



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jere Pursiainen

# HÖYRYTURBIINIREVISION MITTAUSPÖYTÄ- KIRJA POHJIEN KEHITTÄMINEN

Tekniikka  
2021

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jere Pursiainen
Opinnäytetyön nimi	Höyryturbiinirevision mittauspöytäkirja pohjien kehittämisen
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	36+1 Liitettä
Ohjaaja	Reijo Kallio (Fortum), Riitta Niemelä (VAMK)

---

Opinnäytetyön tehtävänä on päivittää höyryturbiinityömailla käytettävät mittauspöytäkirja pohjat Fortum Power and Heat -yritykselle. Mittauspöytäkirja pohjia on tarkoitus käyttää mahdollisuuksien mukaan kaikissa tehdyissä turbiinirevisioissa. Työn tarkoitus on helpottaa työmaapäälliköiden ja projektipäälliköiden työtä sekä nopeuttaa loppuraporttien toimitusta asiakkaalle.

Opinnäytetyö käsittelee höyryturbiinin rakennetta ja sen toimintaa yleisellä tasolla sekä höyryturbiinityömailla suoritettuja mittauksia ja niissä käytettäviä mitaustyökaluja. Työ esittää kuinka mittauksia tulee teoriassa suorittaa ja mitä työkaluja niissä tulee käyttää.

Työn lopputulos täytti työn toimeksiantajan vaatimukset ja toiveet mittauspöytäkirja pohjista. Pohjista saatiin selkeät ja toivotun laajat, jotta niitä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman monella työmaalla.

---

### Avainsanat

Höyryturbiini, turbiinirevisio, turbiinirevision mittaukset, mittauspöytäkirja

## ABSTRACT

Author	Jere Pursiainen
Title	Updating Measurement Protocol Templates for Steam Turbine Revision
Year	2021
Language	Finnish
Pages	36+1 Appendices
Name of Supervisor	Reijo Kallio (Fortum), Riitta Niemelä (VAMK)

---

The objective of this thesis was to update measurement protocol templates for Fortum Power and Heat. These measurement protocol templates are going to be used in as many turbine revisions as possible. The purpose of this work is to facilitate the work of site managers and project managers and to speed up the return of the final reports to the client.

The thesis deals with the structure of a steam turbine and its operation at a general level, as well as the measurements performed, and the measuring devices used during the revision. The thesis shows how measurements should be performed in theory and what measuring devices should be used in them.

The result of this thesis met the requirements and wishes of the measurement protocol templates. The templates were made clear and extensive as desired so that they could be used on as many sites as possible.

---

### Keywords

Steam turbine, turbine revision, turbine revision measurements, measuring protocol template

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Työn toimeksianto.....	9
2	FORTUM POWER AND HEAT OY.....	11
2.1	Turbiini- ja generaattorihuolto .....	11
3	HÖYRYTURBIINI .....	12
3.1	Aktioturbiinin ja reaktioturbiinin erot.....	13
3.2	Lauhdeturbiini.....	14
3.3	Vastapaineturbiini.....	15
4	HÖYRYTURBIINI REVISIO .....	16
4.1	Osarevisio .....	16
4.2	Täysrevisio .....	16
5	REVISIOSSA SUORITETTAVIA MITTAUKSIA .....	18
5.1	Yleisesti.....	18
5.2	Purku- ja kasausvaiheen mittaukset .....	18
5.2.1	Linjauksen tarkastus .....	19
5.2.2	Epäkeskisyysmittaus .....	19
5.2.3	Laakerivälysten mittaus .....	20
5.2.4	Painelaakeri .....	20
5.2.5	Tukilaakeri .....	20
5.3	Huollon aikana tehtävät mittaukset.....	21
5.3.1	Akselitiivisteiden mittaus .....	22
5.3.2	Jakotason pulttien venymämittaus .....	23
5.3.3	Siipien mittaus .....	24
6	YLEISIMMÄT MITTAUSTYÖKALUT .....	27
6.1	Mittakello.....	27
6.2	Mikrometri.....	28
6.2.1	Tankomikrometri .....	29

6.2.2	Kaarimikrometri.....	29
6.2.3	Syvyysmikrometri .....	30
6.3	Työntömitta .....	30
6.4	Laserlinjaustyökalu.....	31
6.5	Rakotulkki .....	32
7	MITTAUSPÖYTÄKIRJA POHJAT .....	34
7.1	Yleisesti.....	34
7.2	Mittauspöytäkirja pohjien laatiminen.....	34
8	POHDINTA JA YHTEENVETO .....	36
	LÄHTEET .....	37

## KUVIOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Höyryturbiini. (Kauppinen 2008).....	13
<b>Kuva 2.</b> Höyryn nopeuden ja paineen käyttäytyminen. (Kauppinen 2018).....	14
<b>Kuva 3.</b> KP-turbiinin akselitiiviste. Väliotot merkattu kirjaimin. (Toivanen 1999, 30). .....	22
<b>Kuva 4.</b> Periaatekuva labyrinttitiivisteestä. (Kauppinen 2018, 190). ....	23
<b>Kuva 5.</b> Siiven aksiaalisen mittauksen periaatekuva. (Fortum työmaaraaportti)...	26
<b>Kuva 6.</b> Siiven radiaalisen mittauksen periaatekuva. (Fortum työmaaraaportti). .	26
<b>Kuva 7.</b> Mittakello. (Dial test Indicators & Dial Indicators 2020). ....	28
<b>Kuva 8.</b> Tankomikrometri. (Guide to inside micrometer 2021). ....	29
<b>Kuva 9.</b> Kaarimikrometri. (What is micrometer? 2021). ....	30
<b>Kuva 10.</b> Syvyysmikrometri. (Depht Micrometer 2021). ....	30
<b>Kuva 11.</b> Työntömitta. (How to use a vernier caliper 2021). ....	31
<b>Kuva 12.</b> Laserlinjaustyökalu. (ROTALIGN touch is made for maximum durability 2021). ....	32
<b>Kuva 13.</b> Rakotulkki. (Feeler Gauge 2021). ....	33

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Mittauspöytäkirja pohjat

**Liitteitä ei julkaista Fortum Power and Heat Oy:n pyynnöstä**

## SANASTO

- Entalpia Aineen tilaa kuvaavaa suure, joka määritellään sisäisen energian ja syrjäytymistyön ( $\text{paine} \cdot \text{tilavuus}$ ) summaksi. Sen yksikkö on kilojoule (kJ) ja se merkitään kirjaimella H.
- Paisunta Paisunta tarkoittaa ilmiötä, jossa tilavuus suurenee ja paine alenee. Lämpövoimakoneessa paisunta muuttaa koko energiaerotuksen mekaaniseksi työksi.
- Paaksaus Roottorin pyörittäminen apulaitteen avulla.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn toimeksianto

Toimeksiannon tarkoituksena tuottaa Fortum Power and Heat Oy:lle mittauspöytäkirja pohjat, joita tullaan käyttämään yrityksen höyryturbiinien korjaus- ja huoltotyömailla. Mittauspöytäkirjat pohjat tehdään yhteistyössä yrityksen ja sen henkilökunnan kanssa, joten mittauspöytäkirja pohjat tulee sisältämään tietoja, joita ei voida julkiseen jakoon antaa ja näin ollen mittauspöytäkirja pohjat jäävät luotamukselliseksi.

Työssä on käytetty Fortumin tekemiä turbiinirevisioraportteja, joista on kerätty ja yhdistetty yleisimmät mittausmenetelmät sekä niissä käytettävät mittaustyökalut. Työssä käytetyt lähteet ovat peräisin Fortumin revisioraporteista, turbiiniasiantuntijoilta sekä aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta.

Toisessa kappaleessa kerrotaan Fortum Power and Heat Oy:stä ja sen palveluista turbiineille sekä generaattoreille. Kappaleessa kerrotaan lyhyesti yrityksen rakenteesta ja minkä organisaation alla on turbiini ja generaattori huollot.

