

Niko Hoisko

# Höyryturbiinirevision tarkastukset ja mittaukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

30.7.2013

Tekijä Otsikko	Niko Hoisko Höyryturbiinirevision tarkastukset ja mittaukset
Sivumäärä Aika	46 sivua + 2 liitettä 7.7.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaaja(t)	Laboratorioinsinööri Tomi Hämäläinen Tuotepäällikkö Hanna Reunanen, Siemens Osakeyhtiö
<p>Insinööriyön tehtävänä oli laatia höyryturbiinin täysrevision mittauksista ja tarkastuksista yhteenveto Siemens Osakeyhtiölle. Raporttia hyödynnettäisiin yhtiön toimistohenkilökunnan tiedon kartuttamiseen. Työ toteutettiin keräämällä tietoa revisiotyömaalla keskusteluista asentajien kanssa ja kuvia ottamalla tärkeistä tarkastus- ja mittauskohteista. Revisiotyömaalla tapahtuneen tiedonkeruujakson päätyttyä jatkettiin tiedonkeräystä tutustumalla aikaisempien revisioiden mittaus- ja tarkastuspöytäkirjoihin sekä kirjallisuuteen.</p> <p>Työn teoriaosuudessa käydään läpi ensin höyryturbiinin yleistä teoriaa, jonka jälkeen perehdytään tarkemmin höyryturbiinihuollon strategiaan. Työn seuraavassa osiossa tutustutaan turbiinin tärkeimpiin tarkastuskohteisiin ja tarkastustekniikoihin. Viimeisessä osassa kuvataan revision aikana tehtävät tärkeimmät mittaukset.</p> <p>Raportti kertoo täysimittaisen höyryturbiinirevision tärkeimmistä tarkastuksista ja mittauksista. Tuloksissa todetaan niiden tärkeys osana höyryturbiinirevision onnistumista ja turbiinin käyttövarmuuden paranemista. Raportissa myös sivutaan vuositarkastuksia ja osarevisioiden suorittamista. Yhteenvetona huomattiin höyryturbiinihuollon kokonaisuuden onnistuminen tärkeäksi. Kokonaisuus koostuu vuositarkastuksista, rajoitetuista revisioista ja täysimittaisista revisioista. Revisioiden tarkoitus on palauttaa turbiinin kunto lähelle alkuperäistä tasoa. Tärkeää on kokonaisuuden hallinta vuosittaisissa tarkastuksissa ja revisioissa, jotta saavutettaisiin höyryturbiinin hyvä käytettävyys.</p>	
Avainsanat	Turbiinirevisio, höyryturbiini, tarkastukset, mittaukset

Author Title	Niko Hoisko Inspection and Measurement During Overhaul of a Steam Turbine
Number of Pages Date	46 pages + 2 appendices 07 July 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environment
Instructor(s)	Tomi Hämäläinen, Laboratory engineer Hanna Reunanen, Product Manager, Siemens Ltd.
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to draw up a summary of the inspections and measurements of a major overhaul of a steam turbine for Siemens Ltd. In the future, this report will be used to train the company's office staff. The research work was carried out by collecting information from an overhaul site by discussing with installers and taking pictures of important inspection and measurement objects. After the data collection period at the overhaul site ended, the data collection period was continued by researching literature and the measurement and verification protocols from the previous overhauls.</p> <p>To start with, the theoretical part presents the general steam turbine theory after which the maintenance strategy of steam turbines is examined in more detail. In addition, the thesis investigates the most important inspection objects and inspection techniques of the turbine. Finally, the most important measurements made during the overhaul are presented in the last section of the thesis.</p> <p>The thesis presents the most important inspections and measurements made during a major overhaul. In the concluding remarks, the importance of the inspections and measurements to the success of the overhaul and usability of turbine were highlighted. The report also discussed the topic of annual inspections and minor overhaul implementations. As a conclusion, it was discovered that the overall success of all the steam turbine overhauls is important. The set of overhauls consists of annual inspections, minor overhauls and major overhauls. The purpose of the overhauls is to restore the condition of the turbine close to the original condition. In conclusion, the overall management of the annual inspections and overhauls is important in order to achieve good steam turbine usability.</p>	
Keywords	Turbine overhaul, steam turbine, inspections, measurements

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleisesti höyryturbiineista	1
2.1	Turbiinin rakenne	2
2.2	Lauhde- ja vastapaineturbiinit	3
2.3	Aktioturbiinin ja reaktioturbiini erot	3
3	Höyryturbiinin huolto	4
3.1	Yleisesti	5
3.2	Huoltovälit	6
3.3	Kolmivaiheinen huollon standardikonsepti	7
3.3.1	Vuositarkastus	7
3.3.2	Osarevisio	8
3.3.3	Täysirevisio	9
4	Huollettavan höyryturbiinin teknistä tietoa	10
5	Täysrevision yhteydessä tehtävät tarkastukset	12
5.1	Yleistä	12
5.2	Tarkastettavat kohteet	12
5.3	Turbiinirakenteista löytyvät yleisimmät vauriot	14
5.3.1	Mekaaninen vaurio	15
5.3.2	Likaantuminen	16
5.3.3	Viruminen	17
5.3.4	Korroosio	18
5.3.5	Eroosiokorroosio ja eroosio	20
5.4	Tarkastusmenetelmät	21
5.4.1	Visuaaliset tarkastukset	21
5.4.2	Tunkeumanestetarkastus	23

5.4.3	Magneettijauhetarkastus	24
5.4.4	Ultraäänitarkastus	25
5.4.5	Siniväritarkastus	26
5.4.6	Endoskopiatarcastus	27
6	Mittaukset	28
6.1	Mittaukset purettaessa ja kasauksessa	28
6.1.1	Linjauksen tarkistus	29
6.1.2	Epäkeskeisyysmittaus	29
6.1.3	Laakerivällyksien mittaus	30
6.1.4	Roottorin aksiaali- ja radiaaliaseman mittaaminen	31
6.2	Huollon aikana tehtävät mittaukset	32
6.2.1	Labyrinttivällysten mittaus	33
6.2.2	Pulttien venymämittaus	38
6.2.3	Säätöventtiilikorien mittaus	39
6.3	Apuakselimittaus	42
7	Yhteenveto	44
	Lähteet	45
	Liitteet	
	Liite 1. Höyryturbiinirevision tarkastukset	
	Liite 2. Revision mittauslomakkeet	

## Lyhenteet

A	Annual inspection = Vuositarkastus
MinO	Minority Overhaul = Osarevisio
MaO	Major Overhaul = Täysrevisio
$T_e$	Ekvivalentit käyttötunnit
$T_{eff}$	Todelliset käyttötunnit
$n_s$	Käyttötunnit laskettuna yhdelle käynnistykselle
$T_s$	Käynnistysten lukumäärä
rpm	Kierrosta minuutissa

## 1 Johdanto

Insinööriyössä perehdytään höyryturbiinin täysrevisiossa tehtäviin mittauksiin ja tarkastuksiin. Työn tarkoituksena oli raportoida revisiossa tehtävistä mittauksista ja tarkastuksista ja koota yhteenveto Siemens Osakeyhtiölle. Yhteenvetoa käytettäisiin toimistohenkilökunnan tiedon kartuttamiseen. Insinööriyö toteutettiin osallistumalla revisioon osana huoltotiimiä.

Tarkastukset ja mittaukset ovat tärkeä osa revision onnistumista. Tarkastuksia tehdään laajasti ja tarkoitus on tunnistaa turbiinin osat, jotka ovat rikkoutuneet tai rikkoutumassa. Mittaukset turbiinirevision aikana antavat tietoa turbiinin staattisten osien liikkeistä käytön aikana. Epätavalliset muutokset staattisten osien asettelussa revision purkuvaiheessa indikoivat mahdollisista käytön aikana syntyneistä vaurioista. Kokoamisvaiheen mittausten tarkoitus on saada koottua turbiini alkuperäisten määritysten mukaisesti.

Insinööriyössä esitellään G/V-tyyppin höyryturbiinien täysrevision mittaus- ja tarkastuskohteet ja kuvataan mittaus- ja tarkastusmenetelmiä. Tietoni tarkastuksista ja mittauksista perustuvat höyryturbiinirevision aikana opittuun, kuultuun ja Siemensin aikaisempiin revisiomateriaaleihin.

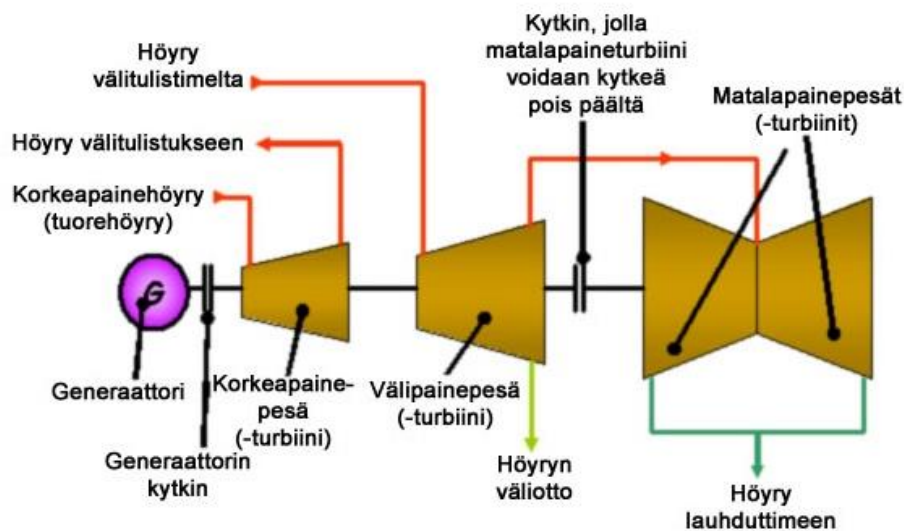
## 2 Yleisesti höyryturbiineista

Höyryturbiini on pyörivä lämpövoimakone, joka muuttaa höyryn paine- ja lämpöenergian turbiinin akselia pyörittäväksi mekaaniseksi energiaksi. Höyryn lämpöenergiasisältö muutetaan mekaaniseksi energiaksi ohjaamalla höyryvirta juoksupyörän kaarevien siipien kautta. Höyryn nopeuden muuttuminen siipisoliin kautta kulkiessa aiheuttaa höyry siiven pintaan paineen. Siivet on kiinnitetty juoksupyörän kehälle tai sylinterimäiseen rumpuun, joiden välityksellä syntyy turbiinin akselia kiertävä vääntömomentti. [1, s. 109; 2, s. 218–219.]

Turbiinit jakaantuvat aksiaali- tai radiaaliturbiineihin. Aksiaaliturbiinissa höyryvirta on akselin suuntainen. Höyryvirran virratessa kohtisuoraan turbiinin akselin vastaisesti kyseessä on radiaaliturbiini.

## 2.1 Turbiinin rakenne

Turbiinit jakaantuvat osaturbiineiksi niitä pyörittävän paineen ja lämpötilan mukaan. Osaturbiineja ovat korkea-, väli-, ja matalapaineturbiinit. Kuvassa 1 on kolme pesää, joissa sijaitsevat korkea-, väli- ja matalapaineturbiinit. Kuvan 1 korkea- ja välipaineturbiinit ovat yksijuoksuisia ja matalapaineturbiini on kaksijuoksuinen. Kaksijuoksuiseen pesään johdetaan höyry keskeltä ja se jakaantuu molemmille puolille tasaisesti. Höyryvirrat siis kulkevat eri suuntiin ja aksiaalivoimat kumoavat toisensa ja roottori pysyy tasapainossa. Yksijuoksuisessa turbiinissa tasapainotus on haastavampi toteuttaa. Höyryvirtaus roottorissa synnyttää voimia, jotka liikuttavat roottoria höyryvirran suuntaisesti. Roottori saadaan tasapainoon tuottamalla tasapainotusmännällä roottoria tasapainottava voima. Tasapainotusmännä on mitoitettu kyseiseen turbiiniin sopivaksi siten, että normaalitilanteessa höyryvirran aiheuttamat aksiaalivoimat ovat nolla. Tasapainotusmännän pinta-alat ovat männän eri puolilla erikokoiset. Tasapainotusmännän vaikutuspinoille johdetaan oikean suuruinen höyryn paine, joka tuottaa tasapainottavan voiman aksiaalisessa suunnassa. Tasapainottavan voima suuruus on männän vaikutuspinta-ala kertaa höyryn paine. Roottorin akselilla sijaitsee aksiaalilaakeri, joka ottaa tasapainotusmännän lisäksi aksiaalisuuntaisia voimia vastaan. Tasapainotusmännä reagoi viiveellä paineenmuutoksiin, joten viiveen aikana aksiaalilaakeri ottaa vastaan aksiaalisia voimia ja pitää roottorin aksiaalisen aseman oikeana.



Kuva 1. Voimalaitosturbiinin rakenne [3].



Kuvan 1 korkeapaineinen kuuma höyry virtaa ensin korkeapaineturbiinille, jossa höyry paisutetaan. Tämän jälkeen höyry johdetaan välitulistukseen, jossa höyry tulistetaan uudelleen ja johdetaan välipaineturbiinille. Välipaineturbiinilta otetaan väliottohöyryä voimalaitoksen omakäyttöjärjestelmiin. Välipaineturbiinin jälkeen höyry johdetaan matalapaineturbiinille, jossa höyry paisuu loppupaineeseen ja lauhtuu lauhduttimessa vedeksi ja jatkaa uudelleen kiertoon. Välitulistuksia käytetään hyötysuhteen parantamiseksi. Kuvassa 1 on vielä kytkimet generaattorille ja matalapaineturbiinille. Matalapaineturbiinin kytkin voidaan tarvittaessa kytkeä irti kuormituksen ollessa vähäistä. Irrottaminen parantaa turbiinin hyötysuhdetta.

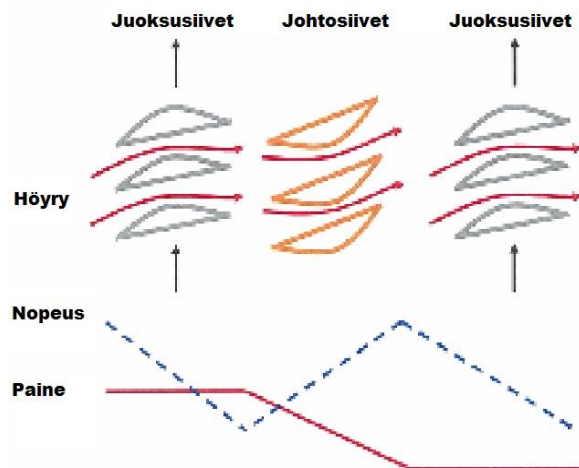
## 2.2 Lauhde- ja vastapaineturbiinit

Vastapaineturbiinia käytetään lämmön ja sähkön tuotantoon. Vastapaineturbiinista poistuu höyryä paineella. Kuuma paineinen höyry johdetaan teollisuuden prosessihöyryksi tai kaukolämpövaihtimille, jossa se luovuttaa lämpöenergiaa prosessin tai kaukolämpöverkon tarpeisiin. Vastapaineturbiinissa lämpötuotantoa pidetään määräävänä tekijänä ja sähköntuotantoa toissijaisena. [1, s. 109.]

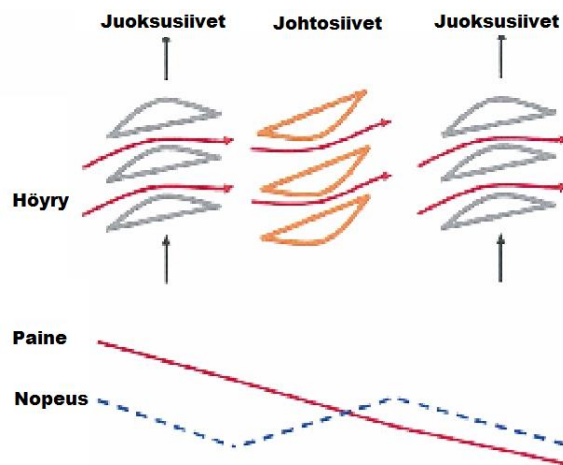
Lauhdeturbiinia käytetään, kun halutaan tuottaa pelkästään sähköä ja lämmöntarvetta ei ole. Lauhdeturbiiniin tuodusta lämmöstä noin 60 % johdetaan jäähdytysveteen ja lämpö poistuu sen mukana. Lauhdeturbiinissa tuorehöyry paisuu paineeseen 0,02—0,05 bar. Turbiinissa on useita väliottoja syöttöveden esilämmitykseen ja voimalaitoksen omakäyttöhöyry tarpeisiin. [1, s. 109–110.]

## 2.3 Aktioturbiinin ja reaktioturbiini erot

Toimintatavan mukaan jaetaan turbiini aktio- ja reaktioturbiineihin. Aktio- eli tasapaineturbiinissa höyryn entalpiamuutos muutetaan nopeudeksi ainoastaan kiinteissä johtolaitteissa. Höyry virtaa juoksupyörän läpi vakioaineella. Vastaavasti reaktio- eli ylipaineturbiinissa entalpiaputous muutetaan nopeudeksi sekä johto- että juoksupyörässä. Aksiaaliturbiinit ovat tasapaine- tai ylipaineturbiineja. Radiaaliturbiinit ovat aina ylipaineturbiineja. [1, s. 109.] Kuvissa 2 ja 3 kuvataan höyryn nopeuden ja paineen käyttäytymistä aktio- ja reaktioturbiinin johto- ja juoksusiivissä.



Kuva 2. Höyryn nopeuden ja paineen käyttäytyminen aktioturbiinin johto- ja juoksusiivissä [4, s. 8].



Kuva 3. Höyryn nopeuden ja paineen käyttäytyminen reaktioturbiinin johto- ja juoksusiivissä [4, s. 14].

### 3 Höyryturbiinin huolto

Höyryturbiinin kunnossapito vaatii tietyin aikavälein huoltoa. Huollon tarkoituksena on varmistaa turbiinin kunto, ennaltaehkäistä vikoja ja korjata löydetyt viat. Ennaltaehkäisevällä huoltostrategialla ja hyvällä huollon valmistelulla saadaan minimoitua suunnittelemattomat korjaustyöt. Hyvällä huoltostrategialla on myös laskeva vaikutus kokonaiskustannuksiin. Yleensä pitkään huonokuntoinen osa aiheuttaa myös

muuta tuhoa laitteistossa. Turbiinin käytettävyyden ja suorituskyvyn ylläpidon onnistumiseksi tulisi välttää turhia alasajoja. Turbiinin alasajoista ja ylösajoista aiheutuvat suuret lämpötilavaihtelut saavat aikaan materiaalin väsymistä ja laiterikkojen todennäköisyys kasvaa. [5, s. 2.]

