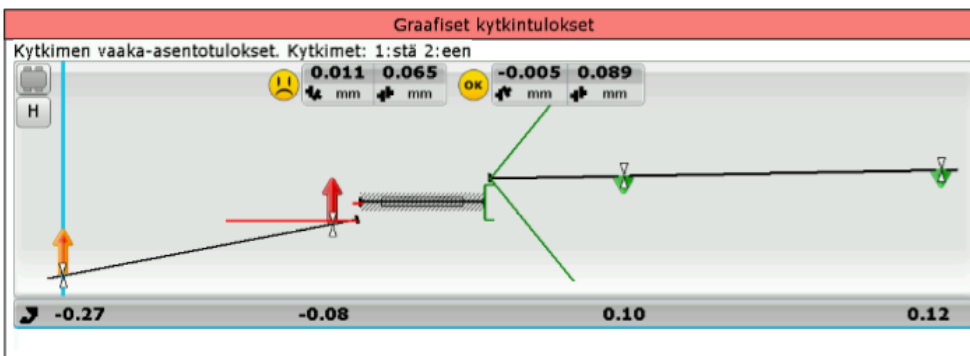
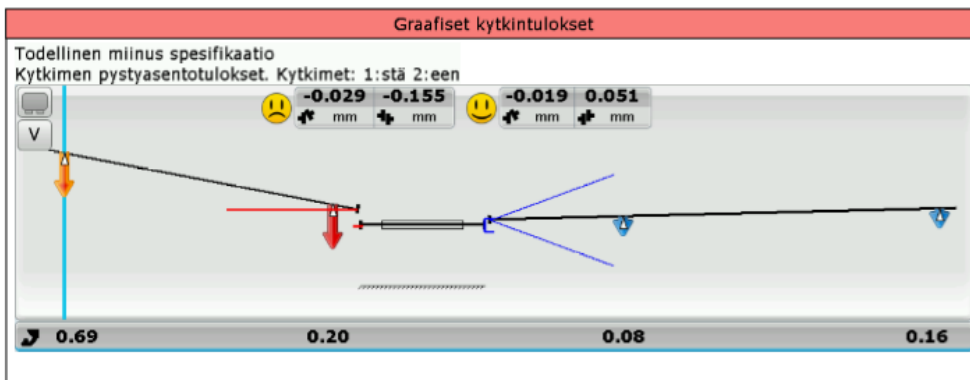
KUVA 69. Pikasulkuventtiilin rintalaipan asennus



KUVA 70. Pikasulkuventtiilin servon hydrauliputkien liittimet

8.7 Akselien linjaus

Akselien toinen linjausmittaus suoritettiin koko turbolaitteiston kokoonpanon jälkeen. Mittaus suoritettiin samalla tavalla kuin purkuvaiheessa, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. Mikäli mittaustulokset poikkeavat suuresti toisistaan, täytyy sen syy selvittää. Kuviossa 9 on kokoonpanovaiheen linjausmittaustulokset. Tuloksista nähdään, että linjaus ei ole juurikaan muuttunut revision aikana. Linjaus oli muutenkin toleranssien sisällä, joten sitä ei muutettu.



Laitetulokset			
	Todellinen spesifikaatio: Todellinen:		Yksikkö:
Kytkin 1 Tulokset Monipistemittaus :sta			
Pystyasento:			
Rako	-0.029	-0.029	[mm]
Ero	-0.155	-0.155	[mm]
Vaaka-asento:			
Rako	0.011	0.011	[mm]
Ero	0.065	0.065	[mm]
Kytkin 2 Tulokset Pyyhkäisymittaus :sta			
Pystyasento:			
Rako	-0.019	-0.019	[mm]
Ero	0.051	0.051	[mm]
Vaaka-asento:			
Rako	-0.005	-0.005	[mm]
Ero	0.089	0.089	[mm]

Laitekorjaukset			
Kone A : TURBIINI			
Jalka 1	Pystyasento: -0.69	Vaaka-asento: 0.27	Yksikkö: [mm]
Jalka 2	-0.20	0.08	[mm]
Kone B : Vaihdelaatikko 1(staattinen)			
Kone C : Generaattori 1			
Jalka 1	Pystyasento: -0.08	Vaaka-asento: -0.10	Yksikkö: [mm]
Jalka 2	-0.16	-0.12	[mm]

(jatkuu)

Toleranssit		
Kytkin 1		
Lyhyt flex, toleranssityyppi:Taulu	Arvo:	Yksikkö:
Erinomainen:		
Rako	0.000	[mm]
Ero	0.000	[mm]
Hyväksyttävä:		
Rako	0.010	[mm]
Ero	0.000	[mm]
Kytkin 2		
Lyhyt flex, toleranssityyppi:Taulu	Arvo:	Yksikkö:
Erinomainen:		
Rako	0.250	[mm]
Ero	0.060	[mm]
Hyväksyttävä:		
Rako	0.350	[mm]
Ero	0.090	[mm]

KUVIO 9. Kokoonpanovaiheen akselilinjausmittauksen raportti (Alhon Huolto Oy 2018)

8.8 Eristys

Turbiinin kokoonpanon valmistuttua suoritti Eupart Oy turbiinin eristyksen. Ensimmäinen kerros villaa liimattiin turbiiniin osiin kiinni ja sen päälle laitettiin verkotettua villaa. Lopuksi villan päälle levitettiin kittiä. Läpivientien kohdalla käytettiin eristetyynyjä, jotka kiinnitettiin rautalangalla (KUVA 71). Höyryputkistojen eristyksen suoritti Kalajoen Teollisuuseristys Oy.



KUVA 71. Turbiini eristettynä

9 TOIMILAITTEIDEN KUNNOSTUS JA MUUTOSTYÖT

Turbolaitteiston toimilaitteiden kunnostus on osa turbiinirevisiota. Toimilaitteiden oikea ja häiriötön toiminta on tärkeää turbolaitteiston toiminnan kannalta. Esimerkiksi öljyjärjestelmän pettäminen ajon aikana voi johtaa suuriin ja kalliisiin vaurioihin. Yleensä turbiinin pikasulkuventtiili ja säätöventtiili luetaan myös toimilaitteisiin, mutta tässä opinnäytetyössä ne löytyvät luettavuuden ja selkeyden kannalta turbiinia käsittelevistä luvuista. Revision aikana on myös hyvä suorittaa sellaiset muutostyöt, joita ei ole mahdollista tehdä ajon aikana. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään toimilaitteiden kunnostus sekä turbolaitteiston muutostyöt.

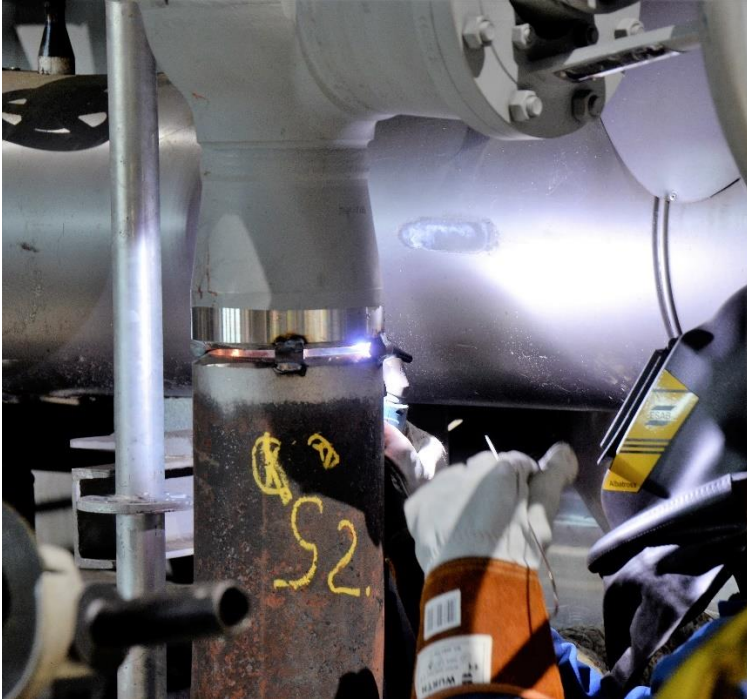
9.1 Päähöryputki

Sulkuventtiilin jälkeinen päähöryputki oli irrotettu purkuvaiheessa, jotta turbiinin yläpesän nosto olisi mahdollista. Irrallaan olevan päähöryputken jäljenne- ja magneettijauh tarkastuksen suoritti Replico Oy. Kuvassa 72 on menossa magneettijauh tarkastus, jolla etsitään päähöryputken hitsisaumasta säröjä. Kyseisissä NDT-tarkastuksissa ei havaittu päähöryputken virumista eikä säröjä.