Kolmas kappale kertoo perustietoja höyryturbiinista ja mikä se oikeastaan on. Kappale antaa lukijalle käsityksen mikä höyryturbiini tarkoitus on ja kuinka höyryturbiinit voidaan erotella toisistaan toimintaperiaatteen mukaan.

Neljännessä kappaleessa kerrotaan mikä on höyryturbiinille suoritettava revisio. Mistä revisio koostuu ja milloin se tulee suorittaa.

Viides kappale kertoo lyhyesti revisiossa suoritettavista mittauksista ja miksi mittauksi ylipäättänsä tehdään. Kappaleessa kerrotaan myös yleisistä mittauskohteista ja kuinka mittauksia suoritetaan.

Kuudes kappale käsittelee yleisimpiä mittaustyökaluja, joita käytetään turbiinien mittauksissa. Kappaleessa käydään myös läpi työkalujen mittaustarkkuutta ja miten ne toimivat.

Seitsemäs kappale käsittelee tehtyjä mittauspöytäkirja pohjia. Kappaleessa käydään läpi lyhyesti syitä, joiden takia mittapöytäkirjoja on hyvä tehdä höyryturbiini työmailla ja miten mittauspöytäkirjojen päivittäminen toteutettiin.

Kahdeksas ja viimeinen kappale sisältää yhteenvedon työstä, hieman omia pohdintoja ja kuinka mittauspöytäkirjoja voisi vielä tulevaisuudessa kehittää.

## **2 FORTUM POWER AND HEAT OY**

Fortum Power and Heat on yritys, joka on perustettu vuonna 1932. Se on osakeyhtiö, jonka pääasiallinen toimiala on erimuotoiset energiapalvelut. Yhtiö jakautuu useaan erilliseen organisaatioon. Sen alla toimii muun muassa City Solutions, jonka alle Fortum eNext kuuluu. Fortum eNext tarjoaa ratkaisuja turbiinilaitoksille. Fortum eNext koostuu kahdesta erillisestä osastosta: Energy Services ja Smart Operations. Energy Serviceen kuuluu noin 160 työntekijää ja se jakautuu kolmeen osaan: turbiinit & generaattorit, kattilat ja LTSA-sopimukset. Energy Services siis tarjoaa todella kattavan palveluvalikoiman voimalaitoksille. (City Solutions)

### **2.1 Turbiini- ja generaattorihuolto**

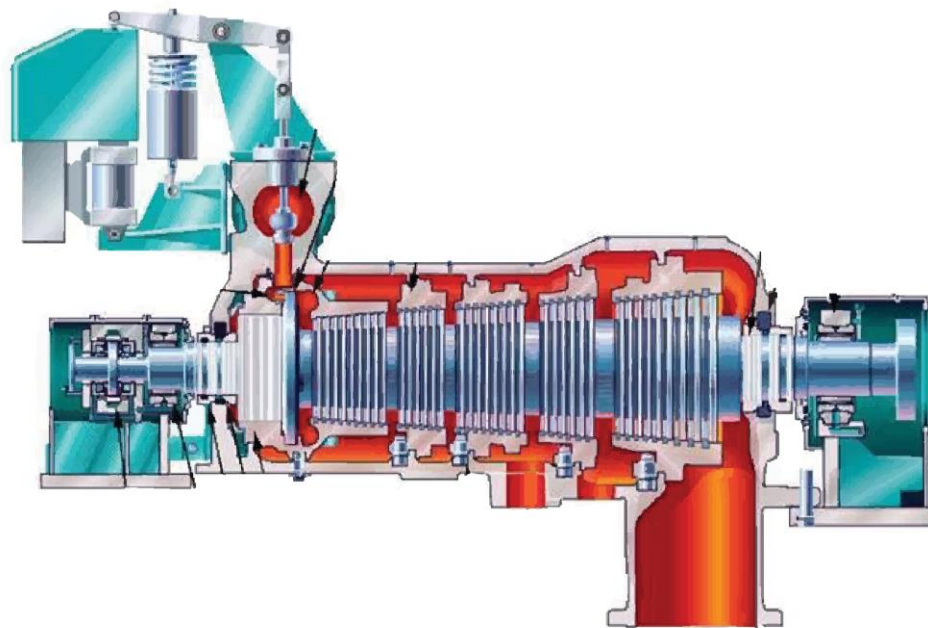
Turbiineille ja generaattoreille Energy Services tekee peruskorjauksia, modernisointeja ja huoltoja sekä pitkän ajan huoltosopimuksia. Turbiinien ja generaattoreiden korjauksia ja huoltoja yritys on tehnyt jo 30 vuoden ajan. Yrityksen toiminta pääasiallisesti painottuu Ruotsiin ja Suomeen sekä yleisesti Pohjoismaihin ja Baltiaan, vaikkakin yksittäisiä työmaita on ympäri maailmaa. Turbiini- ja generaattorihuoltoja tehdään niin höyry- kuin kaasuturbiineille. Turbiini- ja generaattorihuoltojen tavoitteena on parantaa laitteiden hyötysuhdetta niin rahallisesti kannattavampaan kuin myös energiaa säästävempään suuntaan. Espoossa on yrityksen pääkonttori, Naantalissa sijaitsee yrityksen turbiiniverstas ja Ruotsin Västeråsissa sijaitsee generaattoriverstas. (Palvelut turbiineille ja generaattoreille)

### 3 HÖRYTURBIINI

1880 luvun puolivälissä kehitettiin kaksi toisistaan toimintatavalta eroavaa höyryturbiinia Gustaf De Lavalin ja Sir Charles Parsonin toimesta. Tietämättään toistensa kehittämistä turbiineista, oli 1880 luvulla syntyneet nykypäivänäkin tunnetut reaktio ja aktioperiaatteella toimivat höyryturbiinit.

Höyryturbiini on lämpövoimakone, jonka koko riippuu energiantarpeesta ja niiden koko voi vaihdella alle 1 MW:n koneista aina suurimpiin 1 800 MW:n ydinvoimalaituskoneisiin. (Kuva 1.) Sen avulla höyryn tuottama lämpöenergia muunnetaan nopeusenergiaksi, ja nopeusenergia muunnetaan mekaaniseksi työksi, joka käytännössä tarkoittaa turbiinin akselin pyörimistä. Höyryturbiinin akseli on kytkettynä generaattoriin, joka taas tuotetulla mekaanisella työllä tuottaa sähköenergiaa. Höyryturbiinit ei ole sidottuja sähkön tuotantoon, vaan ne voivat myös pyörittää kompressoreita, puhaltimia ja pumppuja. Höyryn, eli lämmön tuottajana ennen turbiinia on yleensä fossiilinen, ydin- tai biopolttoaine. Turbiinit erotetaan toimintatavan mukaan aktio- ja reaktioturbiineihin. (Lajunen 1978, 1–2)

On mahdotonta ylläpitää useita satoja megawatteja yhdellä turbiinin osalla ja sen takia nykyään melkein kaikki modernit höyryturbiinit ovat moniosaisia. Näitä osia kutsutaan korkea-, väli- ja matalapaineosiksi. Johtuen osien määrästä sekä koosta ei voi niitä välttämättä sijoittaa yhden ulkopesän sisään vaan on ne jaettava osaturbiineiksi. Osaturbiinit omaavat oman pesän vaikkakin yhteisen akselilinjan. Yhdistelmää, jossa osaturbiinit on kytketty sarjaan pyörittämään yhtä generaattoria, kutsutaan nimellä *tandem-compound* eli *tandemyhdiste*. Turbiinin osat ja osaturbiinit on nimetty höyrynpaineen mukaisesti. Höyry paisuu turbiinin sisällä eli luonnollisesti myös sen paine laskee ja ominaistilavuus kasvaa. Turbiinin siipien koko kasvaa korkeapaineosasta matalapaineosaa kohti. Matalapaineosan siipiä ei voi kuitenkaan kasvattaa loputtomiin keskipakovoiman aiheuttaman stressin takia, mutta voi yhteen ”turbiinijunaan” liittää useampia samankokoisia matalapaineosaturbiineja. (Leyzerovich 1997, 24–28)