### 3.1 Yleisesti

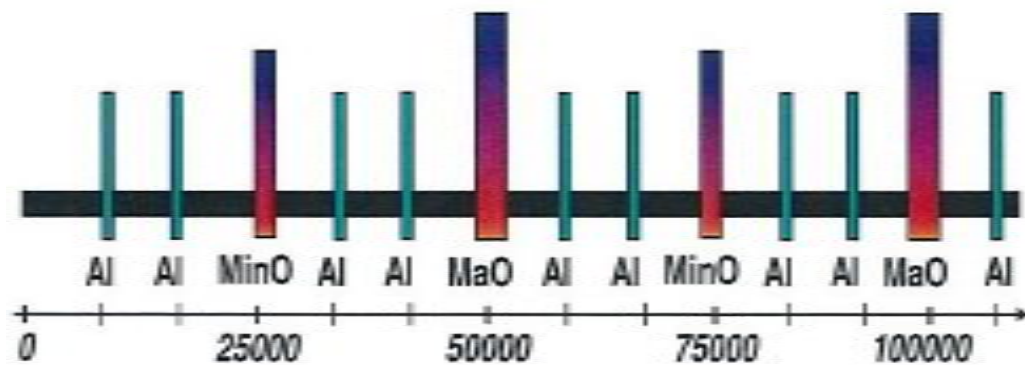
Turbiinin kunnossapito koostuu tarkastuksista, huolloista ja revisioista. Tarkastuksien tarkoituksena on määrittää laitteiston kunto ja tehdä arvioita siitä. Huoltotehtävien tarkoitus on säilyttää haluttu kunto, ja mikäli tarkastukset antavat syytä epäillä turbiinin kunnan laskua, on huoltotoimenpiteitä lisättävä. Revisioiden tarkoitus on palauttaa turbiinin kunto mahdollisimman lähelle alkuperäistä tasoa. Tarkastuksien kaksi keskeistä käsitettä ovat kunnanvalvonta ja kunnontarkastus. Kunnanvalvonnassa pyritään vikaantumisoireita selvittämään suorituskyvyn laskun ja värähtelykäytöksen perusteella. Kunnontarkastuksessa selvitetään turbiinin osien todellinen kunto mittauksilla ja materiaalitarkastuksin. Onnistuneella kunnanvalvonnalla ja kunnontarkastuksilla on mahdollista havaita vikaantumismekanismejä aikaisessa vaiheessa. Näitä ovat esimerkiksi kerrostumat siipien pinoilla, säätöjärjestelmän ryömintä sekä muutokset roottorin linjauksessa tai osien asetteluissa. Tarkastusten mittaustulosten analysointi vaatii pitkän asiantuntemuksen. Yksi tapa tutkia turbiinin sisäistä kuntoa on tehdä se endoskopiolla. Siten saadaan visuaalista tietoa turbiinin kunnosta pesän sisäpuolelta. Tarkastuspaikkojen vähäisyys ja turbiinin tiivis rakenne vaikeuttavat endoskopiata tarkastuksia. [5, s. 4–5.]

Revisioksi kutsutaan turbiinin suunniteltua huoltoseisokkia, jonka tarkoitus on rakenneosien kunnontarkastus, kerrostumien puhdistus ja vaurioiden korjaus, kulutusvaraosien vaihto, mahdolliset modernisoinnit ja muutostöiden tekeminen rakenteissa. Turbiinirevisioiden empiirisessä tarkastelussa on havaittu, että noin 90 %:ssa havaitaan vaurioita, jotka edellyttävät suunnittelemattomia korjauksia. Noin puolet näistä suunnittelemattomista korjauksista ovat hitaasti kehittyviä. Osa näistä olisi voitu ehkäistä aikaisemmin paremmalla kunnanvalvonnalla ja kunnontarkastuksilla. Kehittyvä tekniikka ja sen seurauksena kehittyvät valvontamenetelmät luovat hyvät edellytykset ennaltaehkäistä vikoja. Revisioista noin 70 % kestää suunniteltua pidempään edellä mainittujen korjaustöiden vuoksi. Revisiovälien pidentyessä

revisiokustannukset kasvavat huomattavasti. Laittevalmistaja on määritellyt tarkat huoltosuunnitelmat ja -välit, joita käyttäjän tulisi noudattaa. [5, s. 17, 24.]

### 3.2 Huoltovälit

Vuositarkastukset suoritetaan 6000–12500 ekvivalenttitunnin ajanjaksoissa tai vuoden välein riippuen siitä kumpi tulee aikaisemmin täyteen. Vuositarkastuksiin kuluu aikaa yhdestä kolmeen vuorokautta riippuen turbiinityypistä ja korjauksiin kuluva ajasta. Kahden vuositarkastuksen jälkeen suositellaan revisiota. Revisioita tulee suorittaa 25 000 ekvivalenttitunnin tai kolmen vuoden välein riippuen siitä kumpi tulee aikaisemmin täyteen. Edellisen revision ollessa rajoitettu on seuraavan revisio syytä olla laajempi täysirevisio. Osarevision suorittamiseen huoltotoimenpiteet huomioiden on aikaa varattava vähintään noin neljästä seitsemään vuorokautta. Täysirevision läpivienti kestää noin neljästä kahdeksaan viikkoa. Revisioissa tehdyt suunnittelemattomat vikakorjaukset pidentävät revision kestoa vikojen laajuudesta riippuen päivistä viikkoihin. [5, s. 18.] Kuvassa 4 ilmenee turbiiniin tehtävät huollot ja huoltojen ajankohdat ekvivalenttisina käyttötunteina.



Kuva 4. Huoltoväli aikajana, jossa x-akselilla ekvivalentit käyttötunnit [5, s. 18].

Ekvivalentit käyttötunnit lasketaan laskentakaavan mukaan, jossa huomioidaan käyttötunnit ja koneen käynnistysten lukumäärä. Yksi käynnistys vastaa 25–50 tunnin normaalia ajoa. Ekvivalenttiset käyttötunnit voidaan laskea kaavalla

$$T_e = T_{\text{eff}} + n_s \times T_s$$

$T_e$  = Ekvivalentit käyttötunnit

$T_{eff}$  = Todelliset käyttötunnit

$n_s$  = Käyttötunnit laskettuna yhdelle käynnistykselle (25–50 h)

$T_s$  = Käynnistysten lukumäärä.

### 3.3 Kolmivaiheinen huollon standardikonsepti

Kolmivaiheinen standardikonsepti koostuu vuositarkastuksista, rajoitetusta revisiosta ja täysrevisiosta. Laittevalmistaja laatii tarkastuksille ja revisioille ohjelman, jonka mukaan kyseinen huolto/tarkastus viedään läpi. Huolto-ohjelman sisältämät toimenpiteet on suunniteltu huomioiden turbiinin rakenne, suunnitteluratkaisut ja aiemmat huoltokokemukset käytettyjen rakenneosien toimivuudesta ja erityispiirteistä. [5, s. 6.]

#### 3.3.1 Vuositarkastus

Vuositarkastus pitää sisällään valvonta-, säätö- ja suojausjärjestelmien toimivuuden tarkastukset. Kyseiset tarkastukset ovat erityisen tärkeitä turbiinin turvallisen käytön ja ohjauksen kannalta. Osa tarkastuksista suoritetaan turbiinin ollessa käynnissä. Käynnissä suoritettavia tarkastuksia ovat

- ominaishöyryn kulutus
- paisuntahyötysuhde
- pyöräkammion paineen tarkastus eri kuormapisteissä
- pesän lämpötilat
- värähtelymittaukset
- venymät
- öljyn lämpötilat ja paineet
- öljy- ja höyryvuotojen tarkastukset [5, s. 7–8].

Tarvittavat mitta-arvot käynnin aikana tehtävistä tarkastuksista saadaan reaaliajassa mitta-antureilta, joita on asennettu eri puolille turbiinia tarkastettaviin kohteisiin. Antureita käytetään paineen, lämpötilan, värähtelyn ja höyryvirtauksen mittauksiin. Käynnin aikana tehtävien tarkastusten lisäksi turbiini ajetaan alas ja tarkastetaan

alasarullausaika sekä kuulostellaan epänormaali äänet ja värinät. Alasarullausajan lasku viestittää, että roottori on kosketuksissa. Tapa on yksinkertainen ja toimiva selvittää, hankaako tai ottaako roottori kiinni johonkin. Tarkastusten arvoja vertaillaan edellisiin tarkastuksiin ja valmistajan ohjearvoihin. Mikäli arvoissa on suuria poikkeamia, on syytä tehdä lisätutkimuksia ongelman määrittämiseksi. Vika löydettyä on pyrittävä korjaamaan se välittömästi, jotta saadaan ennaltaehkäistyä vian leviäminen. Mikäli vika on sellaisessa paikassa, jota on mahdoton korjata ilman suuria purkutoimenpiteitä, kuten turbiinin pesän avaamista, on syytä kartoittaa vian mahdolliset vaikutukset ja leviäminen muihin kohteisiin. Korjaustoimenpiteet voidaan siirtää seuraavaan suunniteltuun revisioon, jos todetaan vian vaikutuksien olevan minimaaliset. Lopullisen päätöksen tekee omistaja.

### 3.3.2 Osarevisio

Täysrevisioiden välisen ajan puolivälissä tehdään osarevisiot (kuva 4). Osarevision tarkastuksiin kuuluvat kaikki vuositarkastuksissa tehdyt toimenpiteet. Näiden lisäksi tarkastetaan seuraavat kohteet:

- laakereiden tarkastukset (valkometallin kiinnittyminen ja kunto, välykset)
- roottorin liikkumavaramittaus (labyrinttiväly)
- kytkimen linjauksen tarkastus ja keskeisyysmittaus
- tuorehöyryn pikasulku- ja säätöventtiilien toimilaitteiden tarkastukset ja jousien vaihdot uusiin
- säätö- ja suojalaitteiden hydraulikomponenttien huolto ja koestus
- öljy-, höyry- ja tiivistyshöyryjärjestelmien tarkastukset
- mahdollinen endoskopiatarastus.

Laakereista tarkastetaan laakereiden valkometallin kiinnittyminen ja laakerivälykset. Roottorin liikkumavaramittauksessa tarkastetaan labyrinttitiivisteiden välykset ja mitataan roottorin aksiaalisiirtymä. Venttiilien huoltotoimenpiteissä tarkastetaan ohjauspintojen ja sulkujousien kunto. Jouset vaihdetaan aina uusiin. [5, s. 10–11.]

### 3.3.3 Täysirevisio

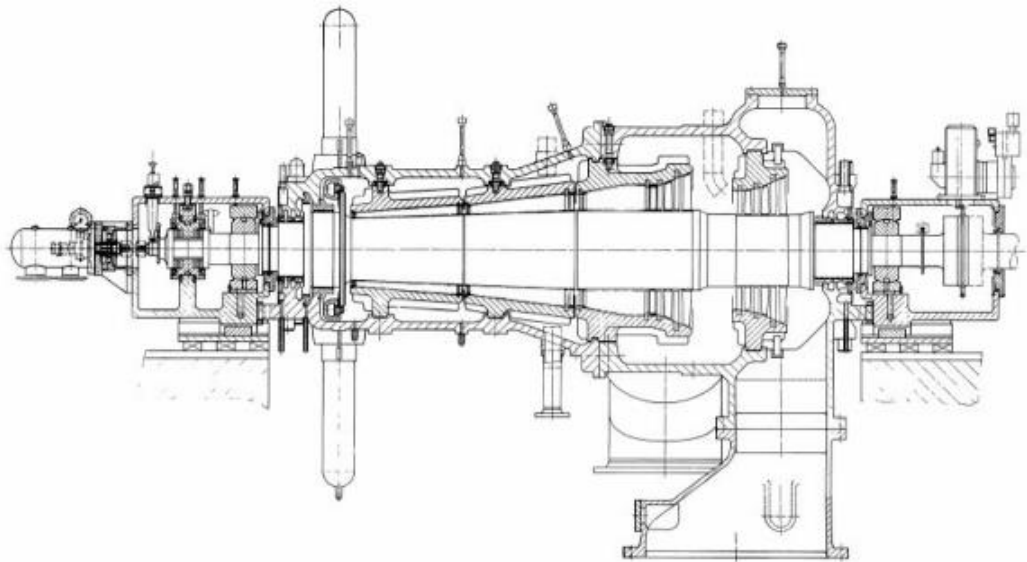
Täysirevisio sisältää vuositarkastuksen ja osarevision toimenpiteiden lisäksi seuraavia tarkastuksia:

- osien irrotus ja tarkastus
- näytteidenotto kerrostumista
- puhdistustoimenpiteet
- venttiilien, suuttimien ja siipien tarkastukset
- pesän, roottorin ja staattorin särötarkastukset
- sisäinen linjaus ja vällysmittaukset
- labyrinttiivisteiden ja öljytiivisterenkaiden tarkastus
- pulttien tarkastukset venymien varalta
- kulutusvaraosien sovitus ja asennus
- turbiinin pesän ja laakeripukkien kiinnitystarkastukset, sekä laakeripukkien liukumien tarkastukset
- öljylaitteiston osien puhdistus
- jakotason puhdistus ja tarvittaessa kaavaus tasaiseksi pinnaksi
- laitteiston asennus valmistajan nimellisvällyksille
- vaihteiston huolto
- vaurioiden syiden selvitys.

Täysirevisiossa suurin ero osarevisioon tai vuositarkastuksiin on turbiinikannen aukaisu. Osarevisiossa ja vuositarkastuksissa puretaan vain välttämättömät osat ja tarkastuksia tehdään endoskopian avulla tarkastusluukuista, joita on eripuolilla turbiinia. Revisiomittauksissa on tärkeää tehdä vertailua edellisen revision mitta-arvoihin. Mikäli löydetään poikkeamia osien asetteluissa tai merkittävää kulumista tulee pohtia mistä ne johtuvat. Revisiossa tärkeää on kokonaisuuden hallinta. Kaikki huoltotoimenpiteet ovat tärkeitä ja vaikuttavat muiden osien toimintaan. [5, s. 12–16.]

#### 4 Huollettavan höyryturbiinin teknistä tietoa

Kyseessä on Nürnberg V50-tyyppinen vastapainehöyryturbiini, joka on asennettu käyttökohteeseen paikoilleen vuonna 1988. Huollettavan turbiinin turbiinipiirros löytyy kuvasta 5. Turbiini on suunniteltu ja rakennettu saksassa Nürnbergin kaupungissa AEG-Kanis-valmistajan tehtaalla. Nykyisin yritys tunnetaan nimellä Siemens AG.



Kuva 5. Turbiinipiirros [6].

Kuvan 5 turbiinin tekniset tiedot ovat

- tyyppi V50
- teho 55 MW
- pikasulkuventtiilit 2 kpl
- korkeapainesäätöventtiilit 2 kpl
- sisäpesien lukumäärä 4 kpl
- nimellisyörimisnopeus 100 %:n tehoilla 3000 rpm
- mekaanisen ylikierrossuojan laukaisuraja  $109 \pm 1$  %:n tehoilla  $3270 \pm 30$  rpm
- elektronisen ylikierrossuojan laukaisuraja 110,6 %:n tehoilla 3320 rpm.



## Tuorehöyryarvot ovat

- paine normaali/maksimi (60/68) bar
- lämpötila normaali/maksimi/minimi. (525/530/400) °C
- höyryn massavirta 63 kg/s.

## Väliottohöyry 1 arvot ovat

- paine minimi/maksimi/normaali (1,66/5,69/4,9) bar
- lämpötila normaali 201 °C
- maksimaalinen höyryn massavirta 1,5 kg/s.

## Väliottohöyry 2 arvot ovat

- paine minimi/maksimi/normaali (0,48/2/0,556) bar
- lämpötila normaali 115 °C
- maksimaalinen höyryn massavirta 47,753 kg/s.

## Poistohöyryn arvot ovat

- paine normaali/maksimi (0,25/1,2) bar
- lämpötila normaali/maksimi (108/300) °C
- höyryn massavirta normaali/maksimi (20,7/47,75) kg/s.

## 5 Täysrevision yhteydessä tehtävät tarkastukset

### 5.1 Yleistä

Tarkastusten tarkoitus on löytää osista mahdolliset käytöstä syntyneet vauriot ja varmistaa tarkastuskohteiden kunto ja kestävyys seuraavaan revisioon ilman turhia alasajoja. Tarkastusmenetelmiä on useita, ja tarkastussuunnitelmaan on merkitty tarkastettavat tarkastuskohteet ja tarkastusmenetelmät. Kyseisen revision tarkastussuunnitelma löytyy liitteestä 1. Luvussa 5.2 käydään läpi turbiinin täysrevisiossa tarkastettavia kohteita, luvussa 5.3 tutustutaan turbiinirakenteista löytyviin yleisimpiin vauriotyyppeihin ja luvussa 5.4 perehdytään käytössä oleviin tarkastusmenetelmiin vaurioiden löytämiseksi.