KUVA 72. Päähöryputken hitsisauman magneettijauh tarkastus

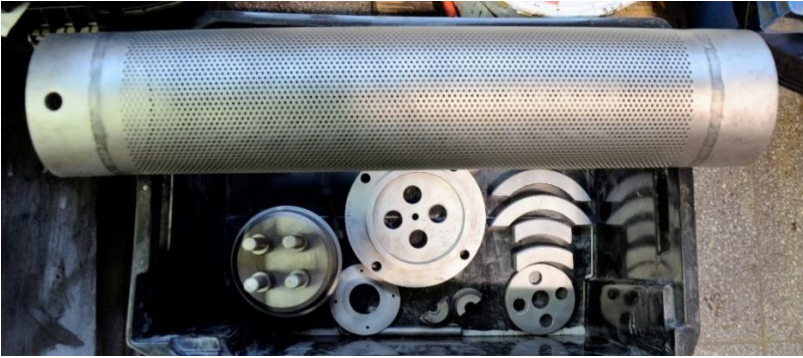
Päähöyryputkeen tehtiin hitsausviisteet ja se asennettiin paikalleen. Höyryputken hitsauksen suoritti Caverion Industria Oy (KUVA 73). Hitsisauman lämpökäsittelyn jälkeen päähöyryputken laippa kiristettiin yläpörsään käyttämällä uusia pultteja ja tiivistettä.



KUVA 73. Päähöyryputken hitsaus

9.2 Tulohöyrysihti

Tulohöyrysihti sijaitsee päähöyryputkessa lähellä turbiinia ja sen tarkoitus on estää suurempien partikkeleiden joutuminen turbiiniin. Tulistinputkista ja päähöyryputkesta saattaa höyryvirran mukana kulkeutua epäpuhtauksia, esimerkiksi magnetiittikalvon palasia tai hitsisauman kuonaa. Revisiossa tulohöyrysihti purettiin ja puhdistettiin lasikuulapuhaltamalla. Tarkastuksessa höyrysihti todettiin hyväkuntoiseksi ja se asennettiin takaisin paikalleen uusin tiivistein. Kuvassa 74 on tulohöyrysihti asennusosineen juuri lasikuulapuhallettu.



KUVA 74. Tulohöyrysihti lasikuulapuhallettu

9.3 Poistohöyryventtiili

Poistohöyryventtiili lähetettiin Alhon pajalle huoltoon vuoto-ongelman vuoksi. Venttiili oli purettu ja sen lautaset oli koneistettu, koska niissä oli havaittu pahoja kolhuja. Kuvassa 75 on meneillään poistohöyryventtiilin koneistaminen. Kokoonpanon jälkeen venttiili lähetettiin takaisin voimalaitokselle ja se asennettiin paikalleen uusilla tiivisteillä. Venttiilissä havaittiin edelleen ongelmia tiiveyden kanssa ja sovittiin, että venttiili huolletaan uudestaan kesän 2018 huoltoseisokin aikana.



KUVA 75. Poistohöyryventtiilin koneistus

9.4 Poistohöyryputki

Poistohöyryputken tarkastuksessa havaittiin korroosiota putken sisäosissa. Putken mutkan kohdalla sisäputki oli paikoin syöpynyt puhki (KUVA 76). Koska syöpymät sisäputkessa eivät aiheuta vuotoa, päätettiin korroosion aiheuttamat kerrostumat vain hioa pois. Kuvassa 77 on menossa poistohöyryputken sisäosan puhdistaminen hiomalla. Höyryputken kiinnitysmuttereitten vastinpinnat hiottiin nauhahioma-koneella ja pulttien vastinpinnat sorvattiin. Poistohöyryputki nostettiin siltanosturilla paikalleen ja asennuksessa käytettiin uusia tiivisteitä.



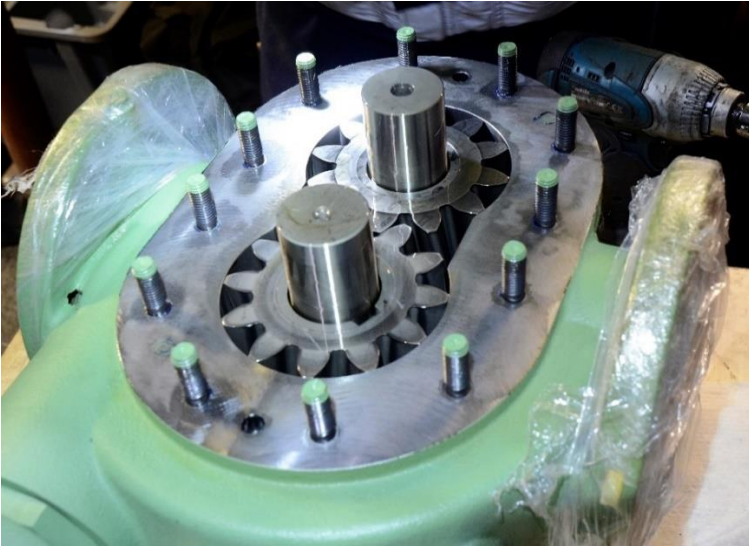
KUVA 76. Poistohöyryputken mutkassa korroosiota



KUVA 77. Poistohöyryputken puhdistaminen hiomalla

9.5 Öljyjärjestelmä

Pääöljypumpun päätylaipan alueella havaittiin öljyvuotoa. Päätylaippa irrotettiin ja pinnat puhdistettiin (KUVA 78). Päätylaipan ja pumpun rungon väliin laitettiin ohuesti Loctite 510 -tiivisteliimaa ja kiinnitysmutterit kiristettiin tasaisesti momenttiin. Pääöljypumpun kytkimen kytkintapit ja kumit olivat kuluneet, joten ne vaihdettiin uusiin (KUVA 79). Apu- ja hätäöljypumpuille ei tehty muuta kuin kytkinkumien kunnan tarkastus, jossa ne todettiin hyväkuntoisiksi. Öljyputkistossa havaittiin useita pieniä öljyvuotoja. Kaikki vuotavat liittokset avattiin ja niihin vaihdettiin uudet tiivisteet.

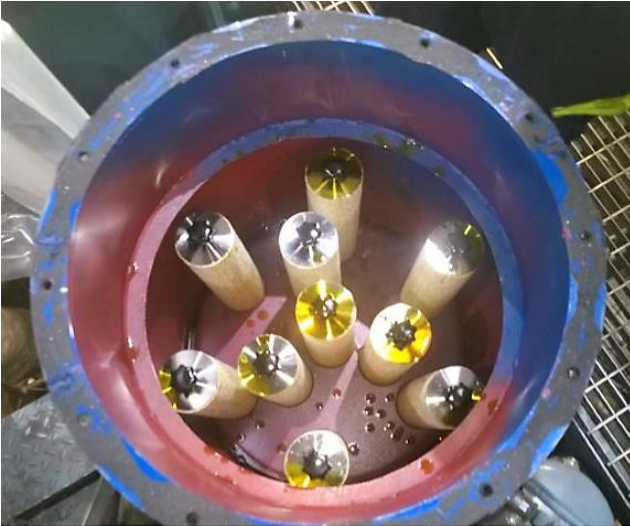


KUVA 78. Pääöljypumpun pätylaippa irrotettu



KUVA 79. Pääöljypumpun uudet kytkintapit

Öljynsuodattimien suodatinpatruunat pestiin polttoöljyllä ja tiskiharjalla. Myös varasuodattimet pestiin ja pakattiin hyvin varastointia varten. Suodattimien kansiin vaihdettiin uudet o-renkaat asennusvaiheessa. Öljysumuimurin suodattimet vaihdettiin uusiin ja koneikko puhdistettiin (KUVA 80). Öljysumuimurin putken hitsisaumat hitsattiin uudelleen, koska niissä epäiltiin vuotoa. Myös kumisen imuputken letkusiteet vaihdettiin uusiin kaksiosaisiin.



KUVA 80. Öljysumuimurin suodattimet

Öljyjäähdyttimet tyhjennettiin vesi-glykoliseoksesta. Jäähdyttimien putkistot poistettiin ja päädyt avattiin. Molempien jäähdyttimien päädyissä havaittiin tiivistevaurioita (KUVA 81). Jäähdytinputkistoissa havaittiin epäpuhtauksia, joten ne puhdistettiin sitä varten tehdyllä pitkävartisella puhdistusharjalla. Päädyt ja putkistot asennettiin uusilla tiivisteillä. Lopuksi glykolipiiri täytettiin uudella vesi-glykoliseoksella.