**Kuva 1.** Höryturbiini. (Kauppinen 2008).

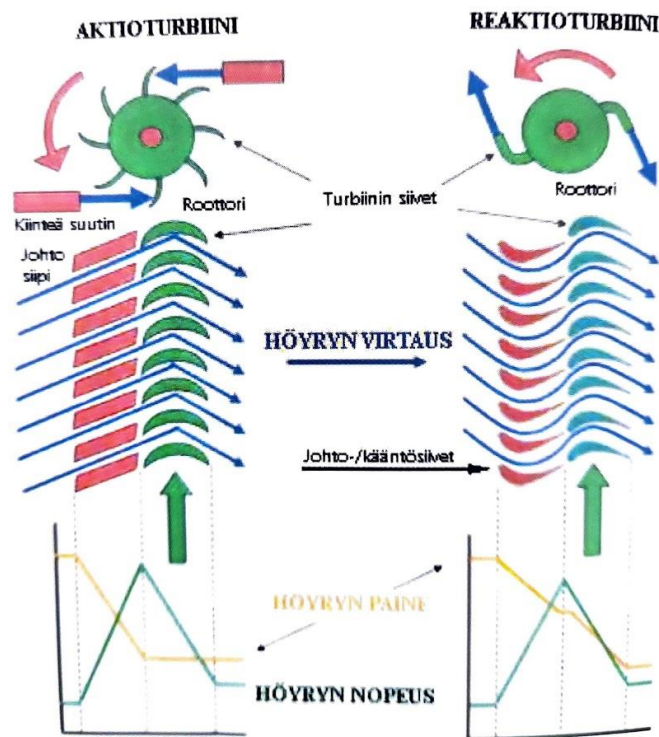
### 3.1 Aktioturbiinin ja reaktioturbiinin erot

Turbiinit voidaan jakaa kahteen ryhmään toiminta tapansa mukaisesti: aktio- ja reaktioturbiineihin. Kuitenkin nykyaikaiset voimalaitokset ovat melkein poikkeuksetta aktio- ja reaktioturbiinin yhdistelmiä. (Kauppinen 2018, 48)

Aktioturbiinia voidaan kutsua myös impulssiturbiiniksi tai ehkä tunnetummin tapaineturbiiniksi. Aktioturbiinissa ainoastaan kiinteissä johtosiivissä entalpiapuu muutetaan nopeudeksi ja juoksusiivissä höyryn suuntaa vain muutetaan, jotta se tulee paremmassa kulmassa juoksusiipiin. Kehänopeutta kasvatetaan höyrystiikun avulla ja koska entalpiamuutos tapahtuu ainoastaan johtolaitteissa, ei paine-eroa tapahdu muualla kuin johtosiivissä. (Kuva 2.) (Kauppinen 2018, 48)

Reaktioturbiini tunnetaan myös nimellä ylipaineturbiini. Reaktioturbiinissa, toisin kuin aktioturbiinissa, höyryn entalpia muuttuu nopeusenergiaksi sekä johto- että

juoksusiivissä. Kun energianmuutos tapahtuu myös juoksusiivissä, kasvaa virtausnopeus juoksusiipeen nähden. Virtaussuunnan muutos ja höyrynmassavirran kiihdytyksestä syntyvä reaktiovoima tuottaa turbiinissa työnteon. Paine ei ole sama juoksusiiven etu- ja takapuolella. (Kuva 2.) (Kauppinen 2018, 48)



**Kuva 2.** Höyryn nopeuden ja paineen käyttäytyminen. (Kauppinen 2018).

### 3.2 Lauhdeturbiini

Lauhdeturbiinit ovat tyypillisiä voimalaituskoneita koska, lauhdeturbiinia käytetään ainoastaan sähköenergian tuottamiseen. Nimensä mukaisesti höyry muuttuu lauhduttimessa vedeksi eli lauhteeksi, joka ohjataan takaisin kattilaan. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen 2008, 109)

### **3.3 Vastapaineturbiini**

Vastapaineturbiinia käytetään tyypillisimmin metsä- ja kemianteollisuudessa sekä kaukolämpölaitoksissa koska sen avulla voidaan tuottaa sekä sähkö- ja lämpöenergiaa. Kuitenkin lämpöenergian tarve on määräävä. Vastapaineturbiinin rahallinen hyöty on huomattavasti suurempi lämmön ja voiman tuotannon takia verrattuna pelkkään sähköä tuottavaan lauhdeturbiiniin. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen 2008, 109–110)

## 4 HÖYRYTURBIINI REVISIO

Höyryturbiinille suoritetaan revisio eli turbiinin huolto, kun sen hyötysuhde on heikentynyt, värähtelyt ovat muuttuneet tai valmistajan antamat käyttötunnit kertovat huollon olevan ajankohtainen. Hyötysuhteen heikentymiseen voi olla syynä esimerkiksi vesikemiasta aiheutuva kerrostuma turbiiniin sisällä tai jakotason välistä pääsevä vuotohöyry. Värähtelyihin taas voi vaikuttaa linjauksen muuttuminen, välysten muuttuminen turbiinin eri osissa tai siivissä tapahtunut vaurio. Ollisyytten jälkeen mikä tahansa on turbiinille suoritettava revisio ja syy muutoksille löydettävä. Jokaiseen revisioon kuuluu tarkastukset, mittaukset sekä mahdolliset korjaus- ja huoltotoimenpiteet. Revisiolla voidaan tarkoittaa osarevisiota tai täysrevisiota. (Kauppinen 2018, 193)

### 4.1 Osarevisio

Täysrevisioiden välissä tehdään osarevisio, jossa ei avata turbiinin pesää olleenaan vaan ainoastaan välttämättömät osat. Osarevisiossa tarkastetaan muun muassa: roottorin linjaus, laakereiden kunto ja niiden välilyökset, akselin laakerinkaulojen kunto, mitataan roottorin aksiaalinen siirtymä, venttiilien ohjauspintojen sekä sulkujousien kunto ja mahdollisen vaihdelaatikon kunto. Jos on mahdollista, tarkastetaan myös roottorin kunto endoskoopin avulla tarkastusluukuista, joita sijaitsee eri puolilla turbiinia. Mikäli mittauksissa ja tarkastuksissa tapahtuu hajontaa peilaten entisiin mittaustuloksiin, on syytä pohtia mistä ne johtuvat ja aiheuttaako se jatkotoimenpiteitä. (Kauppinen 2018, 186)

### 4.2 Täysrevisio

Täysrevisioon suurin ja huomattavin ero osarevisioon on turbiinin pesän aukaisu. Täysrevisio sisältää osarevisioon ja vuositarkastusten lisäksi turbiinin pesän sisällä olevien osien mittaukset ja tarkastukset. Toimenpiteitä, joita vain täysrevisio pitää sisällään on muun muassa: siipien välysten tarkastus, venttiilien laajamittaisempi tarkastus, pesän ja roottorin halkeamatarkastus, jakotason pulttien mittaukset ja

akselitiivisteiden välysten mittaus. Täysrevisioon kuuluu myös mahdolliselle vaihdelaatikolle suoritettavat mittaukset ja tarkastukset. (Kauppinen 2018, 186–187)

## **5 REVISIOSSA SUORITETTAVIA MITTAUKSIA**

### **5.1 Yleisesti**

Kun uusi turbiini asennetaan, säädetään turbiinin osien välykset ja akselilinjaukset valmistajan antamien ohjemittojen mukaisesti. Revision purkuvaiheessa mitataan aina uudestaan osien välykset sekä tarkistetaan akselilinja mahdollisten poikkeamien takia ja saatuja tuloksia verrataan ohjemittoihin, jotka kertovat ovatko saadut mitat toleranssien puitteissa. Poikkeamia tuloksissa voi aiheuttaa mekaaniset vauriot, ylikuormittava ajotapa, värähtelyt tai useat alasajot. Jos poikkeamat ei mahdu valmistajan antamiin toleransseihin ohjemittoissa, on osat asennettava takaisin ohjemittoihin ja poikkeaman syy selvitettävä. (Kauppinen 2018, 188)