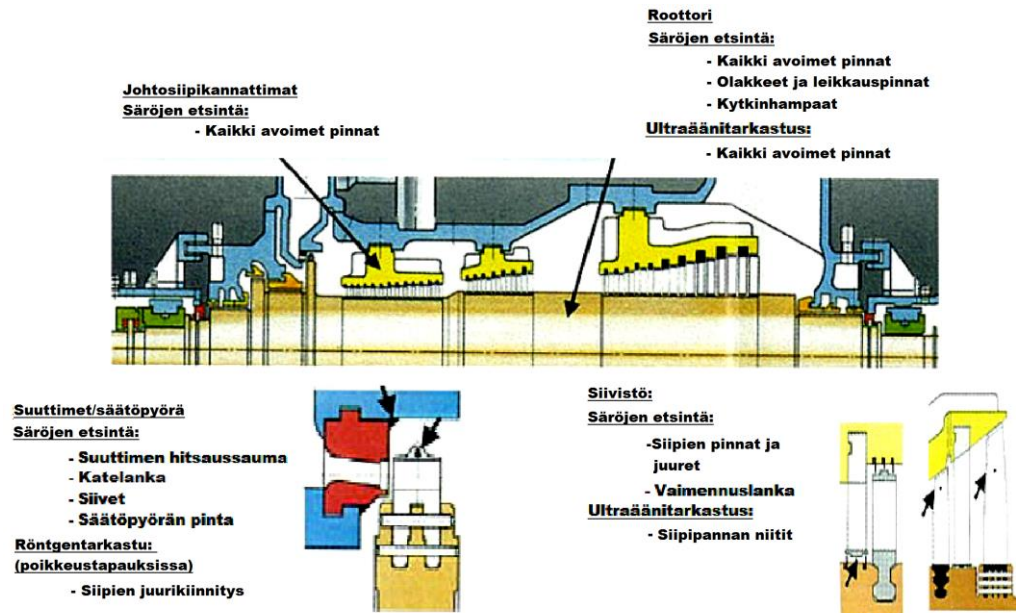
### 5.2 Tarkastettavat kohteet

Yleisimpien tarkastusmenetelmien lisäksi mittatiedot tarkastuskohteiden pituuden, pinta-alan ja tilavuuden muutoksissa viestittävät mahdollisesta vauriosta. Muuta informaatiota turbiinin kunnosta saadaan osien keskinäisen aseman muuttumisesta. Yleensä painonmuutokset johtuvat roottorin likaantumisesta tai turbiinin sisällä irronneista kappaleista. Turbiiniin pääsee likaa höyryn mukana. Höyryn laatu vaikuttaa turbiinin likaantumiseen ja sitä kautta korroosio-ongelmien syntyyn. Turbiiniin menevän höyryn laatua voidaan parantaa suodattamalla pois epäpuhtaudet syöttövedestä. Turbiinin siipien pinnoille kerrostuvia epäpuhtauksia ovat NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ja SiO<sub>2</sub>. Epäpuhtaudet esimerkiksi öljyjärjestelmässä aiheuttavat ongelmia säätöjärjestelmässä tukkimalla pieniä säätöputkistoja. Huomioitavia asioita revision tarkastussuunnitelmaa valmisteltaessa ovat

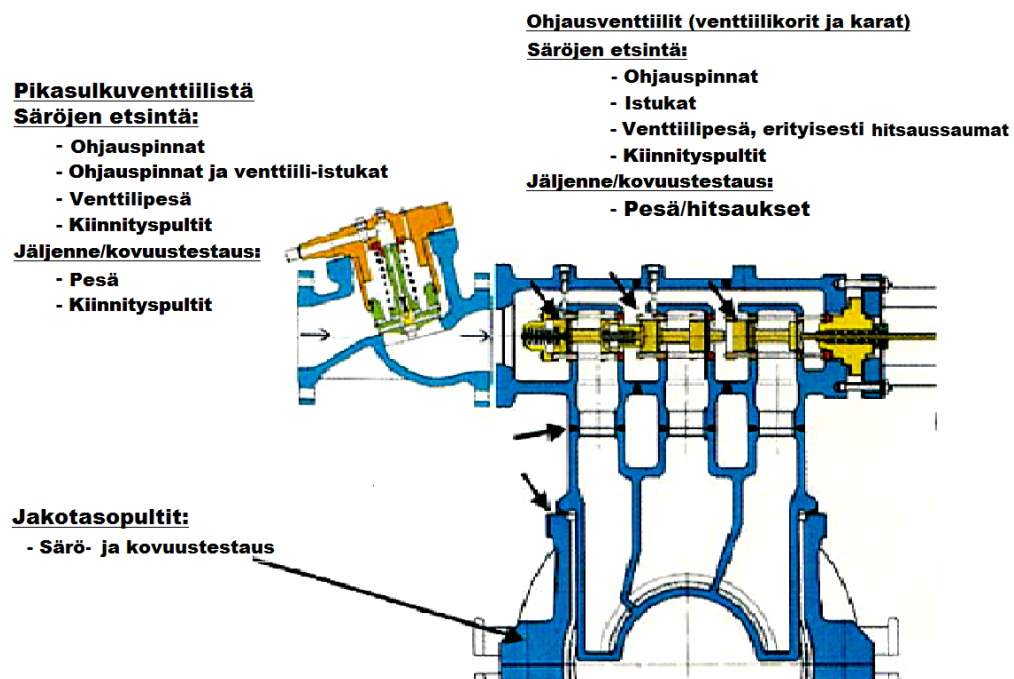
- koneen ikä
- käyttö (peruskuormitus, maksimikuormitukset)
- kokemus samankaltaisista laitteistoista
- vika- ja häiriötilanteiden datan saatavuus
- turbiinin rakenteelliset ominaisuudet ja osien materiaalit
- toimintaolosuhteet (kuormitus)

- toiminnalliset tapahtumat (lämpötilamuutokset, ylikierrokset, ylisuojalaukaisut).

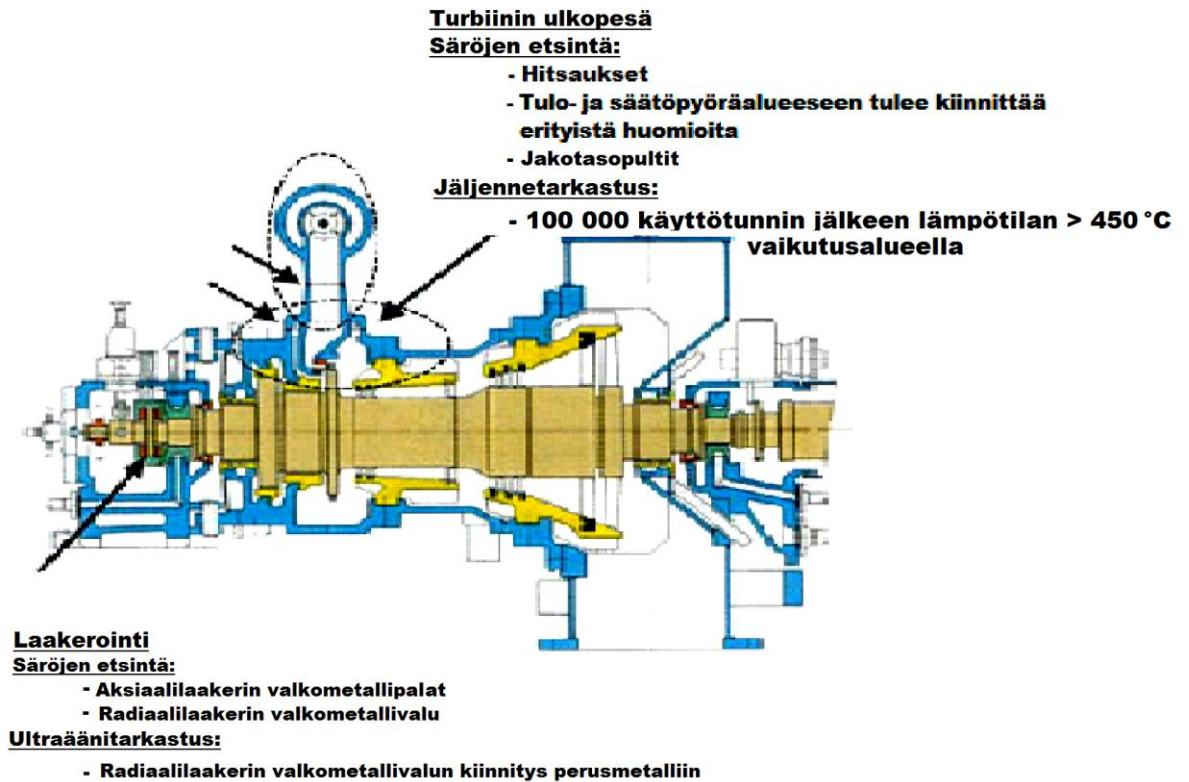
Kuvissa 6, 7, ja 8 kuvataan turbiinin tärkeitä tarkastuskohteita ja niissä ilmeneviä vikoja.



Kuva 6. Tarkastettavat kohteet roottorille, suuttimelle ja säätöpyörälle, sekä siiville [7, s. 2].



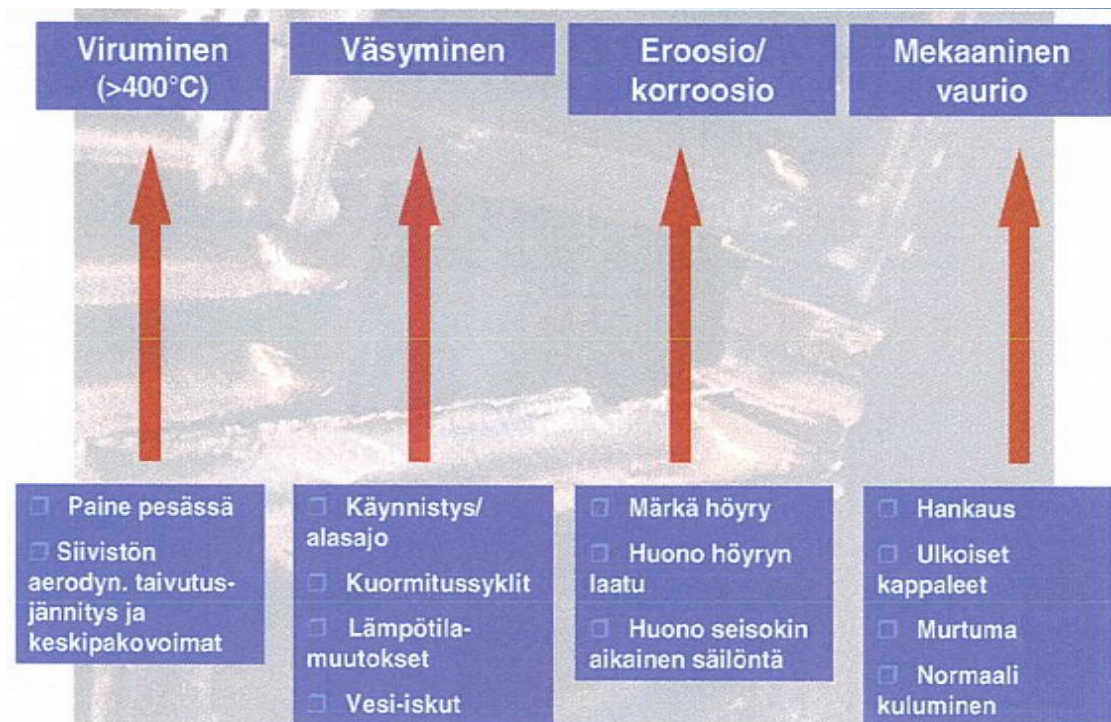
Kuva 7. Tarkastukset höyryn sulk- ja säätöventtiileihin [7, s. 1].



Kuva 8. Tarkastukset pesässä ja aksiaali- ja radiaalilaakereissa [7, s. 1].

### 5.3 Turbiinirakenteista löytyvät yleisimmät vauriot

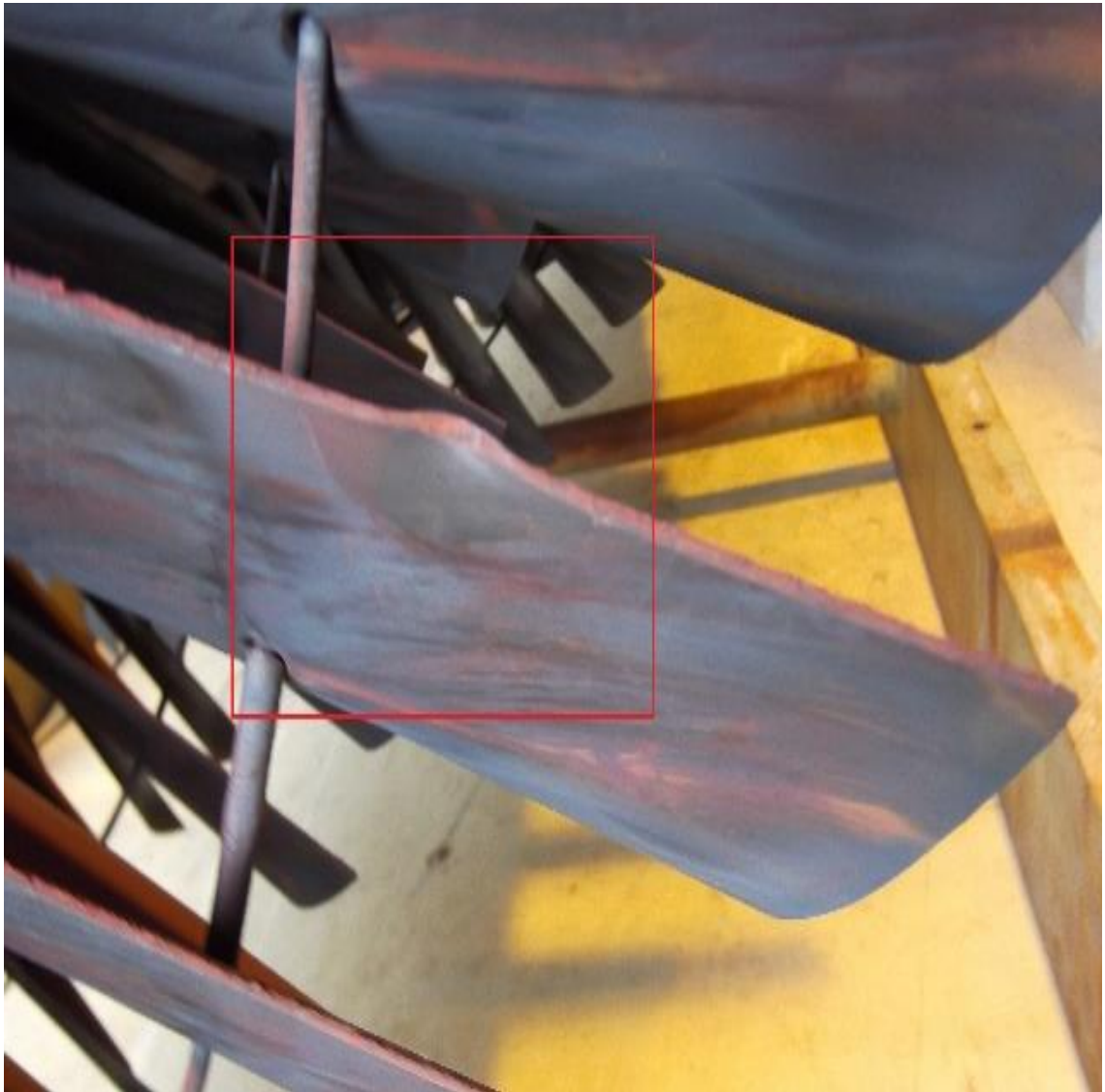
Seuraavissa luvuissa tarkastellaan turbiinirakenteista löytyviä vaurioita, pohditaan vaurioihin johtavia syitä ja kuvataan tarkastusmenetelmät, joilla vaurioita etsitään. Mukana on kuvia vaurioista ja tarkastusmenetelmistä. Kuvasta 9 selviää turbiinirakenteen vauriotyypit ja niitä aiheuttavat tekijät.



Kuva 9. Turbiinin rakenteen vauriotyytit ja niitä aiheuttavat tekijät [5, s. 3].

### 5.3.1 Mekaaninen vaurio

Mekaaniset vauriot turbiinissa syntyvät kulumisen, murtumisen tai jonkin kappaleen iskun seurauksena. Revision aikana nostellaan painavia turbiinin osia, joten silloin pienetkin hipaisut kappaleiden välillä saavat aikaan mekaanisia vaurioita. Kuvan 10 siipivaurio on syntynyt todennäköisesti roottorin paikalleenasennuksen yhteydessä. Revisioiden yhteydessä täytyy noudattaa erityistä huolellisuutta, ettei vieraita esineitä putoa tai jää turbiinin sisään. Kaikki turbiinin reiät ja kriittiset kohdat suojataan. Työmaalla noudatetaan yleistä huolellisuutta mekaanisten vaurioiden ehkäisemiseksi. Turbiinin käydessä tuorehöyry pyritään pitämään mahdollisimman puhtaana suodattamalla partikkelit pois. Pahimmillaan mekaaniset vauriot aiheuttavat turbiinin alasajon.



Kuva 10. Mekaaninen vaurio roottorin siivessä, joka on todennäköisesti syntynyt roottorin paikalleen asennuksen yhteydessä.

### 5.3.2 Likaantuminen

Turbiinin likaantumisella on kolmenlaisia vaikutuksia. Näitä ovat taloudellisuus-, ylikuormitus- ja korroosiovaikutus. Taloudellisia vaikutuksia syntyy likaantumisesta johtuvasta tehon laskusta. Likaantumisesta seuraa suurempi höyryn kulutuksen tarve, joka nostaa käyttökustannuksia. Laskennallisesti on todettu, että 500 grammaa likaa tasaisesti siipiin kertyneenä laskee hyötysuhdetta noin prosentin. Likaantuminen nostaa myös höyryn paineita, mistä seuraa ylikuormitusta. Lisäksi pinnoille kertyneen lian seurauksena laakerivoimat kasvavat, siipien taipuma suurenee, värinät lisääntyvät ja venttiilit tukkeutuvat. Lika on yksi osatekijänä korroosion syntyyn. Hyvällä

vedenkäsittelyllä, sekä suodatuksella voidaan vähentää lian pääsyä turbiiniin. Kuvassa 11 näkyy liikaantunutta roottorin siivistöä. Epäpuhtauksia poistetaan lisäveden valmistuslaitteistolla sekä lauhteenpuhdistuksessa. Vedestä poistetaan orgaaniset epäpuhtaudet, suolat ja kaasut. Orgaanisia epäpuhtauksia ovat humushapot, fulvohapot, humiinit ja orgaaniset yhdisteet. Suolanpoistossa suodatetaan pois suola- ja silikaatti. Kaasunpoistossa alennetaan syöttöveden happipitoisuutta, koska happi edesauttaa korroosion syntymistä. [8, s. 286–301.]



Kuva 11. Roottorin siipiin kertynyttä likaa, joka huonontaa turbiinin hyötysuhdetta ja edesauttaa korroosion syntymistä.

### 5.3.3 Viruminen

Viruminen on pysyvää muodonmuutosta, joka tapahtuu korkeissa lämpötiloissa jännityksen alaisena. Virumisen seurauksena kappale venyy ja syntyy pieniä raekoloja. Raekolojen määrä kasvaa virumisvaurion voimistuessa. Virumista alkaa tapahtua lämpötilan ylittäessä 400 celsiusastetta. Turbiinissa virumista aiheuttavat tekijät ovat paine, aerodynaaminen taivutusjännitys ja keskipakovoima. Viruminen on keskeisellä sijalla jäännöselinikää arvioitaessa. [9, s. 16–22.]