KUVA 81. Öljynjäähdyttimen tiivistevaurio

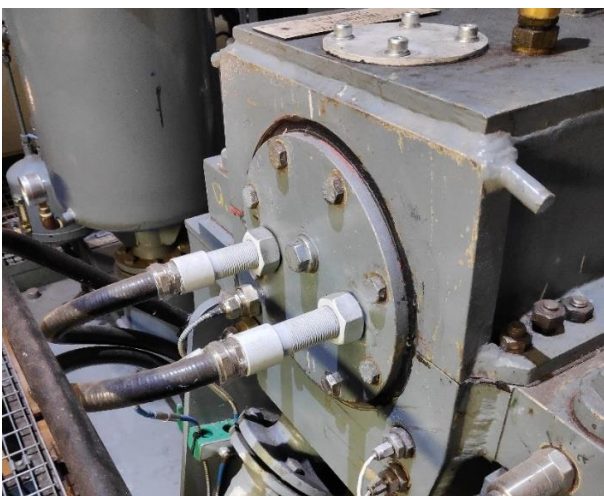
9.6 Muutostyöt

Generaattoriakselin vanha maadoitushiili todettiin riittämättömäksi ja sen tilalle päätettiin rakentaa uusi. Maadoitushiilen tarkoitus on estää laakerivirtojen syntyminen roottoriakselin ja rungon välille. Uudessa maadoitushiilessä on kaksi erillistä hiiltä, joiden vaihto onnistuu myös ajon aikana (KUVA 82).



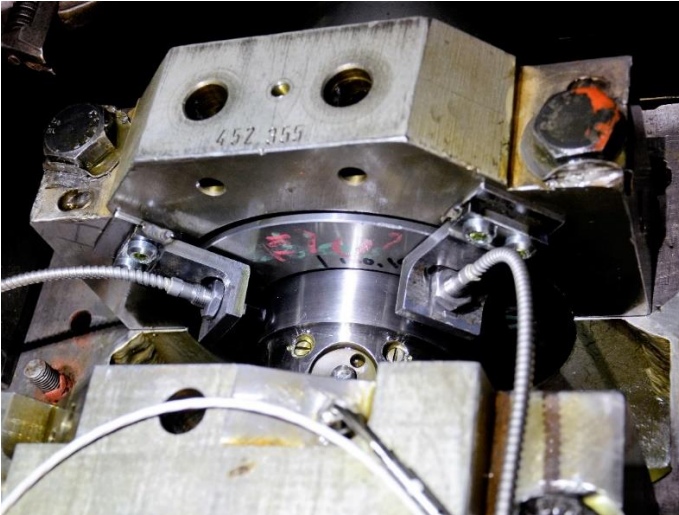
KUVA 82. Generaattoriakselin maadoitushiili

Turbiinin roottoriakselin vanha mekaaninen siirtymämittaus päätettiin korvata sähköisellä mittauksella, josta saataisiin reaaliaikainen tieto valvomoon. Sähköinen akselin siirtymämittaus toteutettiin asentamalla turbiinin eturungon pätyyn pyörrevirta-anturit, jotka mittaavat kosketusvapaasti ja erittäin tarkasti aksiaalsiirtymän. Kuvassa 83 näkyvät pyörrevirta-antureiden paikat turbiinin eturungossa.



KUVA 83. Turbiiniakselin sähköinen akselinsiirtymämittaus

Roottoriakselille lisättiin sähköiset värähtelymittaukset turbiinin etu- ja takapäähän radiaalilaakereiden läheisyyteen. Värähtelymittaukset toteutettiin pyörrevirta-antureilla. Turbiinin etupäässä antureille rakennettiin pidikkeet ylempään radiaalilaakerikanteen. Pyörrevirta-antureita on kaksi ja ne asennettiin 90° kulmaan toisiinsa nähden (KUVA 84). Turbiinin takapäässä pyörrevirta-anturit asennettiin rungon koteloon (KUVA 85). Anturien kulma on sama kuin etupäässä.



KUVA 84. Turbiiniakselin etupään värähtelymittaus



KUVA 85. Turbiiniakselin takapään värähtelymittaus

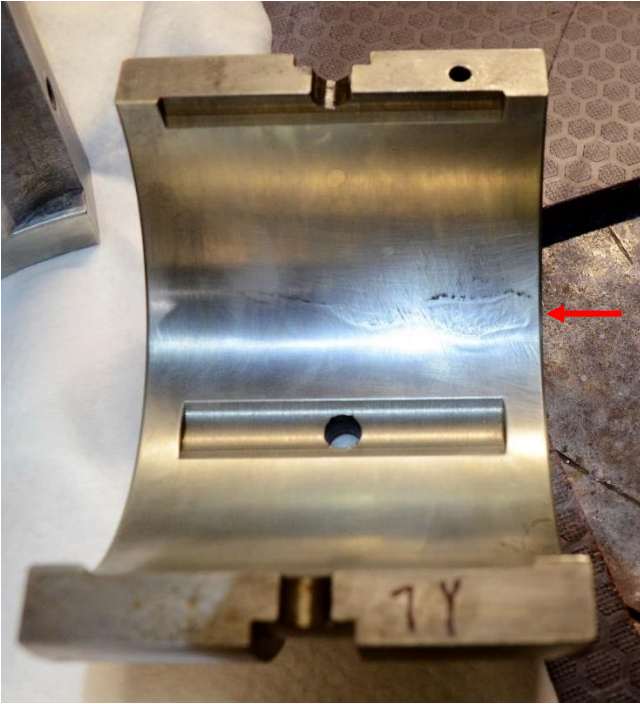
10 VAIHDELAATIKON TARKASTUKSET JA KUNNOSTUS

Vaihdelaatikon kunnostaminen aloitetaan irrottamalla laakereiden lämpötila-anturit ja avaamalla yläkannen kiinnityspultit. Seuraavaksi nostetaan yläkansi pois ja irrotetaan pääöljypumppu toisioakselilta. Tämän jälkeen saadaan vaihdelaatikon akselit ja laakeripukit näkyville ja voidaan aloittaa mittaukset ja tarkastukset. Vaihdelaatikolle tehdään erilaisia NDT-tarkastuksia ja mitataan välykset. Vaihdelaatikon kunnostamisen yhteydessä huolletaan myös paaksi sekä vaihdelaatikon ja generaattorin välinen kytkin. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään tarkemmin kyseisten komponenttien kunnostaminen.

10.1 Laakerit

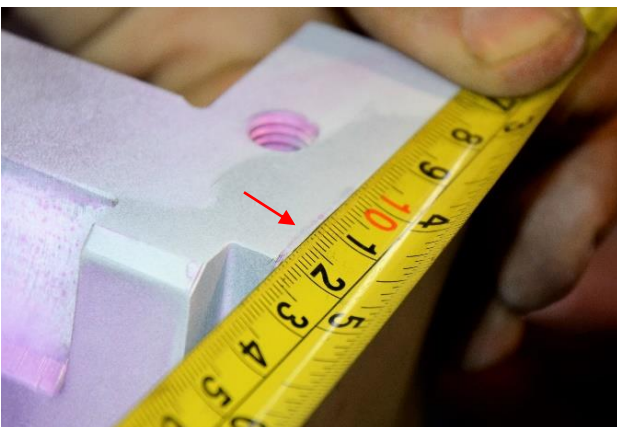
Ennen vaihdelaatikon laakerikansien avaamista mitattiin laakereiden välykset. Laakerivälysten mittaus suoritettiin laittamalla mittakello magneettijalan avulla mitattavalle akselille ja kohottamalla sitä alumiinisen rautakangen avulla. Ensiöakselin ykköslaakerin pystyvälitys oli 0,29 mm ja kakkoslaakerin 0,26 mm. Toisioakselin kolmoslaakerin pystyvälitys oli 0,47 mm ja neloslaakerin 0,50 mm. Toisioakselilla olevan painelaakerin päittäisvälykseksi mitattiin 0,21 mm.

Laakerivälysten mittaamisen jälkeen avattiin laakerikannet. Silmämääräisen tarkastuksen perusteella havaittiin ensiöakselin laakereissa pientä valkometallin sulamista (KUVA 86). Laakereille tehtiin siniväritarkastus, jossa todettiin ensiöakselilla olevan linjausvirhettä. Valkometallin sulamisen arveltiin johtuvan siitä, että ensiöakseli hieman taipuisi yliteholla ajettaessa ja näin aiheuttaisi linjausvirheen. Tätä oli kuitenkin hankala todentaa. Ensiöakselin linjausvirhe korjattiin kaavaamalla liukulaakerit suoraan akseliin nähden.