### **5.2 Purku- ja kasausvaiheen mittaukset**

Purku- ja kasausvaiheen mittaukset eivät eroa toistaan kovinkaan paljoa. Samat mittaukset tehdään, mutta mitausten antama data hyödynnetään eri tarkoituksiin. Purkuvaiheen mitaustuloksilla selvitetään turbiinin käytön aikana tapahtuneita muutoksia, kun taas kasausvaiheessa tehtyjen mitausten tarkoitus on varmistaa oikeat asetukset ja näin mahdollistaa turbiinin oikeanlainen toiminta. Mittaukset ovat todella tärkeässä roolissa turbiinirevisiossa ja niiden pääpaino onkin mahdollisten vaurioiden tunnistamisessa ja varmistaa että asennukset tehdään oikein. Mittausten avulla saadaan paljon ratkaisevan tärkeää tietoa turbiinin nykykunnosta. Jos mitattu osa jää mittatoleranssin ulkopuolelle, pitää se poistaa käytöstä ja tai jatkotoimenpiteillä saada takaisin normaaliin toimintakuntoon. Purku ja kasausvaiheen mittauksia on esimerkiksi linjauksen tarkastus, epäkeskisyyssmittaus ja laakereiden välysten mittaus, (Kauppinen 2018, 188)

### 5.2.1 Linjauksen tarkastus

Linjauksen tarkastuksessa selvitetään, onko turbiinin ja generaattorin tai vaihteen liitos oikeassa asemassa. Esimerkkinä voidaan ottaa turbiini, joka on kytkettynä laippaliitoksella generaattoriin. Jos linjaus ei ole oikeassa asemassa, tapahtuu akselissa vääntörasitusta, joka johtaa värähtelyyn turbiinissa sekä generaattorissa ja pidemmällä ajanjaksolla voi aiheutua laakeririkkoja. (Kauppinen 2018, 188–189)

Kytkimen aseman tarkastus tapahtuu aksiaalisessa ja radiaalisessa suunnassa. Mittaus voidaan suorittaa mittakelloilla, jotka asetetaan mahdollisimman stabiiliin paikkaa kuten turbiinin pesään tai se voidaan mitata siihen tarkoitettulla digitaalisella laserlinjauslaitteella (Rotalign). Esimerkkinä kaksi mittakelloa asetetaan laipan päähän, jolla saadaan mitattua kulman muutos ja kehälle asetetaan yksi mittakello kertomaan keskiösiirtymä. Valmistaja on antanut oikean aseman, johon linjauksella aina pyritään. Jos koneelle tehdään pelkkä linjauksen tarkastus tai se tehdään osarevision yhteydessä, suoritetaan korjaustoimenpiteet ja tarkastusmittaus heti. Isossa revisiossa purku suoritetaan loppuun ja korjaustoimenpiteen tehdään vasta kasauksen aikana. (Kauppinen 2018, 188–189)

### 5.2.2 Epäkeskisyysmittaus

Epäkeskisyysmittaus eli kytkimen run out, suoritetaan linjauksen jälkeen kytkimen kasausvaiheessa. Kytkin on turbiinin akselin ja generaattorin akselin liitos. Linjauksessa selvitetään kytkimen oikea asema ja epäkeskisyysmittauksessa varmistetaan linjauksen pysyvyys, kun kytkin kasataan. Kytkimen pultteja kiristettäessä aiheutuu vääntöä, joka pyrkii muuttamaan linjattua liitosta. Mittauksessa käytetään mittakelloja, jotka asetetaan kytkimen laipan kehälle. Sen jälkeen akselia paakastetaan, jolloin pysytään huomaamaan, jos kytkimeen on tullut kasauksessa epäkeskisyttä. (Kauppinen 2018, 189)

### 5.2.3 Laakerivälysten mittaus

Laakerit ovat voideltuja liukulaakereita, joiden tarkoituksena on kannatella akselia ja estää akselin kulumista. Laakerivälysten mittaus tehdään, jotta saadaan tietää, onko tullut muutoksia laakerin välyksiin. Ennen mittauksia tai mittausten valmistuttua täytyy tietää, kuinka paljon on sallittu kuluminen ja näitä lukuja vertaamalla selviää, onko laakerit vaihdettava vai riittääkö pelkät huoltotoimenpiteet. (Kauppinen 2018, 189)

### 5.2.4 Painelaakeri

Painelaakerin eli aksiaalilaakerin tehtävänä on estää roottorin liike kiinteiden osien suhteen aksiaalisessa suunnassa. Höyryn paisuminen siivissä aiheuttaa paine-eroja, eli voimia siipisegmenteissä. Siipiin kohdistuvat voimat suuntautuvat turbiinin akselin suuntaan. Höyryn aiheuttama voima ohjataan roottorista harjakkeen kautta painelaakerisegmentteihin. (Toivanen 1999, 41) Mittaus tapahtuu siirtämällä roottoria pitkittäissuunnassa sen ääriasentoihin. Isommissa turbiineissa nostoöljy mahdollistaa roottorin edestakaisen liikuttelun. Mittaus aloitetaan mittaamalla roottorin käyttöasento, joka selviää siirtämällä roottoria höyrynkulkusuunnan mukaisesti sen takapäin ääriarvoonsa. Tässä vaiheessa roottorin pitäisi olla painuneena aksiaalilaakeria vasten. Mittapöytäkirjaan käyttöasento merkitään mittana A-B. Mitta otetaan etulaakeripukin seinästä roottorin ensimmäisen akselilaakerilevyn reunaan. Tämän jälkeen roottori siirretään kohti sen etuasemaa. Ja aksiaalilaakerin välyksen mitta on etu- ja taka-aseman ero. (Kauppinen 2018, 189)

### 5.2.5 Tukilaakeri

Tukilaakerin eli radiaalilaakerin tehtävänä on kannatella turbiinin pyöriviä osia eli sen roottoria. Tukilaakerit sijaitsevat molemmin puolin roottorin raskaimpia osia. Yhtä turbiinia voi täten kannatella jopa 6 tai 7 tukilaakeria. Tukilaakereiden koko riippuu tietysti askelin halkaisijasta sekä painosta, jota laakerin on kannateltava.

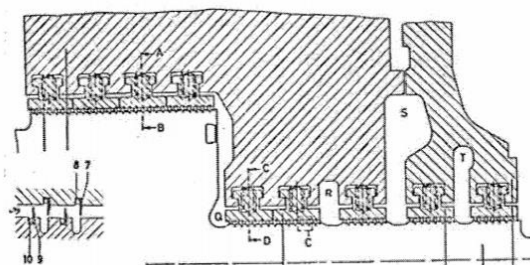
(Toivanen 1999, 42) Radiaalilaakein mittausta suoritetaan yleensä vasta huollon aikana, jolloin koko kone on avattu. Radiaalilaakerin mittauksessa aluksi poistetaan laakerin yläpuoli. Kun yläpuoli on poistettu, saadaan mitattua laakerin sivuvällykset rakotulkilla. Mittaus suoritetaan molemmilta puolilta edestä ja takaa. Kun sivuvällykset ovat mitattu voidaan mitata laakerin ylävällyys. Se saadaan laittamalla akselin päälle lyijylanka, jonka tarkoituksena on mennä kasaan, kun laakeri suljetaan. Eli laakeri käytetään kiinni, jolloin lyijylanka puristuu kasaan laakerin ja akselin välissä. Tämän jälkeen yläpuoli taas poistetaan, jolloin saadaan mitattua, kuinka paljon lyijylanka on puristunut kasaan ja näin saadaan laakerin ylävällyys selville. Ylävällyys mitataan myös edestä ja takaa sekä joissain tilanteissa voidaan merkitä myös välly keskeltä laakeria. Alapuolta ei tarvitse mitata koska se makaa nolla-asennossa laakerin päällä. Mainitut mittausmenetelmät soveltuvat suurimpaan osaan tukilaakeri tyypeistä pois lukien segmenttilaakeri, jonka sivuvällyksiä ei pysty mittaamaan. (Kauppinen 2018, 189–190)