Virumista etsitään jäljennemenetelmällä kohteista, joissa olosuhteet ovat edulliset virumiselle. Muovijäljenne näyte otetaan tarkastuskohteen pinnasta ja tutkitaan mikrorakennevaurioita jäljenteestä mikroskoopilla. Ennen jäljenteen ottamista näytteenottoa paikka on puhdistettava kunnolla ja hiottava hienolla hiomapaperilla kiiltäväksi, kuten kuvassa 12 on tehty. Näyte otetaan painamalla kohteeseen jäljennemuovi, johon epätasaisuudet painautuvat käännteisenä. [9, s. 16–22.]



Kuva 12. Tuorehöyryputken jatkokohdan hitsaussaumasta virumisen näytteenottoa paikka. Pinta on hiottu tasaiseksi, jotta epäpuhtaudet eivät aiheuttaisi jäljenteeseen vääriä näyttämiä.

#### 5.3.4 Korroosio

Korroosiolla kuvataan rakennemateriaalin kemiallista ja sähkökemiallista tuhoutumista ympäristön vaikutuksesta. Pääasiallisesti tavanomaisimpien korroosioilmiöiden tarkastelussa kyseessä on metallien erilaisissa vesiliuoksissa tapahtuva syöpyminen sähkökemiallisella mekanismilla. Metallien korroosio perustuu korroosioparin syntymiseen kahden eri potentiaalilla omaavan metallipinnan osan tai kahden eri metallin välille. Klassisessa korroosioparissa korkeamman potentiaalilla omaavasta



metallikohdasta tai jalommasta metallista tulee katodi. Vastaavasti alemman potentiaalieron omaavasta metallikohdasta tai metallista syntyy anodi. Korroosiopari edellyttää paitsi katodin ja anodin syntymistä ja sähköä johtavaa metallista yhteyttä niiden välille, myös elektrolyyttiä, joka kuljettaa virtaa anodin ja katodin välillä. Näin syntyy suljettu virtapiiri, joka toimii niin kauan, kun edellä mainitut olosuhteet ovat voimassa. Anodilla metalli liukenee positiivisina ioneina liuokseen ja siirtyvät katodin pinnalle, jossa jokin liuoksessa oleva ioni tai happi reagoi niiden kanssa. Anodin reaktiota kutsutaan hapettumiseksi ja anodin pelkistymiseksi. Vaikka voimalaitoksen syöttövesi onkin puhdistettua, niin se sisältää pieniä määriä epäpuhtauksia, kaasuja ja suoloja, ja toimii näin vahvana elektrolyytinä. Syöttöveden mukana turbiiniin kertyneet epäpuhtaudet kerrostuvat kriittisten osien pinnoille edistäen ja kiihdyttäen korroosiota, kuten kuvassa 13 vuotohöyryn säätöventtiilillä on tapahtunut. Käyttöseisokkien aikana laitteet ovat alttiita korroosiolle. Tällöin tapahtuu happikorroosiota, jossa paineen laskiessa alas tunkeutuu ilmaa laitteisiin ja liukenee siellä veteen tai kosteuteen. Tällöin hapen vaikutuksesta tapahtuu korroosiota. Seisokkien ajaksi laitteisto tulee suojata säilönnällä. [8, s. 21–22, 301.]



Kuva 13. Vuotohöyryn säätöventtiilillä korroosiota, joka on puhdistettava revision yhteydessä.

### 5.3.5 Eroosiokorroosio ja eroosio

Osa turbiiniin liittyvistä laitteista ovat eroosiokorroosioalueella. Tällaisia laitteita ovat höyryputki korkeapaineturbiinista välitulistajalle, lämmönvaihtimet, eräät korkeapaineturbiinista lähtevät väliottoputket ja eräät tiivistysputket. Eroosiokorroosiota on havaittu myös ilman välitulistusta toimivissa matalapaineturbiineissa. Eroosiokorroosio tapahtuu metallin pinnalla virtaavan vesikalvon vaikutuksesta, kuten kuvasta 14 ilmenee. Eroosiokorroosioon vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, vesikalvon pH-arvo, vesikalvon liuennan hapen pitoisuus, vesikalvon virtausnopeus ja materiaalin koostumus. Eroosiokorroosiota tapahtuu lämpötilan kasvaessa ja on maksimissaan noin 150 °C:n lämpötilassa. Paikalliset turbulenssit aiheuttavat paikallisia eroosiokorroosioita. [8, s. 286–289, 301.]

Eroosio on materiaalin kulumista. Kulumista turbiinissa aiheuttavat toisiaan vasten hankaavat pinnat. Turbiini sisältää paljon mekaanisia osia ja niiden jatkuva liike aiheuttaa kulumista ja syntyy turbiinin jouhevaa toimintaa haittaavia välyksiä ja vuotoja. Eroosioon tulee suhtautua kriittisesti ja tarvittaessa vaihtaa huonokuntoinen osa uuteen.



Kuva 14. Eroosiokorroosiota matalapainepuolella johtosiipikannattimessa. Höyryn kastepiste on päässyt laskemaan kastepisteen alapuolella. Höyryvirtaan muodostuneet lauhdepisarat ovat aiheuttaneet johtosiipikannattimessa näkyvät kulumisvauriot.

## 5.4 Tarkastusmenetelmät

Tarkastusmenetelmä tulee valita tarkastuskohteen mukaan. Tarkastusmenetelmän valintaa vaikuttavat tarkastettavan kohteen materiaali, kohteeseen vaikuttavat voimat ja lämpötila, kohteen sijainti ja mitä halutaan tarkastaa. Revision yhteydessä ilmenee suunnittelemattomia vikoja, jotka vaativat tarkastuksia. Tällöin on syytä pohtia järkevintä tarkastusmenetelmää. Pääasiallisesti tarkastusmenetelmistä käytetään visuaali-, tunkeumaneste-, magneettijauhe-, ultraääni-, jäljenne- ja endoskopiatarkastusta. Tarkastusten suorittaminen vaatii rautaista asiantuntemusta ja paljon harjoittelua luotettavan tuloksen saamiseksi, joten tarkastukset suorittaa niihin erikoistunut henkilö. Tarkastusmenetelmiin ja niiden suorittamiseen tutustutaan seuraavissa alaotsikoissa.

### 5.4.1 Visuaaliset tarkastukset

Helpoin tapa tehdä tarkastuksia on visuaalinen tarkastus. Visuaaliset tarkastukset eivät vaadi suuria investointikustannuksia. Apuna tarkastuksissa käytetään peilejä, suurennuslaseja ja oikeanlaista valaistusta. Silmämääräistä tarkastusta käytetään pintojen kunnan tarkistamiseen. Tarkastuskohteita ovat esimerkiksi koneistettujen pintojen laadun varmistus, hankausjäljet, vääntymät, kuumuudesta aiheutuneet lämpösävyt, sekä korroosikohteet. Nämä kaikki indikoivat mahdollisista vaurioista. Kuvassa 15 esimerkki visuaalisessa tarkastuksessa löydetyistä kosteuden aiheuttamasta eroosikorroosiosta johtosiiplikannattimessa. Tarkastuspintojen puhtaus helpottaa vaurioiden etsintää. Vaurion löytyessä on syytä pohtia sen aiheuttaneita tekijöitä. Epäselvissä tapauksissa voidaan vaurion varmistamiseksi käyttää toista tarkastusmenetelmää tukemaan visuaalista tarkastusta. Hankalissa paikoissa sijaitsevien kohteiden, kuten putkien sisäpinnat tai minne ei ole suoraa näköyhteyttä voidaan tarkastamiseen käyttää apuvälineinä optisia laitteita. [10, s. 2.]

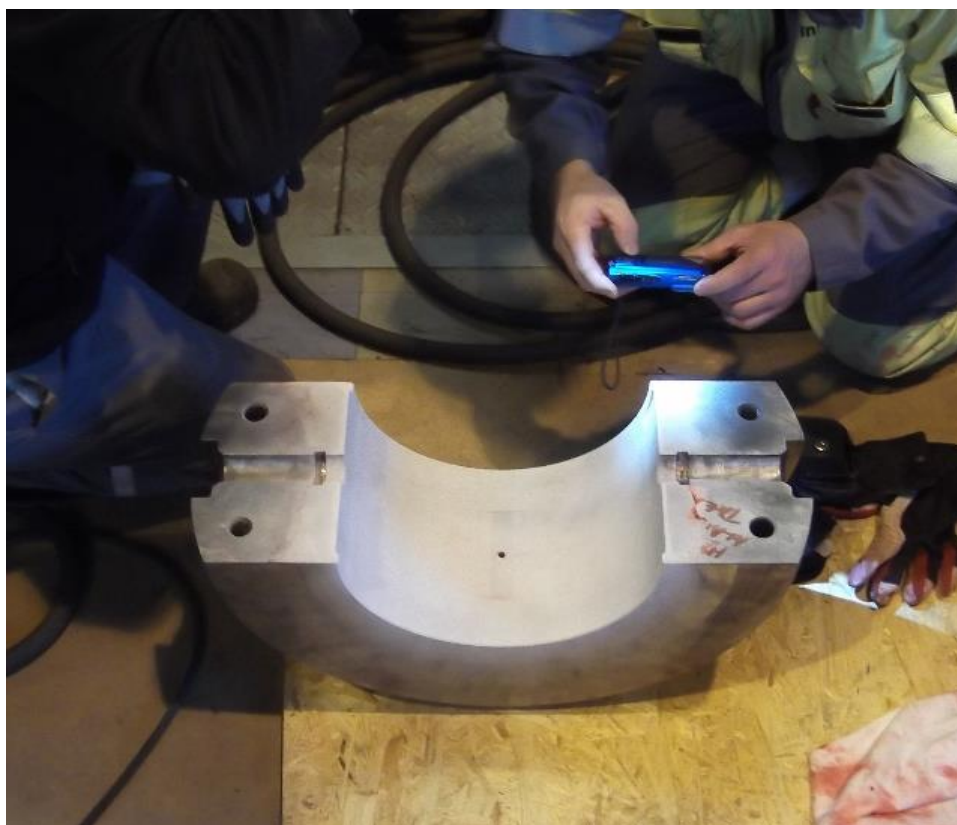


Kuva 15. Visuaalisessa tarkastuksessa löydetty kosteuden aiheuttamaa eroosiotakorroosiota johtosiipikannattimessa.

#### 5.4.2 Tunkeumanestetarkastus

Toimintatapa soveltuu erityisesti pintaan avautuvien tilavuusvikojen etsintään. Pintaan avautuvia tilavuusvikoja ovat esimerkiksi säröt, väsymissäröt ja halkeamat. Menetelmä soveltuu hitsausvaurioiden etsintään sekä ruostumattomasta teräksestä ja alumiinista valmistettujen pintojen tarkastukseen. Menetelmän etuna on sen soveltuvuus erimuotoisten ja kokoisten kappaleiden tarkistamiseen. Menetelmä ei sovellu huokoisten pintojen tarkastukseen. [10, s. 46.]

Tunkeumanestetarkastuksessa puhdistetulle tarkastettavalle pinnalle ruiskutetaan hienojakoinen tunkeumaneste, joka tunkeutuu pinnan epäjatkuvuuskohtiin. Tämän jälkeen pinta puhdistetaan huolellisesti. Nyt puhdistettuun pintaa ruiskutetaan kehite, joka imee tunkeumanestettä epäjatkuvuuskohdista ja värjäytyy tunkeumanesteen vaikutuksesta punaiseksi tai fluerisoivaksi. Näyttämä on epäjatkuvuuskohdan muotoinen. Ehyt pinta jää puhtaaksi. [11, s. 3.] Kuvassa 16 on käynnissä tunkeumanestetarkastus radiaalilaakerin sisäpinnalle.



Kuva 16. Radiaalilaakerin sisäpinnan tunkeumanestetarkistus.

### 5.4.3 Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastus perustuu magnetoituvien partikkeleiden kerääntymisen magnetoidun kappaleen epäjatkuvuuskohtiin muodostuvaan vuokenttään. Tutkimuksen aluksi pinta puhdistetaan huolellisesti ja tarvittaessa ruiskutetaan kontrastiväriä, jotta saadaan mahdollinen särö erottumaan pinnasta paremmin. Tämän jälkeen lisätään magnetointi aine kohteen pintaan. Pinta magnetoidaan segmentti kerrallaan magnetointilaitteella, kuten kuvassa 17. Magnetoitavassa alueessa magneettijauhe pyrkii magnetointivuon suuntaisesti. Mikäli pinnassa on säröjä estävät ne partikkeleiden vapaan kulun ja epäjatkuvuuskohtaan syntyy näyttämä, joka on epäjatkuvuuskohdan muotoinen ja väriltään musta, punainen tai fluoresoiva riippuen käytettävästä magnetointijauheesta. [12, s. 56–58.]

Tarkastettavan pinnan tulee olla ferromagneettinen ja etsittävien kohteiden tulee olla pintaan avautuvia. Menetelmällä voidaan löytää säröjä, jotka ovat kooltaan  $\mu\text{m}$  leveitä, 0,1 mm leveitä ja pituudeltaan 1 mm. Tapa on nopea, edullinen, varma ja yksinkertainen. Tarkastusten jälkeen pinta puhdistetaan tarkastusaineista. [12, s. 56–58.]



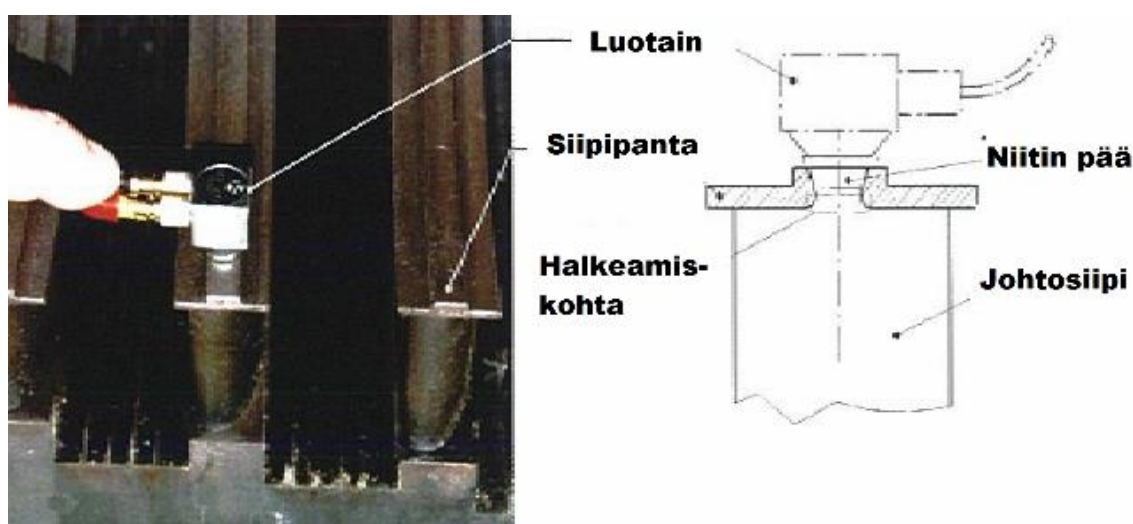
Kuva 17. Magneettijauhetarkastus tulohöyryputken jatkokohdan hitsaussaumasta ennen pikasulkuventtiiliä.

#### 5.4.4 Ultraäänitarkastus

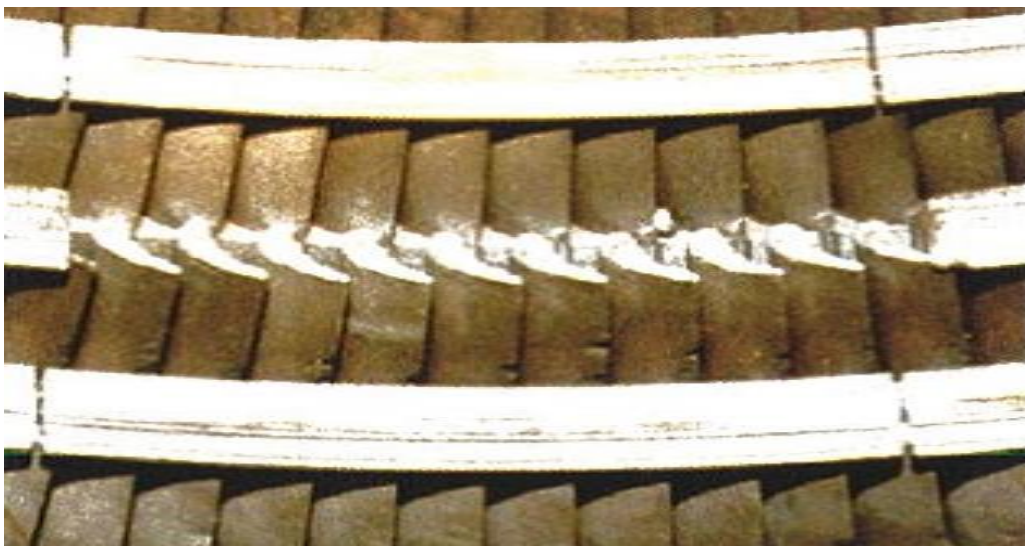
Ultraäänitarkastuksella voidaan löytää kolmiulotteisia kappaleen sisäisiä epäjatkuvuuskohtia, joiden halkaisija on noin puolet käytetyn äänen aallonpituudesta. Yleensä pienimmät löydetyt epäjatkuvuuskohdat ovat kooltaan alle millimetrin kokoisia. [10, s. 11.]

Ultraäänitarkastus perustuu tutkittavaan kohteeseen suunnatun kaiun heijastumiseen kohteesta ja vertaamalla sitä laitteiston näytöllä olevaan vertailukaikuun. Vertailukaiku on mittajan asentama kaiku ja on määritetty tapauskohtaisesti sen mukaan mitä halutaan etsiä. Mittakaiku erotessa vertailukaikusta indikoi mahdollisesta epäjatkuvuuskohdasta. Ultraäänitarkastukseen tarvitaan laitteisto ja erilaisia luotaimia. [10, s. 10.]