KUVA 86. Ensiöakselin liukulaakerin valkometalli sulanut

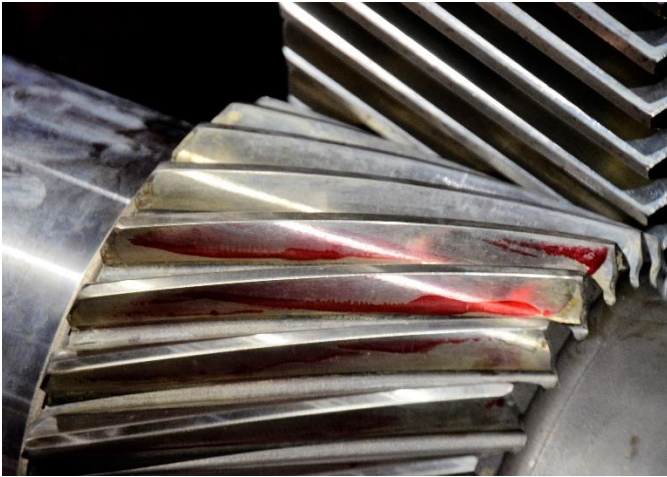
Vaihdelaatikon käytössä sekä varastossa oleville laakereille tehtiin tunkeumanestetarkastus, jossa todettiin toisioakselin ykköslaakerin alemman puoliskon painelaakerin reunassa särö (KUVA 87). Muuten laakereissa ei havaittu säröjä tunkeumanestetarkastuksen perusteella. Laakereille tehtiin myös ultraäänitarkastus, jonka perusteella valkometallipinnoite ei ollut irronnut (LIITE 6). Tunkeumanestetarkastuksessa havaitun särön kohtaa tutkittiin erityisen tarkasti, mutta valkometallin irtoamista ei havaittu ultraäänitarkastuksessa.



KUVA 87. Toisioakselin painelaakerin särö

10.2 Hammaskosketus

Vaihdelaatikon hammaspyörille suoritettiin hammaskosketusvärjäys. Menetelmässä väriainetta levitetään toiselle hammaspyörälle ja akseleita pyöritetään käsin paaksilla pyörimissuuntaan. Väriaine tarttuu niihin kohtiin, joissa on hammaskosketusta (KUVA 88). Hammaskosketusvärjäyksen perusteella hammaskosketus oli kunnossa. Hammasvälykseksi mitattiin välysmitalla 0,20 mm.



KUVA 88. Vaihdelaatikon hammaskosketusvärjäys

10.3 Paaksi

Paaksi eli akselinpyörityslaite kiinnittyy vaihdelaatikon ensiöakseliin SSS-kytkimen välityksellä. Paaksi koostuu kolmivaiheoikosulkumoottorista ja vaihteistosta. Vaihteistossa käytetään kierukkavälitystä eli matopyörävälitystä. Kierukkavälitys koostuu kierreruuvista eli matoruuvista ja kierukkapyörästä eli matopyörästä. Vaihteisto voidellaan sen sisällä olevalla öljyllä ja SSS-kytkin saa ruiskutusvoitelun turbiniöljyn paineella.

Paaksi oli vuotanut öljyä, joten se päätettiin purkaa ja huoltaa. Purkamisen jälkeen havaittiin laakereiden olevan vaihtokunnossa ja kierreruuvien kuluneen laakereiden ja tiivisteiden kohdalta. Kuvassa 89 on paaksista irrotettuna kierreruuvi ja kierukkapyörä laakereineen. Kierreruuvi lähetettiin pinnoitettavaksi Kokkolaan LCC:lle, jossa laakereiden ja tiivisteiden kohdat laserpinoitettiin ja koneistettiin. Kierreruuville ja kierukkapyörälle vaihdettiin uudet laakerit ja tiivisteet. Kierreruuvien kartiorullalaakereitten Välykseksi säädettiin 0,05 mm. Sähkömoottorin laakerit vaihdettiin myös uusiin ja sähköasentaja suoritti

moottorille tarvittavat mittaukset. Mittausten perusteella sähkömoottori oli kunnossa. Öljysäiliön täytökorkki korvattiin huohotin-tyyppisellä korkilla, jottei öljysäiliöön tulisi painetta. Vaihteistoon laitettiin 7 litraa VG 220 -tyyppistä vaihteistoöljyä. SSS-kytkimen painevoitelun läpivientiin vaihdettiin myös uudet laakerit ja tiivisteet (KUVA 90).



KUVA 89. Paaksi purettuna



KUVA 90. SSS-kytkimen painevoitelun läpivienti purettuna

10.4 Vaihdelaatikon ja generaattorin välinen kytkin

Vaihdelaatikon ja generaattorin välinen kytkin avattiin ja puhdistettiin vanhasta rasvasta (KUVA 91). Kytkimeen vaihdettiin uudet fluorikumiset o-renkaat, joiden lämmön ja kemikaalien kestävyys on hyvä. Kokoonpanon jälkeen kytkin täytettiin rasvalla, jonka määrä on 4,6 kg. Täyttö tapahtui rasvapuristimella kytkimen alapuolen täyttökorkista. Samaan aikaan yläpuolen korkin täytyi olla irti, jotta ilma pääsi pois kytkimen sisältä.



KUVA 91. Vaihdelaatikon ja generaattorin välinen kytkin avattuna

11 GENERAATTORIN TARKASTUKSET JA KUNNOSTUS

Työmaakokouksessa päätettiin, että generaattorin laakereita ei aukaista tämän revision yhteydessä. Generaattorin huoltoluukut avattiin ja tarkastettiin silmämääräisesti. Tarkastuksen perusteella generaattori oli hyvässä kunnossa ikäänsä nähden. Generaattorin sisällä oli jonkin verran pölyä ja rasvaa, jotka pyyhittiin pois. Laakereiden öljytaskut tyhjennettiin ja mittalasit puhdistettiin. Laakereille tulevien öljylinjojen rikkiäiset painemittarit uusittiin. Generaattorin N-pään öljykampatiiviste uusittiin samalla, kun mitattiin laakerivälkykset. N-pään laakerin ylävälitys oli 0,30 mm, vasen sivuvälitys 0,23 mm ja oikea sivuvälitys 0,16 mm. Generaattorin D-pään laakerivälkyksiä ei mitattu.

11.1 Herätinkone

Herätin- eli apumagnetointikone irrotettiin generaattorista kunnostusta varten. Irrotuksen jälkeen havaittiin kytkinkumin olevan turvonnut ja hauras. Kumista oli irronnut 9 grammaa painava pala, jonka epäiltiin aiheuttavan värinöitä generaattorin peräpäähän (KUVA 92). Herätinkoneen laakerit olivat myös vaihtokunnossa äänen perusteella. Herätinkone lähetettiin huoltoon Lappeenrantaan Empowerille, jossa sille tehtiin mm. sähköiset mittaukset, värähtelymittaukset ja laakereiden vaihto. Herätinkone asennettiin generaattoriin uudella kytkimellä.



KUVA 92. Herätinkoneen rikkoontunut kytkinkumi

11.2 Eristysvastusmittaus

Generaattorin staattorikäimitykselle suoritettiin eristysvastus- ja polarisaatioindeksimittaus (PI-mittaus). Kyseisten mittausten tarkoitus on kertoa käämityksen eristemateriaalin laatu. Eristemateriaalien laatu heikkenee ajan myötä eri tekijöiden johdosta. Heikentäviä tekijöitä ovat mm. mekaaniset, kemialliset, sähköiset ja lämpötiloihin liittyvät kuormitukset. Eristysvastus perustuu Ohmin lakiin. Vastus lasketaan syöttämällä tunnettu jännitearvo ja mittaamalla virran määrä. Mittalaite ilmoittaa vastusarvon Ohmeissa, mitattu arvo toimii kahden käämin välisen eristyksen sekä vuotovirran laadunilmaisimena. Eristysvastusmittauksessa testeri kiinnitetään generaattorin käämitykseen ja eristysjännitteen syöttö tapahtuu yleensä minuutin tai 30 sekunnin ajan. PI-mittauksessa tarvitaan kaksi mittauservoa. Mittausarvojen suhdeluku muodostaa polarisaatioindeksin, jota käytetään eristeen laadunilmaisimena. Polarisaatioindeksi määritellään seuraavan kaavan mukaisesti:

$$PI = R_{10 \text{ min}} / R_{1 \text{ min}} \quad (1)$$

jossa $R_{10 \text{ min}}$ on vastus 10 minuutin kohdalla ja $R_{1 \text{ min}}$ on vastus minuutin kohdalla. Polarisaatioindeksin yksikkö on Ohmi. Taulukossa 9 on esitetty, kuinka saatu PI-arvo tulkitaan. (Chauvin-Arnoux 2018.) Liitteessä 7 on generaattorin staattorikäimityksen PI-mittauksitulokset. Mittausten perusteella generaattorin staattorikäimityksen eristeet olivat kunnossa.

TAULUKKO 9. Saatujen PI-arvojen tulkinta (Chauvin-Arnoux 2018)

PI-arvo	Eristyksen kunto
< 2	Puutteellinen
2 – 4	Hyvä
> 4	Erinomainen

12 YLÖSAJO

Ennen turbiinin ylösajoa tehtiin helium-mittaus lauhteen korkean happipitoisuuden vuoksi. Lauhteen korkea happipitoisuus tarkoittaa, että jossain on imuvuoto, josta ilmaa pääsee vaihtimelle. Imuvuotoja löytyikin heliumin avulla turbiinin alapuolella olevan vesityksen pinnanmittausanturin laipasta ja lauhdepumppuista, joiden tyhjennysproput olivat jääneet laittamatta paikalleen.