### **5.3 Huollon aikana tehtävät mittaukset**

Huollon aikana tehtävillä mittauksilla on tarkoitus selvittää, onko turbiinin osiin syntynyt käytön aikana poikkeuksia, jotka voivat vaikuttaa koneen toimintaan. Jos mittauksissa löydetään rikkoutuneita osia tai osissa liiallista kulumista, on myös syytä selvittää mahdolliset syyt poikkeamille. Syyn löytämien on tärkeää, jotta tulevaisuudessa voitaisiin ehkäistä kyseinen ongelma. Koneen käyttöhistoriasta nähdään, kuinka konetta on kuormitettu ja onko aiemmat huollot menneet niin kuin on suunniteltu. Syytä ei kuitenkaan voida aina löytää ja on tietenkin selvää, että kuluviiksi osiksi suunnitellut, kuten liukulaakerit kuluvat käytössä ajan mittaan, mutta tärkeää onkin huomata epätavallisen suuri kuluminen. Jokaisen mitatun osan vällykselle on valmistaja määrittänyt toleranssin, joka kertoo, onko osa vaihdettava liiallisen vällyksen takia vai onko se edelleen käyttökelpoinen. Huollon aikana tehtäviä mittauksia on muun muassa akselitiivisteiden mittausta, jakotason pulttien venymämittaus ja siipien mittausta (Kauppinen 2018, 189–190)

### 5.3.1 Akselitiivisteiden mittaus

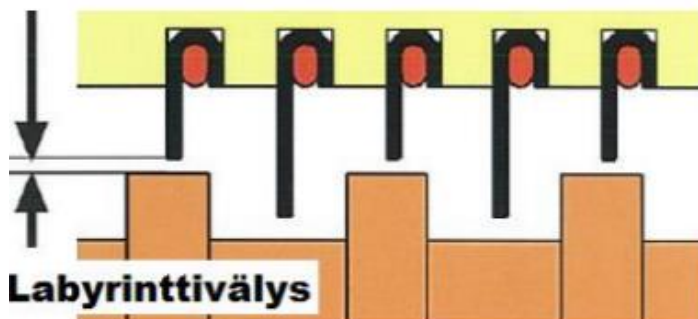
Turbiinin akselitiivisteet ja tunnetummin kutsutut tiivisteboksit tiivistävät akselin etu- ja takapäätä, josta akseli kulkee turbiinin pesästä ulos. Näissä paikoissa käytetään labyrinttitiivisteitä, jotka siis käytännössä toimii niin, että höyry kiertää tiivisteessä, jolloin tiivisteessä syntyy pyörteilyä ja höyryn karkaamien estyy. Ja koska labyrinttitiivisteissä ei ole suoranaisia tiivistäviä pintoja, pääsee vuotohöyryä vähän vuotamaan ulos. Tiivisteessä on oltava rakoa akselin säteen suuntaisesti lämpölaajenemisen aiheuttamien liikkeiden sallimiseksi. Rako säteen suuntaisesti on vain millin kymenyksiä. Höyry paisuu tiivisteiden raoissa ja näitä rakoja on useita kymmeniä peräkkäin. Koska sama höyryvirta kasvaisi ennen pitkää kriittiseksi, eivät seuraavat tiivisteet enää auttaisi, pitää tiivisteet järjestää ryhmiin, joiden välistä otetaan väliottoja. Väliotoista höyry johdetaan sopivaan paikkaan käytettäväksi hyväksi esimerkiksi VP- ja MP-turbiinien esilämmittimissä. Viimeisestä ulosostosta höyry johdetaan ulkoilmaan tai lauhduttimeen, josta lämpö voidaan ottaa talteen. (Kuva 3.) (Toivanen 1999, 34)



**Kuva 3.** KP-turbiinin akselitiiviste. Väliotot merkattu kirjaimin. (Toivanen 1999, 30).

Labyrinttitiivisteiden välykset mitataan rakotulkilla tiivistenauhan ja vastakkaisen raon välistä. (Kuva 4.) Tiivistenauhan ja raon välinen välykset tulevat mitattua jokaisen nauhan kohdalta. Mittaukset suoritetaan rakotulkilla akselin molemmilta sivuilta. Päältä ja alta mittaus suoritetaan lyijylangan ja työntömitan avulla. Jos sivuvälilyksissä on toispuoleisuutta voi se indikoida roottorin vääristä linjauksesta turbiinin pesässä. On kuitenkin huomioitava, että osa turbiinivalmistajista ottavat huomioon roottorin pyörimisen ja näin ollen voivat lisätä sivuvälilyksistä pyörimissuuntaan nähden. On

siis paras verrata tuloksia aikaisemmin saatuihin tuloksiin tai valmistajan ohjemittoihin. (Kauppinen 2018, 190)



**Kuva 4.** Periaatekuva labyrinttitiivisteestä. (Kauppinen 2018, 190).

### 5.3.2 Jakotason pulttien venymämittaus

Turbiinin ulkopesä ja sisäpesät koostuvat kahdesta puolikkaasta, jotka kiinnitetään toisiinsa laippaliitoksella. Tätä liitoskohtaa kutsutaan jakotasoliitokseksi ja liitos suljetaan pulteilla. Pulttien kunto tarkastetaan purkuvaiheessa aluksi visuaalisesti, onko niissä näkyviä vaurioita. Visuaalisen tarkastuksen jälkeen pultit mitataan ja jos pultti on venynyt liikaa käytössä, on se vaihdettava uuteen. Pesiin kohdistuu höyryn paisumisen ja kuumuuden ansiosta kovaa rasitusta, joka luonnollisesti raskittaa myös pultteja. Pulteille on asetettu tietyt vaatimukset, koska pesät elävät ja hakevat paikkaansa höyryn vaikutuksesta. Jakotason saaminen tiiviiksi on erittäin tärkeää, jottei höyryä pääse karkaamaan jakotason välistä. Jokaiselle pultille on määritetty kiristysmomentti tai venymämitta riippuen pulttien kiinnitystavasta. Pulttien oikea kiristysmomentti sekä jakotason pintojen tasaisuus ovat päätekijät jakotason pitävyydessä. Ajan mittaan pultti ja sen asennuspaikka muovautuvat yhteen, jonka takia pultit on asennettava samaan paikkaan, josta se on purkuvaiheessa otettu. Korkeapaineisessa osassa turbiinia on huomattavasti jyrkemmät pultit, höyryn korkeamman paineen takia. Ennen kasausta pultit vielä puhdistetaan ja kierteet rasvataan, jotta seuraavassa ne revisiossa lähtisivät helpommin auki. (Kauppinen 2018, 191)

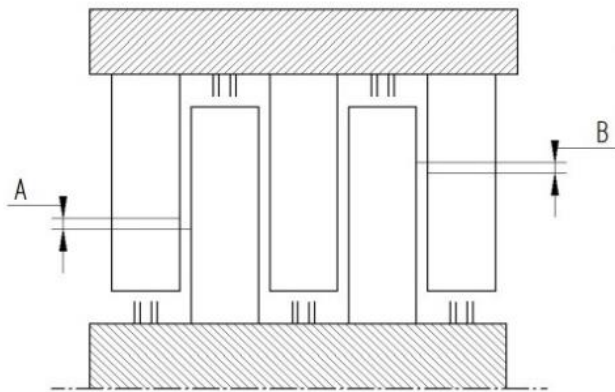
### 5.3.3 Siipien mittaus

Siivet ovat turbiinin ehkä raskaimmat osat, joiden tulee kestää todella korkeissa lämpötiloissa värähtelyä, taivutusrasitusta ja kostean höyryn aiheuttamaa eroosiota. Roottorin siipiin kohdistuu vielä suuri keskipakovoima ja siksi siipien kunnan tarkastus on todella tärkeää. Turbiini koostuu kahden tyyppisestä siivistä, johto- ja juoksusiivistä. (Toivanen 1999, 29)