Etuna menetelmässä on sen soveltuvuus geometrialtaan ja aineenpaksuudeltaan erilaisten kohteiden tarkastuksiin. Rajoituksena on voimakkaasti ääntä vaimentavat ja taittavat materiaalit. Tarkastajan kokemus on keskeisessä asemassa luotettavien mittausten saamiseksi. Menetelmää käytetään siipipannan ja johtosiipien välisen niittikiinnityksen tarkastamiseen, jota havainnollistaa kuva 18. Tarkastuksessa pyritään löytämään haljenneet niitit. Kuvassa 19 niitit ovat pettäneet ja siipipanta on irronnut. Ultraäänitarkastuksella tarkastetaan myös laakerien valkometallin kiinnittyminen.



Kuva 18. Johtosiipien ja siipipannan kiinnitysniittien tarkastus ultraäänitarkastuksella [12, s. 1].



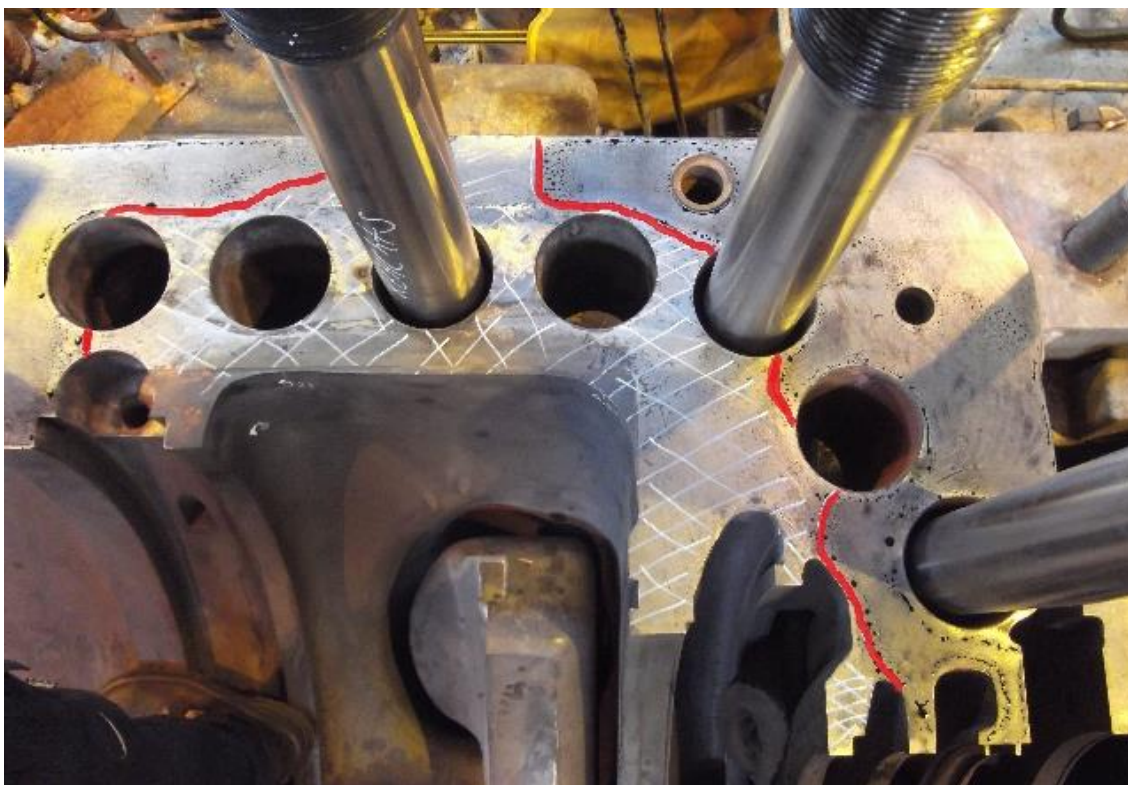
Kuva 19. Osa siipipannasta on irronnut kiinnitysniittien katketessa [12, s. 1].

#### 5.4.5 Siniväritarkastus

Siniväritarkastuksen tarkoituksena on varmistaa metallisten tiivistyspintojen tiiveys. Tiivistyskoe suoritetaan levittämällä tarkastuspintaan väriaine ja sulkemalla liitos. Liitos aukaistaan ja tiivistyspinnan värikuvasta nähdään onko liitos tiivis. Tarkastukset suoritetaan kaikille kriittisille tiivistyspinnoille. Turbiinin tiivistyspinnoilla ei pystytä käyttämään kumisia tiivisteitä höyryn korkeasta lämpötilasta johtuen. Tämä asettaa tiivistyspinnoille kovat tasaisuusvaatimukset. Tärkeitä tarkastuskohteita ovat esimerkiksi laakereiden asennuspinnat ja jakotason laippaliitos.

Väritestin indikoidessa epätasaisuuksista tulee pinnat tasoittaa. Pinta tasoitetaan hiomalla kohoumakohtia ja toistamalla värikoe. Toimenpide suoritetaan useita kertoja, kunnes voidaan hyväksyä pinnan tasaisuus. Toinen tapa korjata tiivistyspintojen epätasaisuudet on lisätä materiaalia tasopintaan hitsaamalla sitä painanteisiin ja kaavaamalla pinta tasaiseksi. Kaavaustoimenpide vaatii useita toistokertoja ja materiaalia poistetaan vain vähän kerrallaan. Väritesti suoritetaan useita kertoja kaavausten välissä, kunnes pinta voidaan väritestin mukaan todeta tasaiseksi. Kaavaaminen on vaativa työtoimenpide ja vaatii ammattitaitoa. Kaavausta käytetään jakotason laippaliitoksen pintojen tasoituksessa. Kuvassa 20 on siniväritestin tulos turbiinin oikean puolen jakotason alkupäälle. Kuvassa on punaisella piirretty alue, jonka sisäosan pinta on kulunut alemmas määräävästä tasosta. Pinta on kulunut noin 0,1–0,4 mm riippuen mittauskohdasta.

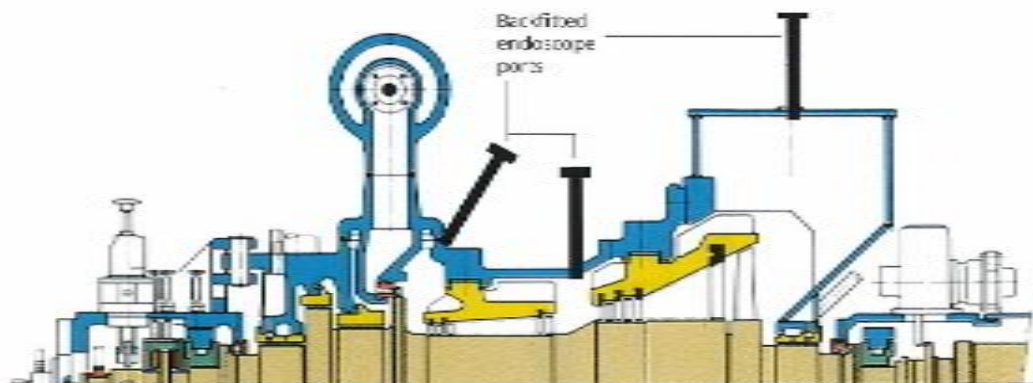




Kuva 20. Siniväritarkastuksen tulos turbiinin oikean puolen alkupään jakotasolle. Punaisen viivan sisäpuolinen alue, joka on merkattu valkoisella viivoituksella, on kulunut määräävästä tasosta 0,1—0,4 mm alemmaksi riippuen mittauspaiasta.

#### 5.4.6 Endoskopiatar kastus

Endoskopiatar kastusten tarkoituksena on mahdollistaa vaurioiden löytäminen ja tarkastusten suorittaminen apulaitteiden avulla kohteista, joihin ei ole suoraa näköyhteyttä. Endoskopiatar kastuslaitteisto sisältää kameran, joka lähettää videokuvaa kaapelointia pitkin päätelaitteelle. Kuvan perusteella pyritään löytämään mahdollisia vaurioita. Endoskopiatar kastus suoritetaan tarkastusyhteistä, joita on eri puolilla turbiinia. Endoskopiatar kastuksia käytetään apuna suoritettaessa vuositarkastuksia ja rajoitetun revision tarkastuksia, joissa turbiinin kantta ei avata. Endoskopiatar kastusten ongelmana on turbiinin monimutkaisesta rakenteesta johtuen vaikeus päästä tutkimaan haluttua kohdetta. Roottorin ja johtosiipikannattimen siipien tarkastus on haasteellista ja yleensä päästään tarkastamaan vain johtosiipikannattimen alku- ja loppupään siivet. Säätyöpyörälle on tyypillisesti asennettu oma tarkastusyhteensä. Kuvassa 21 on esitetty endoskopiatar kastusyhteitä, joita kuvan mallissa on kolme. Ensimmäinen sijaitsee säätyöpyörällä, toinen johtosiipikannattimien välissä ja viimeinen turbiinin perällä, josta päästään tarkastamaan viimeisen jakson siivet.



Kuva 21. Endoskopiatarkastusyhteitä säätöpyörälle, sisäpesien keski- ja takaosalle [14, s. 1].

## 6 Mittaukset

Mittausten pääasiallinen tavoite on varmistaa turbiinin oikeiden asetusten saavuttaminen. Valmistaja on määrittellyt asetukset, joilla turbiini toimii oikein. Väärien asetusten käyttö aiheuttaa ongelmia. Tarkastustyökaluna mittaukset antavat tietoa ovatko asetukset pysyneet sallituissa arvoissa. Asetuksissa tapahtuneet muutokset indikoivat käytössä syntyneistä vaurioista. Muutoksia aiheuttavia tekijöitä ovat muun muassa mekaaninen vaurio, ylikuormittava ajotapa, epätasaisesta likaantumisesta aiheutuva värinä ja useat alajot. Esimerkkilomakkeet mittauksista löytyvät liitteestä 2. [15.]

### 6.1 Mittaukset purettaessa ja kasauksessa

Turbiinin purku- ja kasausvaiheessa tehtävät mittaukset ovat samantyyppiset. Erona mittauksissa on, että purkuvaiheen mittaustulokset kertovat käytön aikana tapahtuneista muutoksista. Kasausvaiheen mittauksen tarkoitus on asettaa oikeat asetukset, jotta turbiini toimii oikein. Turbiinirevision aikana tapahtuvissa mittauksissa pääpaino on tunnistaa vaurioita ja tehdä asennukset oikeille asetuksille. Mittauksia suorittamalla saadaan arvokasta tietoa turbiinin kunnosta. Mittatoleranssien ulkopuolelle jäävät osat poistetaan käytöstä tai korjaustoimenpiteillä palautetaan normaaliin toimintakuntoon. [15.]

### 6.1.1 Linjauksen tarkistus

Linjauksen tarkoituksena on saada roottorin ja generaattorin liitos oikeaan asemaan. Kyseisessä turbiinissa on laippaliitos generaattoriin, joka on kiinnitetty kymmenellä pultilla. Mikäli liitos ei ole oikeassa asemassa aiheutuu vääntörasituksia ja värinöitä turbiiniin, sekä generaattorin puolelle. Pitkällä aikavälillä väärästä linjauksesta syntyy laiterikkoja. [15.]

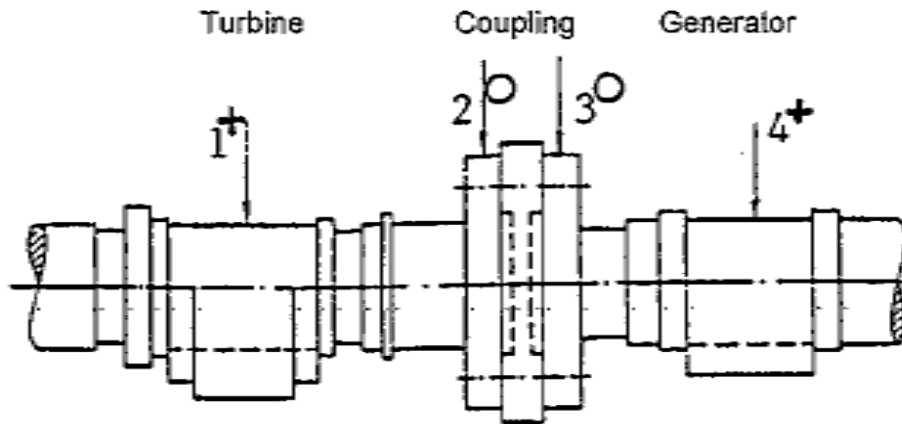
Liitoksen aseman oikeellisuus tarkastetaan suorittamalla linjausmittaukset aksiaalisessa ja radiaalisessa suunnassa mittakelloilla. Aksiaalisuuntaisessa mittauksessa kaksi mittakelloa asennetaan roottorin laipan päähän samalle linjalle. Radiaalimittaus suoritetaan asentamalla mittakello laipan kehälle. Sitten aloitetaan mittaukset. Mittaukset suoritetaan kiertämällä roottoria  $\frac{1}{4}$  kierrosta kerrallaan ja luetaan mittakelloista lukemat. Tarkoituksena on käydä koko kierros läpi. Roottorin pyörittämistä helpotetaan ruiskuttamalla nostoöljyä radiaalilaakereille nostoöljypumpulla. Laipan päässä olevista kahdesta mittakellosta voidaan päätellä kulmavirhe ja kehällä olevasta mittakellosta saadaan keskiösiirtymä. Mittaukset kirjataan ylös ja päätellään turbiinin akselin asema suhteessa generaattoriin. Tämän revision turbiinin linjaus asetetaan nolla-asemaan. Tämä tarkoittaa, että turbiinin ja generaattorin akselit ovat täsmälleen samalla linjalla. Linjaus tehdään kuitenkin aina valmistajan määrittämään asemaan. [15.]

Mikäli kyseessä on vain linjauksen tarkastus vuositarkastuksessa tai osarevisiossa tehdään korjaustoimenpiteet ja tarkastusmittaus. Isossa revisiossa jatketaan purkua ja korjaustoimenpiteet tehdään vasta kasauksen aikana. Purkuvaiheen mittauksista saadaan ennakkotietoa mahdollisesta uudelleen linjauksesta. Mikäli toiminta ei ole ollut toivottua ja värinämittauksissa on havaittu poikkeamia niin yksi syy saattaa olla väärä linjaus. Liitteessä 2 on esimerkkikaavake linjauksen suorittamisesta. [15.]

### 6.1.2 Epäkeskeisyysmittaus

Epäkeskeisyysmittaus suoritetaan kytkimen kasausvaiheessa. Mittaus suoritetaan kytkimen linjauksen jälkeen. Kytkimellä tarkoitetaan generaattorin ja turbiinin akseleiden liitosta. Mittauksen tarkoituksena on varmistaa linjauksen pysyvyys kiristettäessä laippaliitoksen kiinnityspultteja, joita kyseisessä mallissa on kymmenen kappaletta. Pulttien kiristämisestä aiheutuva vääntö pyrkii muuttamaan oikeaksi

linjattua liitosta. Mittaus suoritetaan mittakellolla laipan kehältä. Maksimissaan mittakellon näyttämä saa olla 0,03–0,04 mm:n suuruinen. [15.] Kuvassa 22 on roottorin ja generaattorin laippaliitos. Liitteessä 2 on esimerkkilomake epäkeskeisyysmittauksesta.



Kuva 22. Kytkimen mittakellojen asennuspaikat epäkeskeisyysmittauksessa. Mittauksen tarkoitus on varmistaa linjauksen pysyvyys liitoksen kiinnityspultteja kiristettäessä.

### 6.1.3 Laakerivälyksien mittaus

Aksiaalilaakerin välyksen mittaaminen tapahtuu siirtämällä roottoria aksiaalisessa suunnassa ääriasentoihin. Nostoöljy mahdollistaa roottorin liikuttelun mitauksia suoritettaessa. Alkuun mitataan roottorin käyttöasento. Käyttöasento saadaan mitattua siirtämällä roottoria höyryn kulkusuunnan suuntaisesti takapään ääriarvoonsa. Nyt roottori on painautunut aksiaalilaakeria vasten tiukasti. Käyttöasento merkataan papereissa mittana A-B. Mitta on etulaakeripukin seinästä roottorin etummaisesta akselilaakerilevyn reunaan. Akselilaakerin välys saadaan siirtämällä roottoria kohti etuasemaansa. Etu- ja taka-aseman ero on välys aksiaalilaakerissa. [15.]

Aksiaalilaakerin välysmittauksen jälkeen mitataan radiaalilaakerien välykset. Mittaus aloitetaan purkamalla aksiaalilaakerin yläosa pois. Mittaus suoritetaan nostoöljypumppu pois kytkettynä. Nostoöljyn ollessa pois päältä makaa roottori radiaalilaakerien päällä alimmassa asemassaan. Mittakellot sijoitetaan akselin yläpuolelle radiaalilaakerien viereen kello 12 asemaan. Roottoria aletaan nostaa tunkeilla. Roottoria nostetaan, kunnes roottorin akseli on radiaalilaakerien yläasemassa. Roottorin ollessa radiaalilaakerien yläasemassa mittakelloista on

luettavissa välilyönti radiaalilaakereilla. Mittaus suoritetaan sekä etu- että takapäin radiaalilaakerille. Radiaalilaakerin sivusuuntainen välilyönti on mitattava mittatulkilla. Roottorin sivusuuntainen liikuttelu on mahdotonta. Roottorin ollessa tunkattuna radiaalilaakerin yläasemassa puretaan aksiaalilaakerin alaosa pois ja lasketaan roottori takaisin radiaalilaakerien päälle. Laakerit koostuvat puolikkaista, jotka kiinnitetään toisiinsa pulteilla. Aksiaalilaakeri irrotettuna on mahdollista mitata turbiinin sisäiset välilyönti aksiaalisuunnassa, johon perehdytään seuraavassa kappaleessa tarkemmin. [15.]

#### 6.1.4 Roottorin aksiaali- ja radiaaliaseman mittaaminen

Roottorin aksiaali- ja radiaaliaseman mittaaminen voidaan suorittaa, kun on poistettu aksiaalilaakeri ja radiaalilaakerien ylemmät puolikkaat. Laakerit poistetaan, koska turbiinin sisäiset välilyönti ovat suuremmat, kuin välilyönti laakereissa. Roottorin aksiaalinen liike saadaan liikuttamalla roottoria akselin pituussuunnassa etummaiseen ja takimmaiseen ääriasemaan. Roottorin etummaisen ja takimmaisen ääriaseman erotus on turbiinin sisäinen välilyönti akselin suunnassa. Mittaukset suoritetaan samasta kohtaa, kuin mitattiin käyttöasento. Mittauksia suorittaessa nostoöljypumppu tulee olla kytkettynä päälle. [15.]