12.1 Ylösajon aloitus

Turbiini laitettiin pyörimään paaksilla edellisenä päivänä ennen ylösajoa. Pikasulkuventtiilin toiminta testattiin ja päänhöyryputkea alettiin lämmittämään höyryllä. Pikasulkuventtiilin karan välistä alkoi vuotamaan höyryä, mutta se saatiin loppumaan kiristämällä tiivistepesän mutteria. Öljyjärjestelmän toimivuus testattiin sammuttamalla apuöljypumppu, jolloin hätäöljypumppu käynnistyi ja kun apuöljypumppu laitettiin takaisin päälle, hätäöljypumppu sammui. Turbiinin tiivistehöyrypesiin laitettiin höyry päälle, ettei vaihtimen happitaso nousisi.

Turbiinia ajettiin ylös ramppia pitkin, mutta generaattorin kytkeytyessä verkkoon, kytkeytyi se irti muutamana sekunnin kuluttua. Syy tähän löytyi rikkoutuneesta releestä turbiinisalin kaapissa. Rele antaa tiedon turbiinin automatiikalle generaattorikatkaisijan asennosta. Releen vaihdon jälkeen generaattori saatiin kytkettyä verkkoon ja tehoja nostettiin hitaasti ylöspäin. Kaikki toimi muuten hyvin, mutta turbiinin kakkoslaakerin lämpötila oli 85,7 °C eli hieman koholla. Turbiini jätettiin tuotantoon yöksi 5,5 MW:n teholla.

Seuraavana päivänä turbiinia käytettiin 6,4 MW:n teholla, jolloin turbiinin kakkoslaakerin lämpötila oli 82,6 °C ja vaihdelaatikon ensiöakselin laakereitten lämpötilat 101,6 °C ja 105,6 °C. Sovittiin, että seurataan laakerilämpötiloja käytön aikana. Myöhemmin, kun käyttöä oli jatkettu joitakin päiviä, olivat laakerilämmöt tasoittuneet. Turbiinin kakkoslaakerin lämpötila oli asettunut 82 °C:een ja vaihdelaatikon ensiöakselin lämpötilat olivat laskeneet alle sadan asteen, ollen noin 98 – 99 °C.

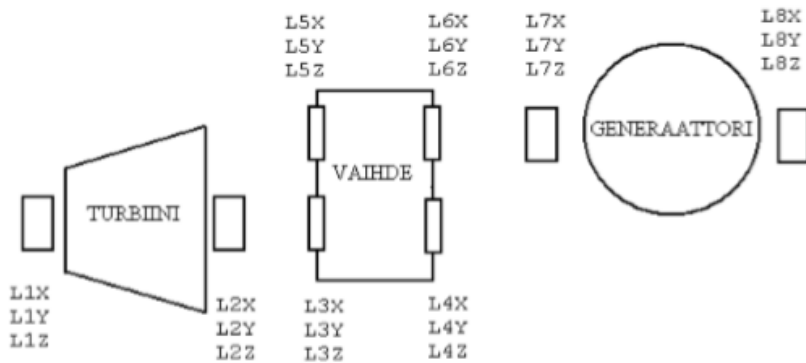
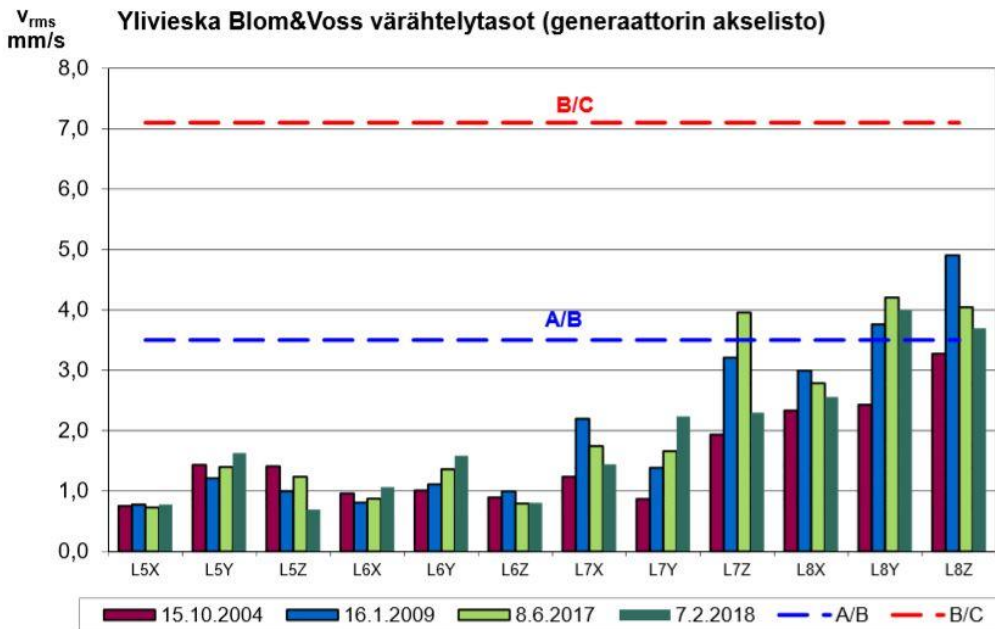
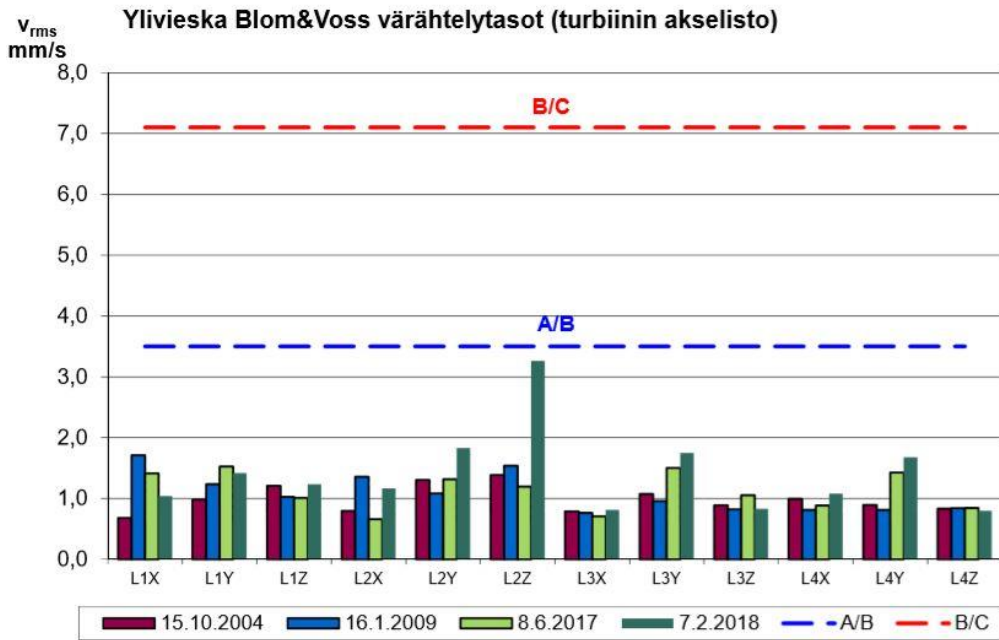
12.2 Ylösajon värähtelymittaukset

Fortum Power And Heat Oy suoritti turbiinin ylösajon värähtelymittaukset. Mittaukset tehtiin käyttämällä kiinteitä akselivärähtelyantureita sekä erillisiä magneettikiinnitteisiä värähtelyantureita. Värähtelymittaukset suoritettiin kierrostennoston ja tuotantoajon aikana. Yleisesti värähtelyt pysyivät pieninä kierrostennostossa ja käyttäytyivät samalla tavalla kuin kesäkuussa 2017 tehdyssä alasajon värähtelymittauksessa. Taulukossa 10 on esitetty laakerivärähtelyistä kriittiset ja rakenteellisesti merkittävät pyörimisnopeudet kierrostennostossa. (Vimpari 2018.)