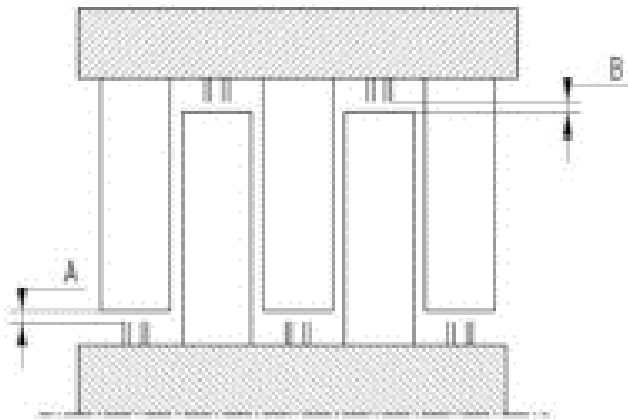
Juoksusiivet ovat kiinnitettynä turbiinin roottoriin kuten esimerkiksi tuulivoimaloiden siivet, kun taas johtosiivet ovat kiinteästi paikoillaan turbiinin pesässä. Juoksusiivet siis tuottavat turbiinin mekaanisentyön ja johtosiivet taas toimivat vähän suuttimen tavoin eli ne ohjaavat höyryn paremmasta suunnasta juoksusiipiin. Siipien pituus kasvaa aina turbiinin perää kohti mentäessä höyryn paisumisen takia. Turbiinin siipiin kohdistuvan värähtelyn ja keskipakovoiman takia siivet voidaan yhdistää toisiinsa kehärenkaalla tai joissain malleissa voidaan käyttää sidoslankoja. Kehärenkaat toimivat samalla tiivisteinä roottoria vasten höyryvuodon rajoittamiseksi siiven ohitse. Aktioturbiineissa johtosiiven ja roottorin välinen tiiveys on tärkeää koska johtosiipien yli on paine-ero ja juoksusiivissä ei paine-eroa synny. Reaktioturbiineissa taas paineenmuutos tapahtuu niin johtosiivissä kuin juoksusiivissäkin. Paine-ero aiheuttaa paikallaan pysyvien ja pyörivien osien välille virtauksen, joka aiheuttaa häviöitä turbiinissa. Häviön minimoimiseksi on siipien päihin jäävä rako tiivistettävä mahdollisimman hyvin. Lieriömäisiin johto- ja juoksusiipiin on tämän takia asennettava päällysnauha, jonka ulokkeiden ja vastapuolen tiivistenauhon ansiosta muodostuu tehokas labyrinthitiiviste. (Toivanen 1999, 30)

Siivenvälitys mitataan radiaalisessa suunnassa johtosiiven pään ja roottorin tiivistenauhan välistä sekä juoksusiiven pään ja johtosiipikannattimen tiivistenauhan välistä. (Kuva 5.) Välitys mitataan myös aksiaalisessa suunnassa siipien etu- ja takapuolilta. (Kuva 6.) Tiivistenauhan tarkoitus on estää höyryn karkaamien siipien päiden kautta, koska karannut höyry menee hukkaan eikä luovuta energiaa prosessiin. Tiivistenauhan ja siiven välinen välitys tulee mitata jokaisesta jaksosta. Mittaukset suoritetaan rakotulkilla roottorin molemmille puolille sekä lyijylangan avulla

sen ylä- ja alapuolelle. Mittauksesta saadaan selville, onko roottori siirtynyt. Jos välyys ei ole molemmin puolin sama, voi se indikoida roottorin siirtymisestä. Se kuitenkin ei vielä suoraan kerro, onko roottori vai johtosiipikannatin siirtynyt. Mutta jos jokaisessa johtosiipikannattimessa on huomattavissa toispuoleisuutta samalla puolella, on todennäköistä, että se ei johdu johtosiipikannattimen siirtymisestä vaan roottorin. Yksittäisen johtosiipikannattimen toispuoleinen muutos labyrinthivälyksessä sen sijaan voi indikoida, että yksittäinen johtosiipikannatin on siirtynyt. Tässäkin on kuitenkin huomioitava mahdollisuus tarkoituksenmukaiseen eripuoleisuuteen sivuvälyksissä. Saatuja tuloksia on siis verrattava aikaisempiin mittaustuloksiin tai ohjemittoihin, jotta voidaan varmasti todeta, ettei toispuoleisuus välyksissä ole tarkoituksenmukaista. (Kauppinen 2018, 190)



**Kuva 5.** Siiven aksiaalisen mittauksen periaatekuva. (Fortum työmaaraportti).



**Kuva 6.** Siiven radiaalisen mittauksen periaatekuva. (Fortum työmaaraportti).

## 6 YLEISIMMÄT MITTAUSTYÖKALUT

Turbiinille tehdyissä mittauksissa toistuu hyvinkin usein samojen mittaustyökalujen käyttö. Turbiinityömailla ja yleisesti metalliteollisuudessa käytettävät mittaustyökalut ovat laboratorio olosuhteissa koneistettuja ja rakennettuja todella tarkkoja työkaluja, joiden avulla voidaan ottaa mittoja millimetrin sadasosien tarkkuudella. Kaikki mittaustyökalut täytyy niiden tarkkuuden varmistamiseksi kalibroida aina kahden vuoden välein. Yleisimpiä mittaustyökaluja turbiinityömailla on rako-  
tulkki, mittakello, mikrometri, työntömitta ja laserlinjaustyökalu.

### 6.1 Mittakello

Mittakellolla voidaan mitata esimerkiksi pyörivän akselin epäkeskisyyttä asettamalla kello akselin päälle tai sivuun. Mittakellon mäntä liikkuu edestakaisin ja näin ollen se kertoo, jos akselissa tapahtuu liikettä radiaalisessa suunnassa. Sen toleranssi on yleisesti 0,01 mm ja mitta-asteikko on väliltä 0–10 mm. Mittakelloja on analogisina sekä digitaalisina versioina, joista analoginen on yleisemmin käytetty. Tämä johtuu siitä, että mittakelloa käytetään yleisemmin suhteellisen liikkeen mittaukseen ja sen tulkinta on vaikeampaa digitaaliselta näytöltä kuin analogisen mittakellon osoittimelta. Mittakelloa ei sellaisenaan pysty hyödyntämään mittauksissa, vaan se tarvitsee tukijalan, jolla se voidaan asettaa haluttuun mittaushetkeen. Useimmiten käytetään magneettista tukijalkaa, koska se takaa halutun paikan mittakellolle ja sen hienosäätöruuveilla pystyy mittakellon nollaamaan helposti ja tarkasti. (Kuva7.) (Dial test Indicators & Dial Indicators 2020)



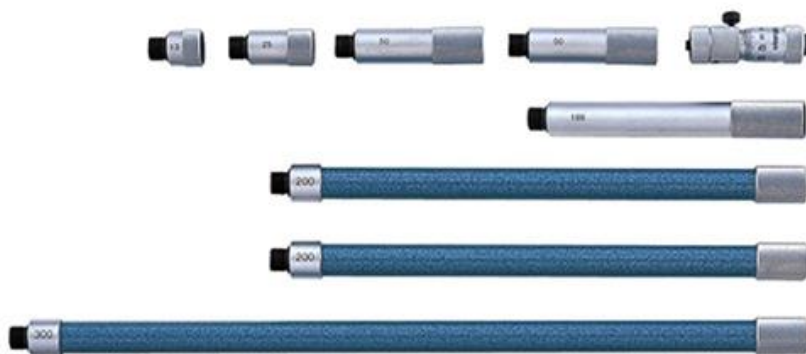
**Kuva 7.** Mittakello. (Dial test Indicators & Dial Indicators 2020).