Roottorin radiaaliaseman mittauksessa menetelmä on samantyyppinen, kun radiaalilaakerin välilyönti mitattaessa. Nostoöljypumppu tulee olla kytkettynä pois. Roottori lepää nyt radiaalilaakerien alapuolisten puolikkaiden päällä. Roottori nostetaan tunkeilla yläasemaansa ja kiinnitetään mittakellot akselille asemaan kello 12. Irrotetaan radiaalilaakerien alapuolet ja lasketaan roottori niin alas, kuin se liikkuu. Radiaalilaakerien alapuolikkaat tulee irrottaa, jotta roottori saadaan laskettua alimpaan asemaansa, joka ei ole radiaalilaakerien päällä. Ala-asemassa luetaan mittakellosta mitta-arvo, joka on turbiinin sisäinen radiaalivälilyönti pystysuunnassa. Tämän jälkeen roottori nostetaan ylös, jotta saadaan asennettua radiaalilaakerin alapuolikkaat takaisin paikoilleen. Seuraavaksi roottori lasketaan radiaalilaakereiden alapuolikkaiden päälle. Radiaalilaakerin alapuolikkaan päällä roottori makaa oikein ja vältetään mahdolliset rikkoutumiset. [15.]

## 6.2 Huollon aikana tehtävät mittaukset

Revision aikana tehtävien mittausten tarkoitus on määrittää osien kunto. Esimerkkitapauksena otetaan radiaalilaakerin sisähalkaisijan mittausta. Sisämitan muutos johtuu epätasaisesta kulumisesta. Syytä on monia, mutta ensimmäiseksi tulee mieleen mahdollinen öljyn saantiongelma tai öljyn sekaan päässeet epäpuhtaudet, jotka ovat aiheuttaneet kulumista. Rikkoutuneita osia ja epätavallista kulumista tutkittaessa saadaan tärkeää lisätietoa vikaantumismekanismien selvittämiseksi tutkimalla koneen käyttöhistoriaa. Kuinka konetta on kuormitettu ja kuinka aikaisemmat revisiot ovat onnistuneet. Aina ei syytä löydetä. Oikean syyn löytäminen auttaa ehkäisemään ongelman esiintymistä jatkossa. Kyseisessä mallissa radiaalilaakerit menivät vaihtoon, koska laakerit olivat kuluneet epätasaisesti. Kuluminen on luonnollista vaativissa olosuhteissa, mutta epätavallisen suureen kulumiseen tulee kiinnittää huomiota. Esimerkkitapauksen radiaalilaakerin sisähalkaisijan mittausta voidaan laajentaa mittaamalla roottorin akselilta akselin halkaisija radiaalilaakerin kohdalta ja verrataan sitä radiaalilaakerin sisämintaan. Kohdassa tulisi olla valmistajan määrittämä välys. Välys on suunniteltu sopivaksi laakeripintojen oikean voitelun toimimiseksi. Näin saadaan tarkempaa tietoa laakeripintojen kuluneisuudesta. Sama mittausta voidaan tehdä aksiaalilaakerille, mutta mittausta tehdään aksiaalisessa suunnassa. [15.] Katso kuvat 23 ja 24 esimerkkitapauksien mittauksista.



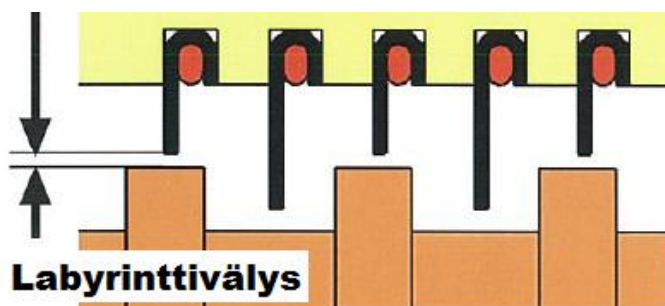
Kuva 23. Roottorin akselin halkaisijan mittausta radiaalilaakerin kohdalta. Mittausta suoritetaan osana radiaalilaakerin välysmittausta. Akselin halkaisijan mitta-arvoa verrataan radiaalilaakerin sisämintaan ja saadaan välys radiaalilaakerin ja akselin halkaisijan välillä.



Kuva 24. Aksiaalilaakerin asennuskohdan asennuspintojen välin mittaus. Mittaa verrataan aksiaalilaakerin mittaan. Näiden mittojen ero on välys aksiaalilaakerilla.

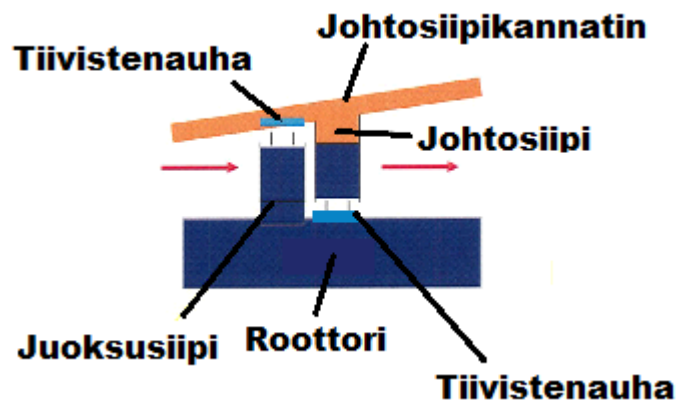
### 6.2.1 Labyrinttivälysten mittaus

Turbiinin akseli tulee tiivistää kohdista, joista akseli kulkee turbiinipesän läpi etu- ja takapäässä. Muita turbiinin sisäisiä tiivistyskohteita ovat tasapainomäntä ja johto- ja juoksusiipien päiden tiivistykset. Tiivistys toteutetaan labyrinttitiivisteillä. Labyrinttitiivisteiden toiminta perustuu höyryn kierrättämiseen tiivisteessä, jolloin syntyy pyörteilyä ja höyryn karkaaminen vaikeutuu. Täydelliseen pitävyyteen ei labyrinttitiivisteillä päästä ja vuotohöyryä pääsee ulos vähän. [15.] (Kuva 25.)



Kuva 25. Periaatekuva labyrinttitiivisteestä. Labyrinttivällys mitataan rakotulkilla kuvan osoittamasta kohdasta. [16, s. 2.]

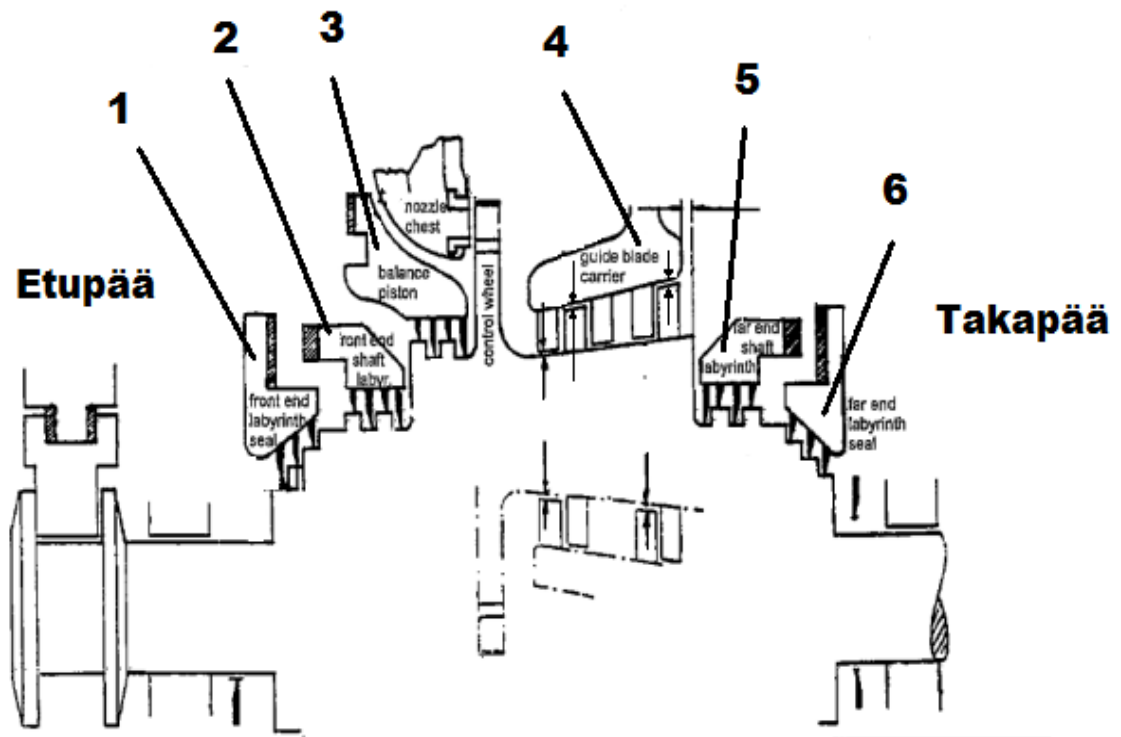
Labyrinttitiivistevällys mitataan johtosiipikannattimen tiivistenauhan ja juoksusiiven pään välistä, sekä roottorin tiivistenauhan ja johtosiiven pään välistä. (Kuva 26.) Tiivistenauhojen tarkoitus on estää höyryn kulkeminen johto- ja juoksusiipien päiden kautta. Sieltä kulkeva höyry menee hukkaan ja ei luovuta energiaa prosessiin. Kuvassa 25 on periaatekuva labyrinttitiivisteiden vällysmittauksesta. Välykset tulisi mitata jokaisesta jaksosta, joihin tiivistenaukat on asennettu, mutta yleensä vain johtosiipikannattimien etummainen ja viimeinen jakso mitataan. Mittaukset tehdään roottorin vasemmalle ja oikealle puolelle. Mittauksen tarkoitus on saada tietoa roottorin ja johtosiipikannattimien sivusuuntaisista liikkeistä. Mittaus suoritetaan mittatulkilla. Välyksen ollessa erisuuri roottorin vasemmalla ja oikealla puolella, indikoi se siirtymästä. Siirtymä on tapahtunut roottorissa tai johtosiipikannattimissa. Tavoitteena on saada roottori keskelle johtosiipikannattimia. Mikäli välykset on jokaisessa neljässä johtosiipikannattimessa toispuoleinen ja samalle puolelle on todennäköistä, että roottori on siirtynyt. Yksittäisen johtosiipikannattimen toispuoleinen labyrinttitiivistevällyksen muutos muiden kolmen ollessa oikeassa asemassaan on todennäköistä, että yksittäinen johtosiipikannattin on liikkunut. [15.]



Kuva 26. Tiivistenauhojen sijainti johtosiipikannattimessa ja roottorissa.

Akselin tiivistys turbiinin pesän ulostulokohdissa toteutetaan vaihdettavilla labyrinttitiivistemoduuleilla. Kuvassa 27 on merkattu kaikki turbiinin labyrinttitiivisteet. Toimintaperiaate kaikissa tiivisteissä on sama. Mittaus suoritetaan kaikista labyrinttitiivisteistä samalla tapaa rakotulkia käyttämällä. [15.] Rakotulkki näkyy kuvassa 28. Kaikki labyrinttitiivistemoduulit ovat vaihdettavissa, ja ison revision yhteydessä ne on syytä vaihtaa uusiin. Kuvassa 29 on turbiinin takapäin labyrinttitiivisteitä roottorin ollessa poissa paikoiltaan.





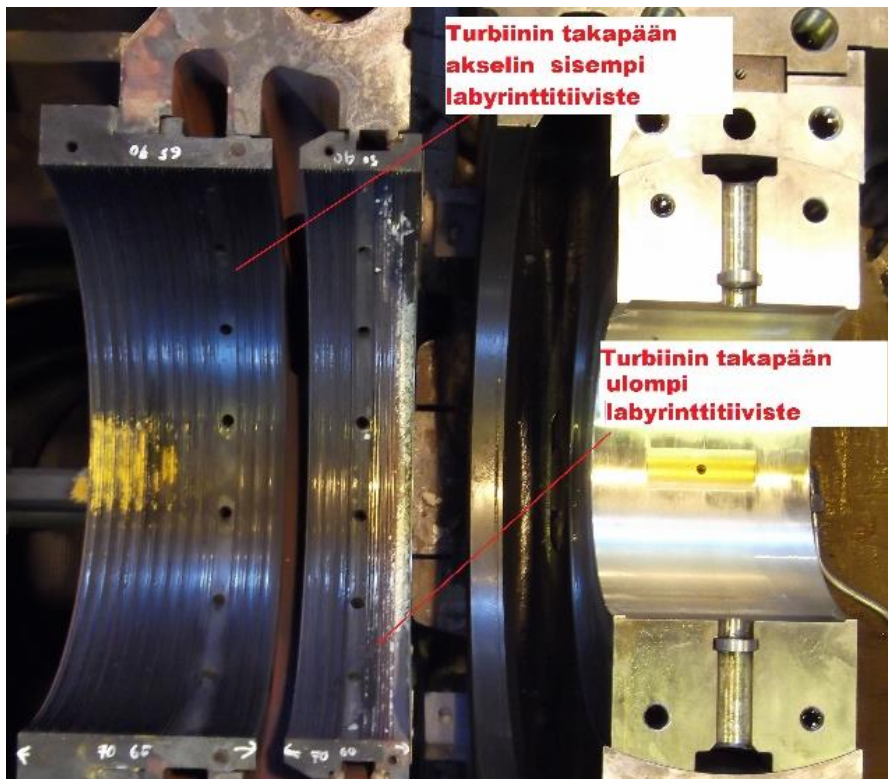
Kuva 27. Kuvassa turbiinin labyrinttitiivisteet.

Kuvassa 27 on labyrinttitiivisteiden sijainnit turbiinissa. Alapuolisessa luettelossa on nimetty kuvan numeroa vastaavan labyrinttitiivisteiden nimi.

1. Etupään ulompi labyrinttitiiviste
2. Etupään akselin sisempi labyrinttitiiviste
3. Tasapainotusmännän labyrinttitiiviste
4. Johtosiipikannattimen ja roottorin tiivistenaumat
5. Takapään akselin sisempi labyrinttitiiviste
6. Takapään ulompi labyrinttitiiviste



Kuva 28. Rakotulkki labyrinttivälysten mittaamiseksi.



Kuva 29. Turbiinin takapään labyrinttitiivisteitä roottorin ollessa poissa paikoiltaan.

Labyrinttitiivistemoduulit ovat vaihdettavia yksiköitä ja isossa revisiossa ne yleensä vaihdetaan kaikki. Alhaalla kuvassa 30 turbiinin yläkannen labyrinttitiivistemoduulien yläpuolet ovat irrotettuna ja kuvassa 31 lähikuvasta näkyy roottorin labyrinttitiivistyskohta.



Kuva 30. Turbiinin yläkannen labyrinttitiivistemoduulien puolikkaat.



Kuva 31. Roottorin labyrinttitiivistyskohta.

### 6.2.2 Pulttien venymämittaus

Kyseinen turbiini koostuu ulkopesästä ja neljästä sisäpesästä. Turbiinin pesät koostuvat puolikkaista, jotka kiinnitetään toisiinsa laippaliitoksella. Liitoskohtaa kutsutaan jakotasoksi, koska se jakaa turbiinin kahteen osaan ja on tasomainen. Turbiinin ulkopesän ja sisäpesien jakotasoliitos kiinnitetään toisiinsa pulteilla. Liitoksen pulttien kuntoa valvotaan revisioiden yhteydessä. Kunto todetaan silmämääräisellä tarkastuksella ja mittaamalla pulttien pituudet. Sisäpesät ja ulkopesä ovat kovan rasituksen alaisena, joka johtuu höyryn suuresta paineesta ja lämpötilasta. Pesät elävät lämpötilan muutosten mukaan ja muovautuvat sopiviksi asennuskohtaansa. Nämä rasitukset aiheuttavat pulteille tietyt vaatimukset. Tärkeää on saada jakotaso tiiviiksi, jottei höyry pääse karkaamaan. Liitoksen tiiveyteen vaikuttaa pultin sijainti liitoksessa, pulttien oikea kiristysmomentti ja jakopintojen tasaisuus. Pultit asennetaan samaan kohtaan liitoksessa, josta se on irrotettu. Pultit ovat muovautuneet asennuspaikkansa mukaan sopivaksi (huomaa kuvan 32 pulttien asennuspaikan numerointi). Näin vältetään vuotoja aiheuttavia jännityksiä. Pultit mitataan ennen uudelleen kiinnitystä. Pultit venyvät käytössä ja mikäli pultti venyy liikaa ja ylittää sille määritellyn maksimivenymisen arvon tulee pultti uusia. Turbiinin korkeapaineisen alkupään pultit ovat jykevempiä, johtuen siellä vaikuttavista suuremmista voimista. Pultit puhdistetaan hiekkapuhaltamalla ennen uudelleenasennusta. [15.]



Kuva 32. Ulkopesän jakotasoliitos, jossa osa kiinnityspulteista on paikoillaan. Huomaa jakotason reunassa ja pultissa oleva numerointi. Pultti asennetaan aina samaan kohtaan liitoksessa.

Kiinnityksessä Pulttien kierteisiin tulee laittaa rasvaa myöhempien aukaisujen helpottamiseksi. Kuvassa 33 näytetään pulttien kiristäminen oikeaan momenttiin asennuspalan avulla.



Kuva 33. Pulttien oikean momentin saavuttaminen mittapalalla.

Oikea momentti saavutetaan kiertämällä oikea määrä pulttia. Ensiksi pultti kiristetään tiukaksi kylmänä. Seuraavaksi merkitään kiristysviivat kuten kuvassa 33. Viivat kertovat, kuinka paljon pulttia on kierrettävä oikean momentin saavuttamiseksi. Mittapalan koko on laskennallisesti määriteltä oikeaksi, ja se on kyseisessä tapauksessa 40 mm. Pulttia lämmitetään ja kierretään, kunnes pultin viiva on holkin viivan kanssa samalla linjalla. Holkki pysyy paikoillaan kiertämisen aikana. Eri kiristysmomentti vaatii erilaisen mittapalan. [15.]