TAULUKKO 10. Kriittiset pyörimisnopeudet akselivärähtelyistä kierrostennostossa (Vimpari 2018)

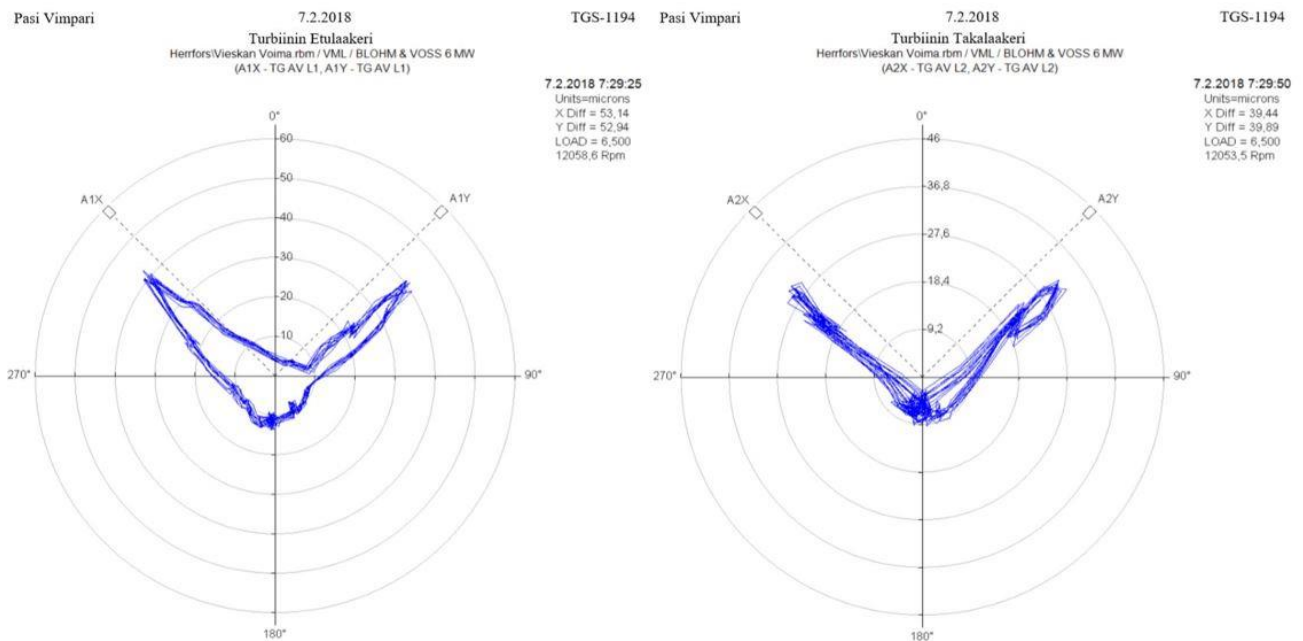
Kriittiset pyörimisnopeudet kierrostennostossa	
Turbiinin etulaakeri	6330 rpm
Turbiinin takalaakeri	6500 rpm, 7360 rpm
Pyörimisnopeudet, joilla esiintyy merkittävintä rakenteellista värähtelyä kierrostennostossa	
Turbiinin etulaakeri	4990 rpm, 7520 rpm, 8440 rpm, 9960 rpm
Turbiinin takalaakeri	4810 rpm, 6670-7470 rpm, 7680 rpm, 8280 rpm, 9200 rpm, 10970 rpm
Vaihdelaatikko ensiöakseli	6380 rpm
vaihdelaatikko toisioakseli	840 rpm, 960 rpm, 1120 rpm, 1230 rpm, 1300 rpm, 1390 rpm
Generaattori etulaakeri	840 rpm, 980 rpm, 1130 rpm, 1300 rpm
Generaattori takalaakeri	840 rpm, 960 rpm, 1100 rpm, 1320 rpm

Tuotantoajon värähtelymittaukset suoritettiin normaalin tasaisen tuotantoajon aikana 6,5 MW:n teholla. Akselivärähtelyt mitattiin kiinteiden pyörrevirta-antureiden ulostuloista ja laakerivärähtelyt magneettikiinnitteisiltä kiihtyvyyssantureilta. Värähtelyissä ei tapahtunut merkittäviä muutoksia koneiston lämpenemisen ja kuormitusmuutosten aikana. Turbiinin aksiaalisen laakerivärähtelyt muuttuivat hieman kuormituksen vaihteluiden mukaan. Värähtelyt pysyivät lähes samalla tasolla kuin ennen revisiota tehdyssä alasajomittauksessa. Turbiinin takalaakerin aksiaalinen värähtelytaso V_{rms} oli kasvanut 1,2 millimetristä sekunnissa 3,3 millimetriin sekunnissa. Kuviossa 11 on esitetty ylösajon värähtelymittausten kokonais- ja tuotantoajon värähtelytasot kuuluvat standardien mukaan luokkaan B. Luokkaan B sijoittuvat koneen soveltuvat yleensä normaaliin pitkäaikaiseen käyttöön. Värähtelymittausten suorittajan mukaan turbogeneraattori oli normaalissa käyttökunnossa värähtelyiden osalta. (Vimpari 2018.)



KUVIO 10. Ylösajon värähtelymittausten kokonaistasot (Vimpari 2018)

Muutostöissä turbiinille lisättyjen akselivärähtelyjä mittaavien pyörrevirta-antureiden signaalista voidaan havaita, etteivät ne toimi täysin luotettavasti. Ratakäyrän kuvat osoittavat, että antureista tulee häiriöitä mittauksiin (KUVIO 12). Ratakäyrissä on havaittavissa piikit antureiden suuntaan, joten todennäköisesti antureita pitkin tulee virtoja. Tämä kasvattaa todellista akselivärähtelyarvoa. Värähtelymittausten suorittajan mukaan lisättyjä pyörrevirta-antureita kannattaa tutkia tarkemmin. Mikäli anturit johtavat akselivirtoja, on laakereiden lämpötiloja hyvä tarkkailla. (Vimpari 2018.)



KUVIO 11. Pyörrevirta-antureiden suodattamattomat ratakäyrät 6,5 MW:n teholla (Vimpari 2018)

13 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Turbiinirevisio kesti kaikkiaan noin puoli vuotta. Alkuperäinen aikataulu viivästyi kolmellatoista viikolla Energetecillä tapahtuneen vahingon vuoksi. Vahinko aiheutti viivästystä sähköntuotantoon, mutta kaukolämpöä pystyttiin silti tuottamaan reductioventtiilin kautta. Revisiota voidaan kuitenkin pitää kaiken kaikkiaan onnistuneena viivästyksestä huolimatta.

Turbiinilla oli ennen revisiota takanaan noin 150000 käyttötuntia. Mittausten ja NDT-tarkastusten perusteella koko turbolaitteisto on hyvässä kunnossa ikäänsä nähden. Jäljennetarkastuksissa ei havaittu virumisen merkkejä turbiinin osissa eikä höyryputkistossa. Tämän perusteella voidaan olettaa laitteistolla olevan vielä paljon käyttötunteja jäljellä. Turbiinin ylösajo sujui pienten säätöjen jälkeen hyvin, joten turbiini jätettiin tuotantoon. Turbolaitteisto toimii moitteetta ja hyötysuhde nousi hieman.

Ylösajon aikana havaitut korkeat laakerilämmötkin laskivat ajan myötä normaalille tasolle. Värähtelymittausten perusteella turbolaitteisto kuuluu standardien mukaan luokkaan B. Tähän luokkaan sijoittuvat koneet soveltuvat yleensä normaaliin pitkäaikaiseen käyttöön. Jatkoa ajatellen vaihdelaatikon laakerit olisi hyvä tarkastaa seuraavan kesän huoltoseisokin aikana, jotta nähtäisiin, miten linjausvirheen korjaaminen kaavaamalla on onnistunut. Poistohöyryventtiilin tiiveysongelmat eivät myöskään tulleet täysin kuntoon revision yhteydessä, joten sen uudelleen kunnostamista kannattaa harkita.

Kaikesta näkee kuitenkin, että turbolaitteistosta on pidetty hyvää huolta. Huollot on tehty ajallaan ja automaatiota on vuosien varrella modernisoitu ja lisätty ja ongelmiin on tartuttu heti niiden ilmettyä. Voimalaitoksen henkilökunta on todella motivoitunutta huolehtimaan niin turbolaitteiston kuin koko voimalaitoksenkin kunnosta ja toimivuudesta. Tämä varmaankin selittää osaltaan turbolaitteiston hyvän kunnon.

Tätä opinnäytetyömuodossa olevaa dokumenttia voidaan käyttää tukena tulevien huoltojen ja revisioiden suunnittelussa ja työssä. Seuraavaan revisioon on huomattavasti helpompi valmistautua perehtymällä ensin tähän opinnäytetyöhön. Dokumentointia kannattaakin jatkaa tulevien revisioiden ja huoltojen yhteydessä. Kaikki sähköisessä muodossa oleva materiaali, joka liittyy turbiinirevisioon, on tallennettu Herrforsin palvelimelle. Palvelimelta löytyvät opinnäytetyön lisäksi lisäkuvat, mittapöytäkirjat ja muut revisioon liittyvät materiaalit. Revisioon liittyen on voimalaitoksella olemassa myös turbiinirevisio 2017 -niminen kansio, josta löytyvät muut kuin sähköisessä muodossa olevat asiakirjat.

LÄHTEET

Alho, K. 2017. Henkilökohtainen tiedonanto. Keskustelu. 20.9.2017.

Alhon Huolto Oy. 2017. Purkuvaiheen linjausmittausraportti. Masku.

Alhon Huolto Oy. 2018. Kokoonpanovaiheen linjausmittausraportti. Masku.