## 6.2 Mikrometri

Mikrometriä käytetään mittauksissa, jolloin vaaditaan mahdollisimman tarkkaa tulosta. Metrisissä versioissa toleranssi on yleisesti 0,01 mm. Mikrometrit ovat todella tarkkoja mittatyökaluja ja siksi niitä käytetään paikoissa, joissa työntömitan toleranssi mittaukselle ei ole riittävän tarkka. Ne ovat todella yleisiä työkaluja mekaanisen suunnittelun puolella, jossa kappaleiden välykset ovat todella tarkkoja sekä kappaleiden yhteen istuvuus kriittisen tärkeää. Mikrometreissä on ruuvattava kara, jonka sisällä on kalibroitu ruuvi tai kierre. Ensisijainen asteikko näyttää mittaustuloksen 0,5 mm tarkkuudella ja toissijaiselta asteikolta voidaan lukea mittaustulos 0,01 mm tarkkuudella. (Kuva 8.) Mikrometrien säätövara on yleisesti vain 0–25 mm, joten aina kun haluaa siitä suurempaa kappaletta mitata pitää vaihtaa työkalu suurempaan malliin. Mikrometrejä on lukematon määrä erilaisia mutta kolme tyypillisintä on tankomikrometri-, kaarimikrometri- ja syvyysmikrometri. (What is micrometer? 2020)

### 6.2.1 Tankomikrometri

Tankomikrometri on mittaustyökalu, jolla voidaan mitata kappaleiden tai osien sisämittoja. Se koostuu yhdestä tai useammasta osasta riippuen mitattavan kohteen halkaisijasta. Säädettävä mitta-asteikko löytyy työkalun karasta. Jatkopaloja voi liittää yhteen sitä mukaan, kun mitattavan kohteen sisähalkaisija kasvaa. Väärässä asennossa oleva työkalu voi antaa kriittisen suuria heittoja, joten mittauksen tarkastus on suositeltavaa. (Guide to inside micrometer 2021)



**Kuva 8.** Tankomikrometri. (Guide to inside micrometer 2021).

### 6.2.2 Kaarimikrometri

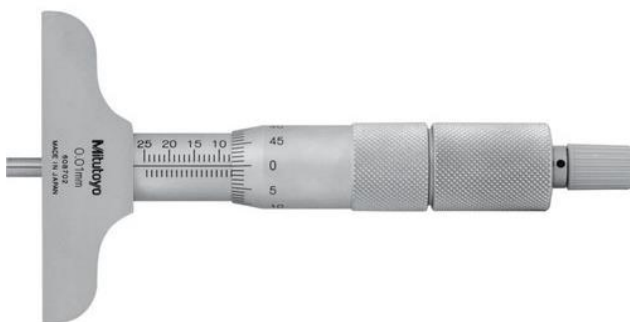
Kaarimikrometri on tarkoitettu kappaleiden ulkomittojen mittaamiseen. Nimi juontaa juurensa sen ulkoisesta muotoilusta. Se on varmasti käytetyin työkalu kappaleiden tarkkojen ulkomittojen mittauksessa. (Kuva 9.) Sen fyysistä runkoa ei voi säätää suuremmaksi kuten tankomikrometrissä vaan se on vaihdettava suurempaan malliin. Toimintaperiaatteeltaan se on samanlainen kuin muutkin mikrometrit, eli siinä on säädettävää kara, jonka asteikolta voi lukea mittaustuloksen 0,01 mm tarkkuudella. (What is micrometer? 2021)



**Kuva 9.** Kaarimikrometri. (What is micrometer? 2021).

### 6.2.3 Syvyysmikrometri

Syvyysmikrometri toimii kuten aikaisemminkin mainitut mikrometrit, erona on vain mitä sillä mitataan. Mittauksia voidaan siis sillä suorittaa 0,01 mm tarkkuudella. Mittausalue on myös tässä 25 mm kuten muissakin mikrometreissä ja sen kokoa voi muuttaa vaihtamalla säädettävää mittaustankoa. (Kuva 10.) (Depth micrometer 2021)



**Kuva 10.** Syvyysmikrometri. (Depth Micrometer 2021).

### 6.3 Työntömitta

Työntömitalta saadaan mitattua kappaleiden ulko-, sisä- ja syvyysmittoja, joten se on todella monipuolinen mittaustyökalu. Työntömitta on varmasti yleisesti käyte-

tyin mittatyökalu turbiinitaliteollisuudessa ja yleisesti metalliteollisuudessa, sen monipuolisuuden ja helppokäyttöisyyden takia. (Kuva 11.) Sen avulla saadaan otettua mittoja 0,01 mm tarkkuudella, mutta sitä ei kuitenkaan tule sekoittaa mikrometreihin. Työntömitan toleranssi on 0,03 mm, joten jos mittauksen tulee olla mahdollisimman tarkka, tulee käyttää työntömitan sijaan mikrometriä. Työntömittoja saa analogisina sekä digitaalisina versioina. Digitaaliset työntömitat ovat huomattavasti helppokäyttöisempiä sekä mittaustuloksen tulkinta on yksinkertaisempaa kuin analogisella työntömitalla. (How to use vernier caliper 2021)



**Kuva 11.** Työntömitta. (How to use a vernier caliper 2021).

#### **6.4 Laserlinjaustyökalu**

Rotalign on yksi laseria hyödyntävä linjauslaite, jonka avulla saadaan tarkempia mittaustuloksia kuin mittakelloilla. Laitteeseen pystyy piirtämään mitattavan koon ja siihen kytketyt laitteet kuten generaattorin. (Kuva 12.) Mittauspisteiden määrän voi mittaaja määrittää itse ja mittauksen jälkeen laite kertoo mihin suuntaan linjaus on vinossa, jos se on vinossa. Mittauksen valmistuttua mittaaja voi

tulostaa mittaustulokset tietokoneelle ja liittää ne kätevästi, vaikka asiakkaalle lähetettävään raporttiin. (Rotalign touch linjauslaite 2021)



**Kuva 12.** Laserlinjaustyökalu. (ROTALIGN touch is made for maximum durability 2021).

## 6.5 Rakotulkki

Rakotulkki on mittaustyökalu, joka on tarkoitettu kapeiden lovien tarkastukseen kahden kappaleen väliltä. Rakotulkkia käytetään, kun tarvitaan tarkka mitta välistä, johon ei työntömitta mahdu. Rakotulkki koostuu useasta vällyslehdestä, joiden paksuudet vaihtelevat 0,05 mm aina 1,0 mm. Vällyslehtien paksuus kasvaa 0,05 mm tai 0,1 mm, riippuen vällyslehden paksuudesta ja rakotulkin valmistajasta. (Kuva 13.) (What are feeler gauges used for 2021)



**Kuva 13.** Rakotulkki. (Feeler Gauge 2021).

## **7 MITTAUSPÖYTÄKIRJA POHJAT**

### **7.1 Yleisesti**

Mittauspöytäkirjan pääasiallinen tarkoitus on näyttää mitä ja miten tulee mitata. Jokaisesta turbiinirevisioista tehdään loppuraportti, joka luovutetaan asiakkaalle eli työntilajalle. Loppuraporttiin dokumentoidaan tehdyt työt, löydöt huolletuista laitteista sekä laitteiden mittauspöytäkirjat, joiden ansiosta asiakas saa käsityksen missä kunnossa kone on. Raportit helpottavat myös huoltoa tekevää yritystä, koska sieltä voidaan tarkistaa osien käyttöhistoria ja onko niitä edellisessä huollossa vaihdettu tai korjattu. Mittauspöytäkirjat helpottavat seuraavien huoltojen tekoa ja sinne merkitään kaikki tehdyt mittaukset jokaisesta koneen osasta taikka laitteistosta. Mittauksia tehdään kymmeniä ja jopa satoja, joten selkeä pöytäkirja pohja helpottaa sen täyttämistä sekä tulkitsemista. Useat mittaukset otetaan millin kymmenesosan ja jopa sadasosan tarkkuudella, jonka takia on tärkeää, että mittaajalla on mahdollisimman helppokäyttöinen pohja, johon voi saadut tulokset nopeasti ja helposti merkitä.