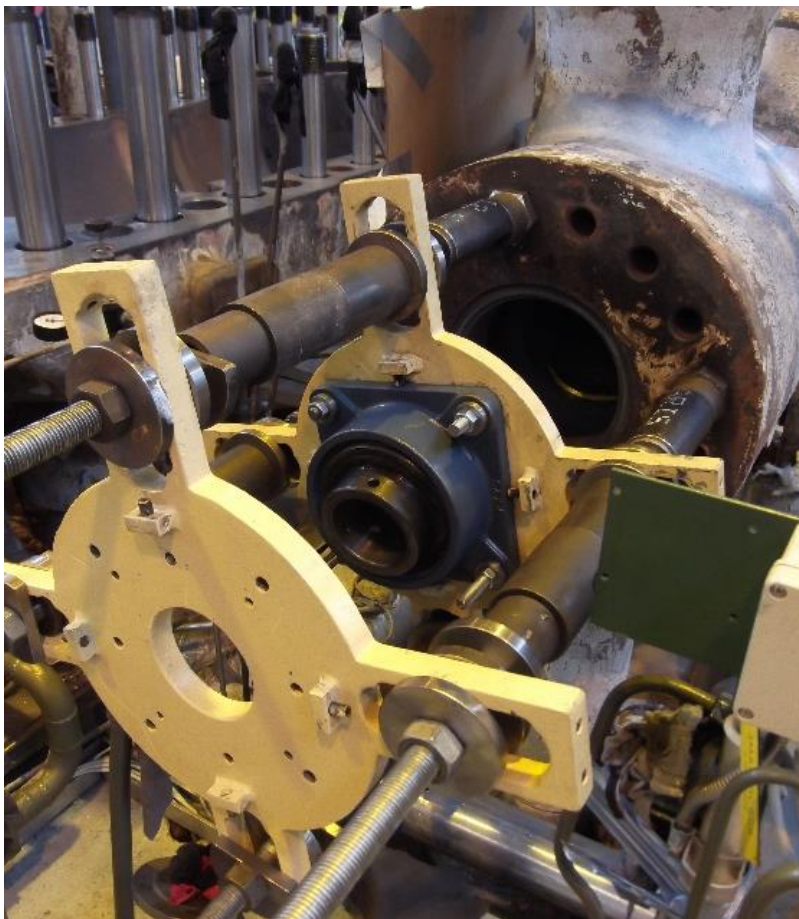
### 6.2.3 Säätöventtiilikorien mittaus

Säätöventtiilien tehtävä on säätää suuttimille menevän tuorehöyryn määrää. Kyseisessä turbiinimallissa kuristussäätöventtiilejä on kaksi. Säätöventtiili koostuu tuorehöyryputkeen asennutusta venttiilikorista, jonka sisällä säätöä tekevä mäntä

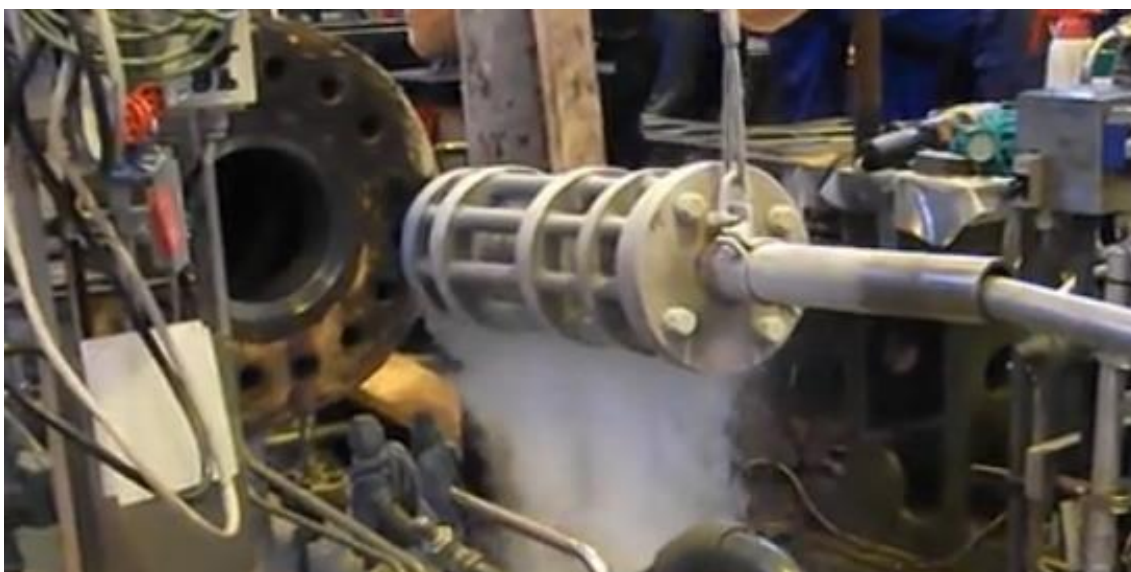
liikkuu (kuva 34). Mäntä tukkii ja avaa kanavia venttiilikorissa liikkeessaan ja näin määrittää asennolla läpi virtaavan höyryn määrän. Venttiilikorin asennus tuorehöyryputkeen on suorituseltaan vaativa. Asennusliitoksen on oltava tiukka, jotta venttiilikori pysyy paikoillaan tukevasti ja vältetään höyryvuodot asennuspintojen kautta. Venttiilikorin asennuspinnat ovat halkaisijaltaan muutaman millimetrin sadasosan suuremmat kuin asennuspinnat tuorehöyryputkessa. Tuorehöyryputken asennuspinnat koneistetaan oikean kokoisiksi ennen asennusta. Kuvassa 35 asennetaan koneistusyksikköä tuorehöyryputkeen. Asennus suoritetaan asentamalla venttiilikoriyksikkö nestemäiseen tyypeen, jolloin kylmä kutistaa koria ja mahdollistaa asennuksen tuorehöyryputkeen (kuva 36). Lämmitessään venttiiliyksikkö laajenee ja liitoksesta tulee tiukka ja tiivis. [15.]



Kuva 34. Säättömännät ja venttiilikorit molemmille tuorehöyryputkille. Säättöä tekevä mäntä asennetaan venttiilikoriin ja koko venttiilikoriyksikkö asennetaan tuorehöyryputkeen. Ennen asennusta osat puhdistetaan.



Kuva 35. Koneistusyksikön kasaus tuorehöyryputkeen venttiilikorin asennuspintojen koneistamiseksi. Venttiilikorin ja tuorehöyryputken asennusliitoksen on oltava tiukka, joten tuorehöyryputken asennuspintojen sisähalkaisija koneistetaan hieman venttiilikorin asennuspintojen halkaisijaa pienemmiksi.



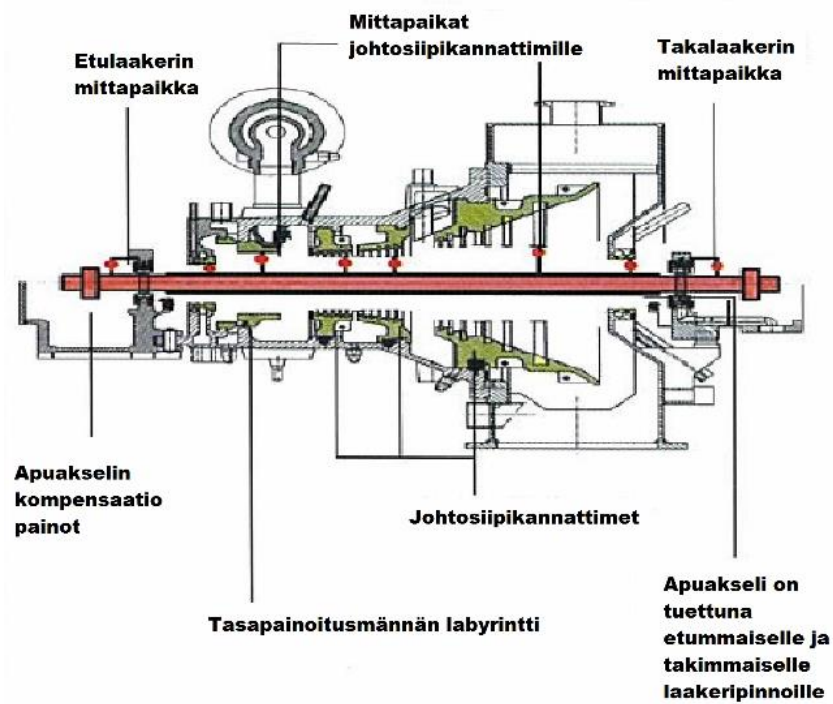
Kuva 36. Kylmäkutistettu venttiilikoriyksikkö asennetaan paikoilleen tuorehöyryputkeen.

### 6.3 Apuakselimittaus

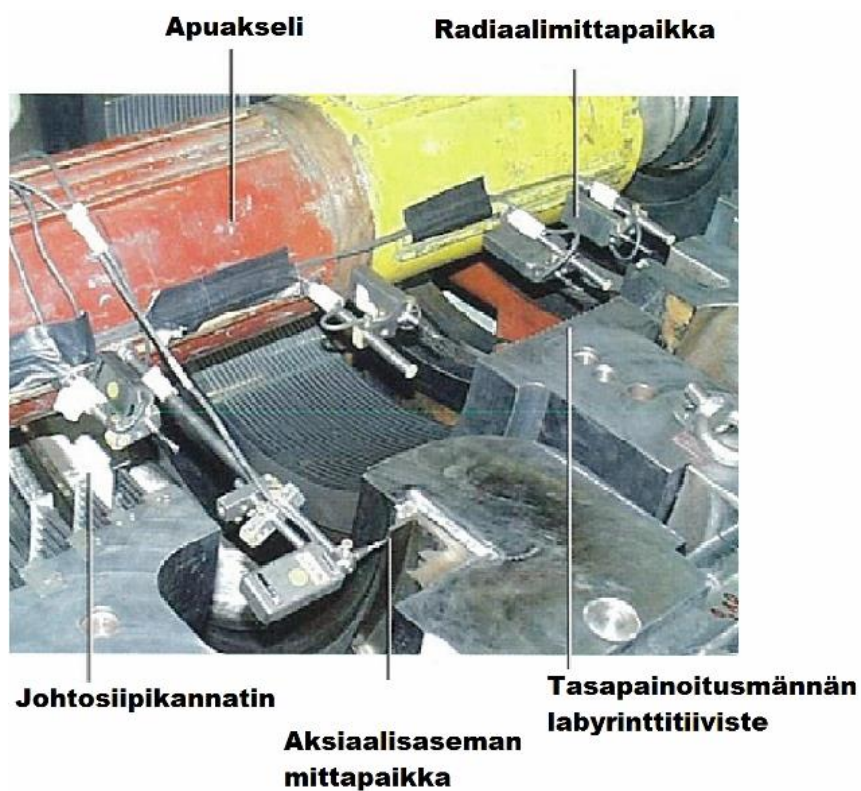
Apuakselimittauksen tarkoituksena on antaa mittatietoa, jotta turbiinin sisäiset osat voidaan asetella toisiinsa nähden oikeaan asemaan. Mittaus suoritetaan käyttämällä apuakselia. Apuakseli jäljittelee roottoria ilman roottorin siipiä. Apuakseliin on lisätty mittapäitä, jotka antavat mittatietoa mittapäätteelle apuakselin asemasta turbiinin sisällä suhteessa turbiinin staattisiin osiin. Tarvittavat asetellut staattisiin osiin tehdään asentamalla sopivan kokoiset sovituspalat asetuspinoille, jolloin osa liikkuu halutun määrän haluttuun suuntaan. Aseteltavia osia ovat johtosiipikannattimet, laakerit, laakeripukit ja labyrinttitiivisteet.

Apuakselimittauksessa sisäpesien alapuolikkaat on asennettu paikoilleen ja radiaalilaakerit asennetaan apuakseliin. Apuakseli nostetaan paikoilleen ja kiinnitetään mittapäät apuakseliin ja kalibroidaan ne. Mittapäät sijoitetaan jokaisen johtosiipikannattimen ensimmäiselle ja viimeiselle jaksolle ja aksiaalilaakerin säätöpinnalle. Kuvissa 37 ja 38 apuakseliin asennettavia mittapäitä mittauspaikoillaan. Nyt voidaan sulkea sisäpesien yläosat lämmittämällä kiristuspultteja ja kiristämällä ne oikeaan tiukkuuteen. Nostetaan turbiinin kansi paikoilleen, kiristetään jakotason pultit oikeaan tiukkuuteen ja aloitetaan ensimmäinen apuakselimittaus. Apuakselimittaus suoritetaan nostoöljypumppu päällä. Nostoöljypumppu tuottaa voitelun radiaalilaakereille ja mahdollistaa apuakselin pyörittämisen. Apuakselia pyörytetään neljäsosa kierrosta kerrallaan ja luetaan mittapäiden arvot mittapäätteeltä. Koko kierros käydään läpi ja kirjataan mittaustulokset ylös. Tulokset käydään läpi ja tehdään päätökset onko aihetta tehdä muutoksia. Halutut muutokset tehdään sisäpesiin tai laakereihin. Mikäli sisäpesien linjaus on hyvä, mutta roottori ei ole sisäpesien keskellä, niin riittää muutosten tekeminen radiaalilaakereille sovituspaloilla. Radiaalilaakerin asemamuutos vaikuttaa akselin asemaan ja akseli saadaan sisäpesien keskelle. Muutostöiden jälkeen suoritetaan apuakselimittaus uudelleen. Nyt voidaan todeta muutoksen oikeellisuus ja hyväksyä tulokset, mikäli ei tarvita lisämuutoksia. [15.]





Kuva 37. Apuakseliin asennettävien mittapäiden asennuspaikat apuakselimittausta varten [17, s. 1].



Kuva 38. Kuvassa apuakselimittauksen mittalaitteistoa asennettuna [17, s. 2].

## 7 Yhteenveto

Turbiinin kolmivaiheista huoltostrategiaa voidaan pitää onnistuneena turbiinin hyvän käytettävyyden saavuttamiseksi. Huoltostrategia tähtää turbiinissa ilmenevien vikojen aikaiseen tunnistamiseen ja korjauksiin, ennen kuin viat aiheuttavat suurempaa tuhoa. Vuositarkastuksissa tehtävät kunnonvalvonta- ja kunnontarkastukset antavat hyvää tietoa turbiinin kunnosta ja huoltotoimenpiteiden riittävydestä. Ne eivät kuitenkaan riitä antamaan täyttä kuvaa turbiinin kunnosta. Laajempaa tietoa turbiinin kunnosta saadaan revisioista, joita tulisi tehdä valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti. Revisiovälien kasvattaminen aiheuttaa turbiinin toiminnalle riskin, joka saattaa toteutuessaan aiheuttaa turbiinin alasajon ei toivottuna ajankohtana.

Revisioissa tehdään tarkastuksia, mittauksia ja huoltotoimenpiteitä. Tarkastusten tarkoitus on tunnistaa rikkoutuneet osat, sekä löytää materiaaliin kohdistuneet väsymiset, iskemät, säröt, halkeamat ja muut turbiinin käytettävyyden vaarantavat tekijät käytössä olevilla menetelmillä. Pääasiallisesti tarkastusmenetelmistä käytetään visuaali-, tunkeumaneste-, magneettijauhe-, ultraääni-, jäljenne- ja endoskopiatarkastusta. Mittausten tarkoituksena on saada turbiini koottua alkuperäisten asetteluiden mukaan. Lisäksi mittaukset antavat tärkeää tietoa turbiinin osien kunnosta. Huoltotoimenpiteillä pyritään palauttamaan turbiinin kunto mahdollisimman lähelle alkuperäistä tasoa. Huoltotoimenpiteisiin liittyy paljon puhdistustoimenpiteitä. Turbiinin likaantuminen nostaa höyryn paineita, josta seuraa ylikuormitusta. Lisäksi pinnoille kertyneen lian seurauksena laakerivoimat kasvavat, siipien taipuma suurenee, värinät lisääntyvät ja venttiilit tukkeutuvat. Lika on osatekijänä korroosion syntyyn. Hyvällä vedenkäsittelyllä, sekä suodatuksella voidaan vähentää lian pääsyä turbiiniin.

Tarkastus- ja mittaustekniikoita tulee koko ajan pyrkiä kehittämään. Parannukset laitteistossa kasvattavat tulosten luotettavuutta. Ammattitaidolla on myös suuri merkitys tarkastusten ja mittausten suorittamisessa. Kokonaisuutena revision onnistuminen vaatii turbiinityypin hyvän tuntemuksen. Täytyy osata hallita kokonaisuutta, mutta myös keskittyä jokaiseen huoltotoimenpiteeseen asianmukaisella tarkkuudella. Tärkeää on pitää laatuvaatimukset korkeana.

## Lähteet

- 1 Huhtinen, Markku, Korhonen, Risto, Pimiä, Tuomo & Urpalainen, Samu. 2011. Voimalaitostekniikka. Tampere: Opetushallitus.
- 2 Arpalahti, Esko & Väretie, V. 1981. Höyrytekniikka: Kattilat ja koneet. Helsinki: Otava.
- 3 Esimerkki turbiinin rakenteesta. 2005. Verkkodokumentti. Kyamk. <[http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt\\_kattilat/10\\_turbiini/turb\\_rakenne.htm](http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt_kattilat/10_turbiini/turb_rakenne.htm)>. Luettu 13.6.2013.
- 4 Tiilikka M. 2002. Turbiinin siivistö. VGB Power Tech-materiaali.
- 5 Dyster, Hanna. 2004. Höyryturbiinin revisiotarkastukset. Siemens-materiaali.
- 6 Siemens kuvamateriaali. 2013. Siemens AG.
- 7 Siemens AG, Power Generation. 2006. Recommended scope of material inspection during full-scope turbine inspections and overhauls. Germany: Siemens AG.
- 8 Korroosio käsikirja. 1988. Suomen korroosioyhdistys SKY. Helsinki: Suomen korroosioyhdistys SKY.
- 9 Karvonen, Aki. 2010. Voimakattilan kunnonvalvontajärjestelmä. Kandityö: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- 10 Latvala K. 2005. NDT-menetelmät painelaitteiden ja putkistojen tarkastuksissa. Kunnossapitolehti 4.
- 11 Toivonen Juha. 2009. NDT -tarkastusmenetelmät. DEKRA Industrial Oy. Vantaa: DEKRA Industrial Oy.
- 12 Latvala K. 2005. NDT-menetelmät painelaitteiden ja putkistojen tarkastuksissa. Kunnossapitolehti 5.
- 13 Siemens AG, Power Generation. 2006. Ultrasonic inspection of rivet heads of guide blade shroud bands. Germany: Siemens AG.
- 14 Siemens AG, Power Generation. 2006. Backfitting of endoscope ports. Germany: Siemens AG.
- 15 Laine, Kalevi. 2013. Työmaapäällikkö, Siemens Osakeyhtiö. Haastattelut 13.5.2013–14.6.2013.