Artikel Teknologi Indonesia. 2018. Sistem Sealing Pada Turbin Uap. Saatavilla: <https://artikel-teknologi.com/sistem-sealing-pada-turbin-uap/> . Viitattu 21.11.2018.

Chauvin-Arnoux. 2018. Eristysvastuksen mittausopas. Saatavilla: <https://chauvin-arnoux.fi/wp-content/uploads/2014/07/Eristysvastuksen-mittausopas.pdf>. Viitattu 12.12.2018.

Dampfturbinen. Turbiinin huoltokansio. 1993.

Hautamäki, J. 2015. Mankala-periaate Suomen energiateollisuudessa. Saatavilla: <http://nordiclaw.fi/mankala-periaate-suomen-energiateollisuudessa/>. Viitattu: 2.5.2018.

Herrfors. 2018. Herrfors – meistä – historia. Saatavilla: <https://www.herrfors.fi/meista/historia/>. Viitattu: 2.5.2018.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2016. Voimalaitostekniikka. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Joronen, T., Kovács, J. & Majanne, Y. 2007. Voimalaitosautomaatio. 2. painos. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.

Katternö. 2012. Katternö – yhteistyön historiaa. Saatavilla: <https://www.katterno.fi/katterno/historia-2-fi-fi/>. Viitattu: 23.4.2018.

Katternö. 2018. Katternö yhtiöiden vuosikertomus. Saatavilla: <https://www.herrfors.fi/katterno-fi-fi/julkaisut/> . Viitattu: 13.11.2018.

Kauppinen, J. 2018. Turbiinitekniikka. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Keinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Korpinen, L. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus – vastapainevoima. Saatavilla: http://www.leenakorpi-nen.fi/archive/svty_opus/3d_vastapainevoima.pdf. Viitattu: 14.5.2018.

Lähteenlahti, V. 2005. Erään voimalaitoksen turbolaitteiston suurevisio ja vaihdelaatikon muutokset. Satakunnan ammattikorkeakoulu, Tekniikan Porin yksikkö. Energia- ja laivakonetekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte.

Makkai, M. 2017. Henkilökohtainen tiedonanto. Keskustelu. 20.9.2017.

Pennala, E. 1999. Koneiden ja rakenteiden värähtelyt. Helsinki: Yliopistokustannus / Otatieto.

Röntynen, V. 2016. Turbiinirevision dokumentointi. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäyte. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/105314/Rontynen_Vesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 18.11.2018.

SFS-ISO 10816-3. Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ. 2009. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-ISO 7919-3. Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts. Part 3: Coupled industrial machines. 2009. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Vimpari, P. 2017. Vieskan Voiman turbiini-generaattorin kuntotesti kesäkuussa 2017. Espoo: Fortum.

Vimpari, P. 2018. Vieskan Voima, Ylivieskan voimalaitoksen turbiini-generaattorin värähtelyt revision 2017-2018 jälkeen. Espoo: Fortum.

Ylivieskan voimalaitos. Energiatuotantoa kotimaisista polttoaineista. 1994. Lahti: A. Ahlström Osakeyhtiö & Vieska Energia Oy.

YTJ. 2018. Yritys- ja yhteisötietojärjestelmä – Kaupparekisteri- ja säätiörekisteritiedot. Saatavilla: <https://tietopalvelu.ytj.fi/yritystiedot.aspx?yavain=82755&tarkiste=41B459FAD5CEC9936EE22B7EE7874920EA167354>. Viitattu 2.5.2018.

Valmistajan ilmoittamat arvot höyryturbiinille

Blom & Voss AG, Hamburg	
Teho	6050 kW
Nimelliskierrosnopeus	12000 1/min
Pikasulkukierrosluvut	13200/1690 1/min
Höyrynpaine	61 bar abs
Höyryn lämpötila	510 °C
Höyrymäärä	29,5 t/h = 8,2 kg/s
Poistohöyryn paine	0,675bar abs
Poistohöyryn lämpötila	89 °C (max 220 °C)
Pyöräkammion höyrynpaine	19,7 bar abs
Pyöräkammion höyrylämpötila	394 °C
Väliottohöyryn määrä	2,3 t/h = 0,64 kg/s
Väliottohöyryn lämpötila	241 °C
Väliottohöyryn paine	5,4 bar abs

Valmistajan ilmoittamat arvot vaihdelaatikon

Flender SEGS 630 vm. 1993	
Teho	6535 kW, maksimiteho 6860 kW (+5 %)
Kierrosluku	12060 / 1500 1/min (ratio 8,04)
Öljyntarve	230 l/min
Öljynpaine	2,5 bar
Paino	6400 kg

Valmistajan ilmoittamat arvot generaattorille

ABB Strömberg HSG 710XS4	
Teho	7765 kVA
Kierrosluku	1500 1/min
Jännite	6300 V
Taajuus	50 Hz
Cos φ	0,8

Turbiinin laakereiden tunkeumanestetarkastuspöytäkirja

DEKRA Industrial Oy

Tuupakankuja 1
01740 VANTAA
Tel. (09) 878 020 Fax (09) 878 6653

Tunkeumanestetarkastuspöytäkirja
Liquid Penetrant Inspection Report


Pöytäkirjan nro Report No. D29695

Tilaja Contractor Alhon huolto Oy	Työnro Work No. -	Asiakas Customer -	Työnro Work No. -
Laitos Station DEKRA Industrial Oy / Metallilaboratorio		Valmistaja, asentaja Manufacturer, installed by -	Työnro Work No. -
Tarkastuskohde Inspection object Laakerien pinnoitteen tarkastus.		Piirustus nro Drawing No. -	

Hitsin tunnus / Hitsaaja Weld identification / Welder Pinnoite	Perusaine Base material -
Pinnan laatu Surface condition Pesty	Lämpötila Temperature 18°C
	Lämpökäsittely Heat treatment Ei lämpökäsittelyä

Tekniikka Technique Väriäinen	Esipuhdistin Cleaner Bycotest C 10	Eränro Batch No. 151105
Tunkeuma-aika Penetration time 30 min	Tunkeumaneste Penetrant Bycotest RP 20	Eränro Batch No. 150205
Tunkeumanesteen poisto Penetrant removal Liuotin	Puhdistin Cleaner Bycotest C 10	Eränro Batch No. 151105
Kehitysaika Developing time 15 min	Kehite Developer Bycotest D 30Plus	Eränro Batch No. 151101
Tarkastuspvm Insp. date 15.09.2017	Tarkastuspaikka Inspection place Turku	Valaistus Light Led Lencer
	Tunnus ID -	Etäisyys Distance -

Tarkastusohje Inspection procedure SFS-EN ISO 3452-1	Tarkastuslaajuus Extent of inspection 100%
Laadunmääritysasiakirja Quality document SFS-EN ISO 23277	Laatuvaatimus Quality requirement SFS-EN ISO 23277 2X

Tulokset Results

Tarkastettu:

1-Laakeri
2-Laakeri
SB01-09 Turbiinin radiaalilaakeri
SB01-08 Laakeri
Painelaakeri

Liitteet Appendix	0	sivua pages
-------------------	---	-------------

Tarkastustulokset Results of inspection	<input checked="" type="checkbox"/> Täyttävät vaatimukset Comply with the requirements	<input type="checkbox"/> Eivät täytä vaatimuksia Do not comply with the requirements
--	---	---

Tarkastaja Inspector Mika Määttä, Nordtest 7200 IWI-C F100266		Pätevyys Qualification <input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 9712/Nordtest Level 2 <input checked="" type="checkbox"/> SNT-TC-1A Level 2 <input checked="" type="checkbox"/> STUK	
Pvm ja allekirjoitus Date and signature 15.9.2017 Mika Määttä			

Turbiinin laakereiden ultraäänitarkastuspöytäkirja

DEKRA Industrial Oy

Tuupakankuja 1
01740 VANTAA
Tel. (09) 878 020 Fax (09) 878 6653

Ultraäänitarkastuspöytäkirja
Ultrasonic Inspection Report


Pöytäkirjan nro Report No.