### **7.2 Mittauspöytäkirja pohjien laatiminen**

Mittauspöytäkirja pohjista puhuttaessa viitataan yritykselle tekemiini pohjiin, jotka on jätetty yrityksen pyynnöstä luottamuksellisiksi. Mittauspöytäkirja pohjat laadittiin yhdessä Fortumin turbiiniasiantuntijoiden sekä työmaapäälliköiden kanssa, joiden näkemys tuli niin teoreettisella kuin käytännön tasolla. Tämä siis tarkoittaa, useita palaveria niin etänä kuin kasvokkain. Pöytäkirjojen sisältö ja muoto muuttui useaan kertaan ennen kuin päästiin siihen kaikkia miellyttävään lopputulokseen, josta hyötyisi niin kentällä niitä käyttävät työmaapäälliköt ja asentajat kuin myös asiakkaat, joille ne revision lopussa luovutetaan. Eli pohjista täytyi saada mahdollisimman helppolukuiset sekä yksinkertaisesti täytettävät jotta mitausten merkitseminen olisi mahdollisimman sujuvaa eikä mittaajan tarvitsisi miettiä mikä tulos kuuluu mihinkin. Isoin työ olikin käydä mahdollisimman monia mittauspöytäkirjoja läpi ja selvittää mitkä tiedot ovat pöytäkirjassa hyödyllisiä, ja

mitkä vain sekoittavat sen lukijaa, että mittojen ottajaa. On mahdollista, että pohjat muuttavat vielä muotoaan ja tarittavia kohtia lisätään sekä turhia poistetaan, kunhan ne otetaan työmailla käyttöön.

Pöytäkirjoista haluttiin tehdä yleispätevät, jotta niitä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman monella työmaalla konevalmistajasta riippumatta. Ideaali tilanteessa jokaiselle turbiinivalmistajan koneelle olisi omat pöytäkirjat, koska mittaustavat ja mitattavien osien rakenne voi muuttua. Tähän ei kuitenkaan aika riittänyt vaan tehtiin päätös yleispätevistä mittauspöytäkirja pohjista. Pöytäkirjat ovat Excel-pohjaisia, jotta niiden käyttö ja muokkaaminen olisi mahdollisimman vaivatonta.

Tein pohjat yrityksen pyytämiin mittauskohteisiin, jotka ovat muun muassa: Siipien välysmittaus, akselitiivisteiden mittaus, laakerien välysten mittaus, jakotason pulttien mittaus, kytkimen linjaus ja kytkimen epäkeskisyyssmittaus. Jokaisen pohjan perustiedot ovat samat, jotta asiakas voi helposti tulkita siitä millä mitattiin, mikä kone mitattiin ja missä vaiheessa revisiota mittaus suoritettiin. Pohjissa yhdistyy sama helppolukuinen tema, vaikka mittaukset itsessään eroavat toisistaan.

## 8 POHDINTA JA YHTEENVETO

Yhteenvetona voidaan todeta, että työ onnistui niin kuin pitikin ja työn toimeksi-antaja sai sen, joka sovittiinkin insinööriyön aloituspalaverissa. Fortumin työntekijät olivat todella iso apu työn etenemisen kannalta ja mielestäni onnistuin tavoittamaan juuri ne oikeat tahot, joiden avulla työn valmistuminen olisi mahdollisimman tehokasta.

Teoriaosuuteen oli aluksi vaikea keksiä aihetta tukevaa sisältöä, kun ei itse työtä saanut laittaa yrityksen pyynnöstä julkiseksi. Mielestäni lopputulema on hyvä ja lukijalle se opettaa paljon muutakin kuin pelkästään mittauspöytäkirjojen sisällön ja vaatimukset. Teoriaosuus meinasi aluksi paisua liian suureksi kokonaisuudeksi, joka olisi jättänyt alkuperäisen aiheen varjoonsa. Nyt mielestäni työstä tuli sopivan pituinen ja aikaa jäi käytettäväksi niin teoriaosuuden kuin myös mittapöytäkirjapohjien tekemiseen.

Mittauspöytäkirja pohjia tullaan varmasti vielä kehittämään ja muokkaamaan, kunhan niiden käyttö ja testaus saadaan aloitettua työmailla. Jatkokehitystä ajatellen olisi hyvä saada tehtyä jokaisen turbiinivalmistajan koneelle omat mittauspöytäkirja pohjat sekä nykyisiin pohjiin olisi hyvä tehdä tiedostopolku. Yksilöidyt mittauspöytäkirja pohjat helpottaisivat mittajaan työtä, kun mitattavan koneen tai osan pöytäkirjapohjaa ei tarvitsisi muokata. Tiedostopolun lisääminen suoraan projektin kansioista tai M-files-järjestelmästä, helpottaisi perustietojen täyttöä huomattavasti.

## LÄHTEET

Depth micrometre. Viitattu 17.2.2021. <https://gaugehow.com/depth-micrometer/>

Dial Test Indicators & Dial Indicators. Viitattu 17.2.2021. <https://www.cnccookbook.com/dial-indicators-dial-test-indicators-easy-guide-2018/>

Guide to inside micrometre. Viitattu 17.2.2021. <https://www.calibrationinsider.com/guide-to-inside-micrometer-its-use-buying-and-calibration/>

How to use vernier caliber. Viitattu 17.2.2021. <https://www.shake-deal.com/blog/how-to-use-a-vernier-calliper/>

Huhtinen, M. Korhonen, R. Pimiä, T. Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu. Otavan Kirjapaino Oy.

Jarzabek, M. City Solutions. Fortum intranet. Viitattu 12.4.2021

Kauppinen, S. 2018. Turbiinitekniikka. 1.painos. Tampere. Tammertekniikka.

Käsimittalaitteet. Viitattu 9.2.2021 [https://www.mitutoyo.fi/application/files/7215/5888/4591/Handheld Measuring Instruments FI.pdf](https://www.mitutoyo.fi/application/files/7215/5888/4591/Handheld_Measuring_Instruments_FI.pdf)

Lajunen, M. 1978. Höyry- ja kaasuturbiinit. Uusittu painos. Tampere. Tampereen kirjapaino Oy.

Leyzerovich, A. 1997. Large power steam turbines. Volume 1. Tulsa. PennWell publishing company.

Mitutoyo tubular inside micrometre. Viitattu 17.2.2021. <https://www.microscopeworld.com/p-4216-mitutoyo-tubular-inside-micrometer-extension-rod-50-1000mm.aspx>

Palvelut turbiineille ja generaattoreille. Viitattu 2.2.2021 <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/palvelut-voimalaitoksille/enext-turbiini-ja-generaattoripalvelut>

Rakotulkki Ironside 13-lehtinen/0,05–1 mm. Viitattu 10.2.2021 <https://www.k-rauta.fi/tuote/rakotulkki-ironside-13-lehtinen005-1mm/3394661512161>

Rotalign touch linjauslaite. Viitattu 9.2.2021 <https://www.mltfinland.fi/rotalign-touch/>

ROTALIGN touch is made for maximum durability. Viitattu 9.4.2021. <https://www.linkedin.com/pulse/rotalign-touch-made-maximum-durability-sven-fleischer/>

Toivanen, M. 1999. Höyryturbiini. Fortum koulutus materiaali. (Julkaisematon materiaali)

Työntömitta Ironside 150 mm digitaalinen. Viitattu 9.2.2021 <https://www.k-rauta.fi/tuote/tyontomitta-ironside-150mm-digitaalinen/3394661511263>

Työntömitat, mikrometrit ja rakotulkit. Viitattu 9.2.2021 <https://www.k-rauta.fi/kategoria/tyokalut/kasityokalut/mitat/tyontomitat-mikrometrit-ja-rakotulkit>

What are feeler gauges used for? Viitattu 23.2.2021. <https://tengtoolsusa.com/blogs/news/what-are-feeler-gauges-used-for>