- 16 Siemens AG, Power Generation. 2006. Seal strips in rotor prevent permanent bowing. Germany: Siemens AG.
- 17 Siemens AG, Power Generation. 2006. Internal steam turbine alignment during major overhauls by means of alignment shaft. Germany: Siemens AG.

## Höyryturbiinirevision tarkastussuunnitelma.

## Tarkastussuunnitelma

Tyyppi V50  
 Teho 55 MW  
 Pikasulkuventtiilit 2 th  
 KP-säätöventtiilien lkm 2 kpl (2 blokkia, 1+1)

## NDT- tarkastussuunnitelma

Turbiini	Tarkastusmenetelmä							Huom.
	VT	MT	PT	UT	ET	R		
<b>Pesä</b>								
Pesä (KP-alue)	X	X <sup>(2)</sup>	X <sup>(1)</sup>				X <sup>(7)</sup>	Jäljenne pesän etu- ja takapäältä Siniväritarkastus
Jakotaso	X							
Etummainen laakerirunko	X	X <sup>(2,6)</sup>	X <sup>(1,6)</sup>					
Takimmainen laakerirunko	X	X <sup>(2,6)</sup>	X <sup>(1,6)</sup>					
Johtosiipikannattimet	X	X <sup>(2,6)</sup>	X <sup>(1,6)</sup>					
Suutinsegmentit ja -putket	X		X <sup>(2)</sup>	X <sup>(5)</sup>			X <sup>(7)</sup>	Jäljenne hitsisaumasta Venymämittaus
Pultit ja mutterit	X							
Johtosiivet	X		X <sup>(5)</sup>					
Johtosiipipantojen niitinpäät	X			X				
Juoksusiivet	X		X <sup>(6)</sup>					
Roottori	X			X <sup>(6)</sup>				
Laakerit	X		X	X <sup>(4)</sup>				
Tiivisteet ja labyrinthit	X							Dimensiomittaus
<b>Venttiilit</b>								
Pesät	X	X <sup>(2)</sup>					X <sup>(7)</sup>	Jäljenteet venttiilipesistä
Pultit ja mutterit	X							
Karat ja istukat	X		X <sup>(2)</sup>					
Sisäiset putkistot	X	X <sup>(2)</sup>						
<b>Kytkin</b>								
Pultit	X							Venymämittaus
<p>X = 100% tarkastus            X<sup>(1)</sup> = Jos magneettijauhetarkastus ei ole mahdollinen            X<sup>(2)</sup> = Tarkastetaan epäjatkuvuuskohdat (pyöritykset, hitsisaumat, jne)            X<sup>(3)</sup> = Luoksepäästäviltä osin            X<sup>(4)</sup> = Tarkastetaan laakerimetallin kiinnipysyminen            X<sup>(5)</sup> = UT-tarkastus hitsisaumoille tarvittaessa, lisätyö            X<sup>(6)</sup> = Tarvittaessa tai muiden tulosten niin vaatiessa, lisätyö            X<sup>(7)</sup> = Ei kuulu standardilaajuuteen, tarkastuksesta tulee sopia erikseen            X<sup>(8)</sup> = Jompikumpi tarkastus, sovitaan myöhemmin erikseen</p>								
VT	Visuaalinen tarkastus			UT	Ultraäänitarkastus			
MT	Magneettijauhetarkastus			ET	Pyörrevirtatarkastus			
PT	Tunkeumanestetarkastus			R	Jäljennetarkastus			

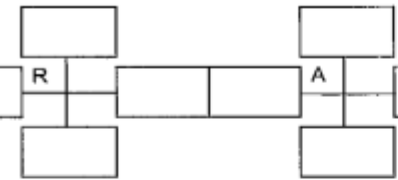
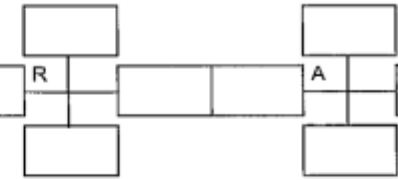
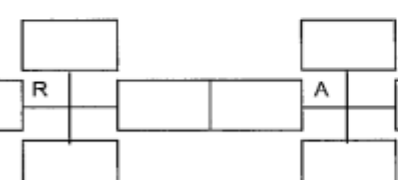
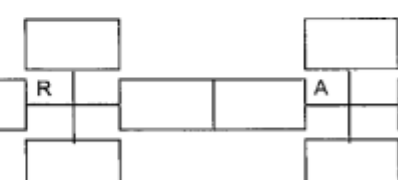
## Revision mittauslomakkeet

Esimerkkikaavake täysirevision loppuraportista, jolla varmistetaan kaikkien mittausten suorittaminen

Final Report for major overhaul						Encl. <b>11</b>
Abteilung _____ Name _____						
Serial no.:	_____	Type:	_____	Date:	_____	
User: _____ Ref-no.: _____ SAP-no.: _____				Received on _____		
Designation	Instr. manual chapt Drwg.no. / rev.	checked	Encl.	Check overhaul	Action by	
Control diagram		<input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>			
Valve adjustment diagram/ Control valve characteristic		<input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>			
Oil flow diagram		<input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>			
Steam/cond. flow diagram		<input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>			
Protection/meas. points		<input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>			
Axial displacement curve		<input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>			
Functional diagrams		<input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>			
Vibration measurement		<input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>			
Blading drawing		<input type="checkbox"/>	9 <input type="checkbox"/>			
Field erection-daily report	from _____ to _____		10 <input type="checkbox"/>			
Reports			11-15 <input type="checkbox"/>			
Reports			11-15 <input type="checkbox"/>			
Alignment/ instruction/runout measurement		<input type="checkbox"/>	16 <input type="checkbox"/>			
Check of ext. dimensions		<input type="checkbox"/>	17 <input type="checkbox"/>			
Dim. sheet valves/cages		<input type="checkbox"/>	18 <input type="checkbox"/>			
Assembly dimension sheet		<input type="checkbox"/>	19 <input type="checkbox"/>			
Dim sheet screw bolts/bolts tightening sequ.		<input type="checkbox"/>	20 <input type="checkbox"/>			
Dim. sheet blade clearance		<input type="checkbox"/>	21 <input type="checkbox"/>			
Drwg. group/control valves		<input type="checkbox"/>	23 <input type="checkbox"/>			
Components list		<input type="checkbox"/>	25 <input type="checkbox"/>			
Arrangem. drwg/ turb. sect. drwg/ casing claws/ Leveling shims		<input type="checkbox"/>	26 <input type="checkbox"/>			
Drwg emerg. stop valve/dim. sheet		<input type="checkbox"/>	27 <input type="checkbox"/>			
Workshop check of dimensions		<input type="checkbox"/>	28 <input type="checkbox"/>			
Test stand reports		<input type="checkbox"/>	29 <input type="checkbox"/>			
Modification parts list/drwg		<input type="checkbox"/>	30 <input type="checkbox"/>			
Spare parts list		<input type="checkbox"/>	31 <input type="checkbox"/>			
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Remarks:						
(Check note and encl. to be marked with a cross)		Distribution:				
Date: _____	Signature: _____	<input type="checkbox"/> TUR/S	<input type="checkbox"/> TUR/S	<input type="checkbox"/> TUR/S	<input type="checkbox"/> User	
		<input type="checkbox"/> TUR/S	<input type="checkbox"/> TUR/S	<input type="checkbox"/> TUR/S	<input type="checkbox"/> ABB-Representation	
		<input type="checkbox"/> TUR/S	<input type="checkbox"/> TUR/S	<input type="checkbox"/> TUR/S	<input type="checkbox"/> TUR/	

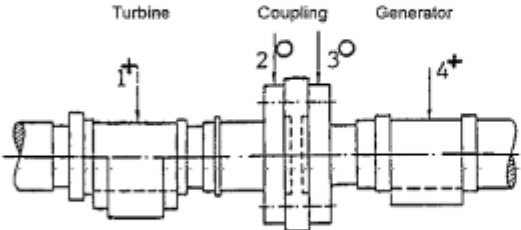
Revision mittauslomakkeet

Esimerkkikaavake turbiinin ja generaattorin linjauksesta

Alignment instruction		End. <b>16.1</b>
Abteilung: _____ Name: _____		
Serial no.:	Type:	Date:
Measuring point	Measuring point	
Coupling type	Coupling type	
Coupling clear., axial	mm	Coupling clear., axial
Alignment device fitted to	Alignment device fitted to	
Measuring radius	mm	Measuring radius
Align. desired value	Align. desired value	
Align. instruct. drwg.:	Align. instruct. drwg.:	
Turbine stands	_____ mm higher/lower _____ mm higher/lower	Gear unit stands
		_____ mm higher/lower _____ mm higher/lower
Alignment - actual value (before disassembly) - clockface values -	Alignment - actual value (before disassembly) - clockface values -	
		
Turbine stands	_____ mm higher/lower _____ mm higher/lower	Gear unit stands
		_____ mm higher/lower _____ mm higher/lower
Final / corrected alignment - clockface values -	Final / corrected alignment - clockface values -	
		
Turbine stands	_____ mm higher/lower _____ mm higher/lower	Gear unit stands
		_____ mm higher/lower _____ mm higher/lower
Date:	Signature:	

Revision mittauslomakkeet

Esimerkkikaavake epäkeskeisyydsmittauksesta

Runout measurement						Encl. <b>16.2</b>																																																
Abteilung      Name																																																						
Serial no.:		Type:		Date:																																																		
<p>Position of measuring points:</p> 																																																						
<p>Meas. point 1<sup>+</sup> + 2<sup>°</sup>: uncoupled <span style="float: right;">Maße in mm</span></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%; text-align: center;">0,03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">0,01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">180</td> <td style="text-align: center;">270</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">360</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">0,02</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">- 0,03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>							0,03								+	0,01								0,00	90	180	270			360		0,01							-	0,02								- 0,03						
0,03																																																						
+	0,01																																																					
	0,00	90	180	270			360																																															
	0,01																																																					
-	0,02																																																					
	- 0,03																																																					
<p>Meas. point 3<sup>°</sup> + 4<sup>+</sup>: uncoupled</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%; text-align: center;">0,03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">0,01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">180</td> <td style="text-align: center;">270</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">360</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,02</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">0,03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>							0,03								+	0,01								0,00	90	180	270			360		0,01								0,02							-	0,03						
0,03																																																						
+	0,01																																																					
	0,00	90	180	270			360																																															
	0,01																																																					
	0,02																																																					
-	0,03																																																					
<p>Meas. point 1<sup>+</sup> + 2<sup>°</sup>: coupled</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%; text-align: center;">0,03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">0,01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">180</td> <td style="text-align: center;">270</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">360</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,02</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">0,03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>							0,03								+	0,01								0,00	90	180	270			360		0,01								0,02							-	0,03						
0,03																																																						
+	0,01																																																					
	0,00	90	180	270			360																																															
	0,01																																																					
	0,02																																																					
-	0,03																																																					
<p>Meas. point 3<sup>°</sup> + 4<sup>+</sup>: coupled</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%; text-align: center;">0,03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">0,01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">180</td> <td style="text-align: center;">270</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">360</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,02</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">0,03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>							0,03								+	0,01								0,00	90	180	270			360		0,01								0,02							-	0,03						
0,03																																																						
+	0,01																																																					
	0,00	90	180	270			360																																															
	0,01																																																					
	0,02																																																					
-	0,03																																																					
Date:			Signature:																																																			



Revision mittauslomakkeet

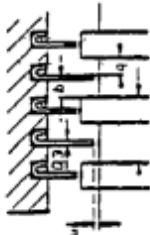
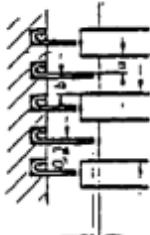
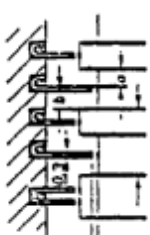
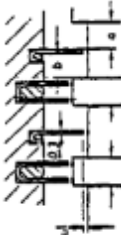
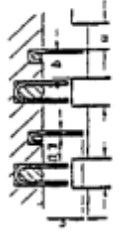
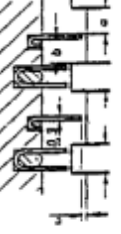

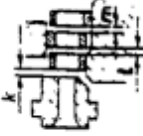
Esimerkkikaavake välismittauksista aikaisempiin revisioihin nähden (kyseessä laakerivälismittaus, roottorin asemamittaus, labyrinttimittaus etu- ja takapäätä)

Name		Check of ext. dimensions										End.					
		Serial no.:		Type:		1st Overhaul		2nd Overhaul		3rd Overhaul		4th Overhaul					
Factory		Des. Val.		bef. com.		bef. disass		on reass.		bef. disass		on reass.		Date.:		Name:	
Bearing clearance	axial																
	radial front end																
	radial far end																
Rotor's placement	Dim. A-B																
	far end																
	front end																
Labyrinth gap	total																
	Front end	upwards															
		downwards															
		total															
	Far end	upwards															
		downwards															
total																	
Oil retaining ring	axial front end																
	axial far end																
	radial front end																
	radial far end																
Flank clear.	Pump drive																
	Governor drive																
	Bevel gears																

17.1

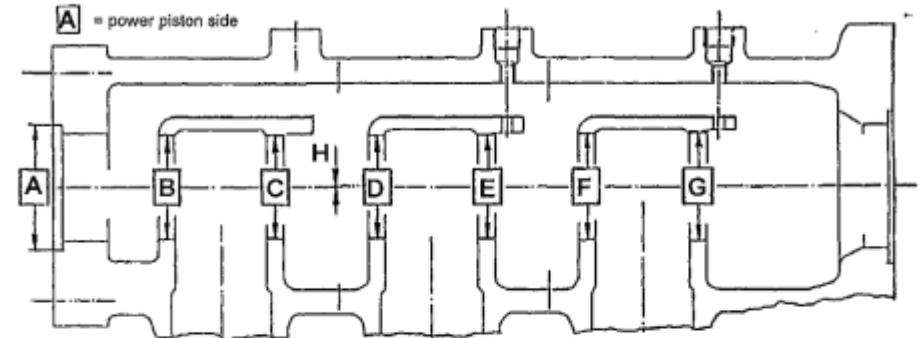
Revision mittauslomakkeet

Esimerkkikaavake labyrinttitiivisteiden mittauksista

End. <b>19.1</b>		Serial no.:		Type:																																																																																																													
Abteilung		Name		Serial no.:																																																																																																													
<b>Assembly dimension sheet Labyrinth gaps</b>		Serial no.:		Type:																																																																																																													
	<b>External shaft labyrinth front end</b>		<b>Internal shaft labyrinth front end</b>		<b>Shaft labyrinth balance piston I</b>																																																																																																												
	<b>Shaft labyrinth diaphragm</b>		<b>Internal shaft labyrinth far end</b>		<b>External shaft labyrinth far end</b>																																																																																																												
	<b>Nozzle distance LP / MP</b>		<b>Nozzle distance HP</b>																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>dim.</th><th>act.le.</th><th>act.r.</th><th>shim</th></tr> <tr><td>a</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>b</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>c</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	dim.	act.le.	act.r.	shim	a				b				c				C1				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>dim.</th><th>act.le.</th><th>act.r.</th><th>shim</th></tr> <tr><td>a</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>b</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>c</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	dim.	act.le.	act.r.	shim	a				b				c				C1				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>dim.</th><th>act.le.</th><th>act.r.</th><th>shim</th></tr> <tr><td>a</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>b</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>c</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	dim.	act.le.	act.r.	shim	a				b				c				C1				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>dim.</th><th>act.le.</th><th>act.r.</th><th>shim</th></tr> <tr><td>a</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>b</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>c</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	dim.	act.le.	act.r.	shim	a				b				c				C1				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>dim.</th><th>act.le.</th><th>act.r.</th><th>shim</th></tr> <tr><td>a</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>b</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>c</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	dim.	act.le.	act.r.	shim	a				b				c				C1				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>dim.</th><th>actual</th></tr> <tr><td>k</td><td></td></tr> <tr><td>l</td><td></td></tr> <tr><td>m</td><td></td></tr> </table>	dim.	actual	k		l		m	
dim.	act.le.	act.r.	shim																																																																																																														
a																																																																																																																	
b																																																																																																																	
c																																																																																																																	
C1																																																																																																																	
dim.	act.le.	act.r.	shim																																																																																																														
a																																																																																																																	
b																																																																																																																	
c																																																																																																																	
C1																																																																																																																	
dim.	act.le.	act.r.	shim																																																																																																														
a																																																																																																																	
b																																																																																																																	
c																																																																																																																	
C1																																																																																																																	
dim.	act.le.	act.r.	shim																																																																																																														
a																																																																																																																	
b																																																																																																																	
c																																																																																																																	
C1																																																																																																																	
dim.	act.le.	act.r.	shim																																																																																																														
a																																																																																																																	
b																																																																																																																	
c																																																																																																																	
C1																																																																																																																	
dim.	actual																																																																																																																
k																																																																																																																	
l																																																																																																																	
m																																																																																																																	
				Remark: Check of ext. dimensions Encl. 17.1																																																																																																													
Dim A-B:      mm		Datum:		Unterschrift:																																																																																																													

Revision mittauskaavakkeet

Esimerkkikaavake venttiilikorimittauksesta

Valve Cage seat										End. <b>18</b>
Abteilung										Name
Serial no.:			Type:			Date:				
										
Valve cage	Drwg.									
Control Valve	Drwg.									
Steam chest	Drwg.									
Control Valve	Drwg.				Turb. case	Drwg.	HP		LD	
Control Valve	part list									
		A	B	C	D	E	F	G	H	
desired	∅									
actually	∅									
vertically										
actually	∅									
vertically										
Valve cage										
desired	∅									
Valve cage										
actually	∅									
Remarks:										
Valve seats re-turned on:            with boring unit / drill machine										
Factory:										
Date:					Signature:					