D29699

Tilaaaja Contractor Alhon huolto Oy	Työnro Work No. -	Asiakas Customer -	Työnro Work No. -
Laitos Station DEKRA Industrial Oy / Metallilaboratorio		Valmistaja, asentaja Manufacturer, installed by -	Työnro Work No. -
Tarkastuskohde Inspection object Laakerien pinnoitteen tarkastus		Piirustus nro Drawing No. -	

Hitsin tunnus / Hitsaaja Weld identification / Welder Pinnoitteen tartunta.		Perusaine Base material -	
Liitosmuoto Joint type -	Railon muoto Welding prepar. -	Seinämä Wall thickness [mm] -	Halkaisija Diameter [mm] -
Pinnan laatu Surface condition Koneistettu	Lämpötila Temperature 18°C	Lämpökäsittely Heat treatment Ei lämpökäsittelyä	

Tarkastuslaite Equipment Krautkrämer 35X		Tunnus ID 19	Tarkistuskappale Calibration block V2		Tunnus ID 158
Luotainkulma Probe angle [°] 0			Mitta-alue Time base range 0-50	Kytentäaine Couplant Öljy	
Tunnus ID 2109			Vertailukappale Reference block Tunnus ID -		
Taajuus Frequency [MHz] 4			Vertailuheijastaja Reference reflector Takaseinä		
Koko Size 10			Arv.raja Eval. level -	Rap.raja Rep. level -	Hyv.raja Acc. level -
Perusvahvistus [dB] Reference level [dB] 55			Siirtymiskorjaus [dB] Transfer correction [dB] 0		
Laitte täyttää standardin EN 12668-3 vaatimukset Equipment comply with the requirements of standard EN 12668-3			<input checked="" type="checkbox"/>		
Tarkastuspvm Insp. date 15.09.2017	Tarkastuspaikka Place Turku		Muut tiedot Other information Käytetty takaseinätekniikkaa.		
Tarkastusohje Inspection procedure ISO 4386-1		Tarkastustaso Inspection level	Tarkastuslaajuus Extent of inspection 100%		
Laadunmääritysasiakirja Quality document ISO 4386-1		Laatuvaatimus Quality requirement ISO 4386-1			



Tulokset Results

Tarkastettu:

1-Laakeri
2-Laakeri
SB01-09 Turbiinin radiaalilaakeri
SB01-08 Laakeri
SB01-02 Painelaakerin osat
Painelaakeri

Liitteet Appendix **0** sivua pages

Tarkastustulokset Results of inspection	<input checked="" type="checkbox"/> Täyttävät vaatimukset Comply with the requirements	<input type="checkbox"/> Eivät täytä vaatimuksia Do not comply with the requirements
--	---	---

Tarkastaja Inspector Mika Määttä, Nordtest 7200 IWI-C FI00266	 Pätevyys Qualification <input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 9712/Nordtest Level 2 <input type="checkbox"/> SNT-TC-1A Level 2 <input checked="" type="checkbox"/> STUK	 Finnish Accreditation Service 1009 (EN ISO/IEC 17020) (Tyyppi A / Type A)
Pvm ja allekirjoitus Date and signature 15.9.2017 Mika Määttä		

Liukulaakereiden ultraäänitarkastuspöytäkirja

TARKASTUSPÖYTÄKIRJA
ULTRAÄÄNITARKASTUSEXAMINATION REPORT
ULTRASONIC EXAMINATION

Työ no / Work no / Reporti no. Report no. 6096 17 227 001
Sivu / Page 1/1

Tilaaja / Contractor Vieskan Voima Oy / Herrfors		Valmistaja, asentaja / Manufacturer, installed by Blohm & Voss	
Laitos / Plant Herrfors, Ylivieska		Paikka / Site Turbiinisali	
Tarkastuskohde, piirustus n:o / Examined item, no of drawing Herrfors Ylivieska, vaihdelaatikon liukulaakerit, valkometallipinnoitteen tarkastus. Tarkastettu käytössä olleet turbiini- ja generaattoriakselin liukulaakerit, lisäksi 2 kpl varalla olleita ja 2 kpl uusia liukulaakereita.			
Tarkastuslaajuus / Scope of testing 100% <input checked="" type="checkbox"/> 10% <input type="checkbox"/> Pistokeo / Spotcheck <input type="checkbox"/> Ohjeen mukaan / Acc. to procedure <input type="checkbox"/> (piirustuksissa olevat merkinnät)			
Rakennemateriaali / Base material valkometalli		Railon muoto / Groove shap -	
Hitsausohje tai lisäaine/hitsausmenetelmä / Welding procedure or filler material/welding method -			
Tarkastus pvm. / Date of testing 19.9.2017		Valmistusvaihe / Fabrication condition käytössä	
		Lämpökäsittely / Heat treatment Kyllä/Yes <input type="checkbox"/> Ei / No <input type="checkbox"/>	
Tarkastuksen suositusohje / Examination procedure suoraluotaus		Hyväksymisraja / Acceptance Criteria valkometalli ei irti	
		Tarkastustaso / Class of tech. <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C	
Pinnan laatu / Surface condition koneistettu		Kohteen lämpötila / Temperature of object 20 C	
Asiakirja joka määrittelee laadun / Document, which defines the quality -			

Perusaineen tarkistus Examination of base material	OK	Laitte Equipment	Epoch 600	Luotain Probe	160	Kalibrointi Calibration	backwall	Vahvistus Amplification	54
Laitte / no. Equipment id. NDK 011		Perusaine paksuus / Base material thickness n.5 mm	Etäisyysasteikko / Time base range 0-20-50-100	Luotaimet Probes	1	2	3	4	
Vertailukappale ja vertailutaso / Reference block and calibration -				Koko Size	4x2				
Vahvistus dB / Sensitivity level dB 50-65 dB				Taajuus Frequency	5				
Siirtymäkorjaus / Transfer correction -				Kulma Angle	0				
Kytentäaine / Couplant liisteri		Merkintä / Mark DHL711		Tunnus Identification	077				

Tarkastustulokset / Examination results
Rajapinta antoi tasaisen näyttämän. Lisäksi luodattiin siten että rungon taustakaiku näkyi n 80 % näytöstä. Kaiku pysyi vakaana luotauksen ajan siellä missä rungon muoto sen mahdollisti. Ei muutoksia edellisiin tarkastustuloksiin. Verrattuna uusiin liukulaakereihin antoivat käytössä olleet samanlaisen näyttämän.

Tarkastuksen perusteella pinnoite ei ollut irronnut.

Lisätietoja / Supplementary information

Laitte ja luotaimet tarkistettu EN 12668-3 mukaan / Equipment and probes checked according to EN 12668-3

Vaatimustaso / Quality requirement <input checked="" type="checkbox"/> Täyttyy / Is satisfied <input type="checkbox"/> Ei täyty / Is not satisfied	Tarkastaja / Inspector Kari Salli SFS-EN 473 Level 2 Cert no.6096-UT2 Allekirjoitus / Signature 	Päiväys / Date 20.9.2017
--	---	---------------------------------

Polarisaatioindeksimittauksen tulokset



GENERATOR POLARIZATION INDEX (PI) TEST



DATE 06.02.2018 PAGE 1

AMBIENT TEMP. 20 °C JOB # _____

SUBSTATION Perhonjoki HUMIDITY _____ % ASSET ID _____

POSITION Ylivieskan voimalaitos TEST STATUS Pass

EQUIPMENT LOCATION Ylivieska

GENERATOR NAMEPLATE DATA:

GENERATOR MFR. ABB Strömberg MODEL NO. HSG 710X54 S/N _____

KVA 7765 KW _____ VOLTS (KV) 6.3 AMPS 711 PHASE 3 FREQUENCY 50 RPM 1500

GENERATOR CONTROL MFR. _____ MODEL NO. _____ S/N _____

GOVERNOR MFR. _____ YEAR MANUF. _____ TYPE STEAM

VOLTAGE REG. PHASE TO GROUND TEST VOLTAGE 2.5 KVDC Enter TCF Manually: YI TEMPERATURE CORRECTION FACTOR TO 20 °C 1

CORE/COIL TEMPERATURE 20 °C Use Instrument PI Value: INSULATION TYPE DRY

MINUTES	PHASE A TO GROUND			PHASE B TO GROUND			PHASE C TO GROUND		
	READING (megohms)	TEMP. CORR. FACTOR	20°C READING (megohms)	READING (megohms)	TEMP. CORR. FACTOR	20°C READING (megohms)	READING (megohms)	TEMP. CORR. FACTOR	20°C READING (megohms)
0.25	3300			3700			8800		
0.50	13000			17000			16000		
0.75	27000			23000			25000		
1.00	34200			30300			28500		
2.00				53000			48000		
3.00	80000			73000			65000		
4.00	70000			38000			75000		
5.00	∞			105000			95000		
6.00				∞			∞		
7.00									
8.00									
9.00									
10.00									
POLARIZATION INDEX									

POLARIZATION INDEX = 10 MINUTE READING / 1 MINUTE READING

MINUTES	PHASE A TO B			PHASE B TO C			PHASE C TO A		
	READING (megohms)	TEMP. CORR. FACTOR	20°C READING (megohms)	READING (megohms)	TEMP. CORR. FACTOR	20°C READING (megohms)	READING (megohms)	TEMP. CORR. FACTOR	20°C READING (megohms)
0.25	13300			13400			20200		
0.50	33000			33000			35000		
0.75	48000			47000			49000		
1.00	57200			60000			62700		
2.00	97000			102000			704000		
3.00	∞			∞			∞		
4.00									
5.00									
6.00									
7.00									
8.00									
9.00									
10.00									
POLARIZATION INDEX									

TEST EQUIPMENT USED: Kyoritsu KEW3125A

TESTED BY: Tom Aho