

Niklas Weckström

Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitoksen turbiinien ja generaattoreiden mekaaniset erikoismittaukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

20.4.2014

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Niklas Weckström Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitoksen turbiinien ja generaattoreiden mekaaniset erikoismittaukset 60 sivua + 3 liitettä 20.4.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia-automaatio
Ohjaaja(t)	Automaatiomestari Raimo Harju Lehtori Kai Virta
<p>Insinööriyön tavoitteena oli tutkia ja kartoittaa Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitoksen turbiinien ja generaattoreiden mekaanisia erikoismittauksia. Erikoismittausten perusteista ja mittauskohtaisista tiedoista koottua aineistoa hyödynnetään erikoismittauksiin perehdytyksessä ja kalibrointiohjeiden tekemisessä.</p> <p>Selkeillä kalibrointiohjeilla voidaan tulevaisuudessa helpottaa ja nopeuttaa viritystöitä, kuntojen valmisteluun ja suoritukseen kuluva aikaa saadaan pienennettyä.</p> <p>Työssä alussa on käyty läpi kunnonvalvonnan sekä erikoismittausten perusteet läpi. Mittausten perusteiden jälkeen siirryttiin yksityiskohtaiseen turbiinien ja generaattoreiden erikoismittausten tarkasteluun. Mittausten toteustapoja on verrattu aikaisempiin sovelluksiin ja pohdittu mahdollisia ongelmia sekä niiden ratkaisukeinoja.</p> <p>Koottu aineisto antaa hyvän yleiskuvan kunnon- ja käytönvalvonnan mittausmenetelmistä sekä niiden toteutus- ja sovellustavoista Martinlaakson voimalaitoksessa. Kattavasta erikoismittausten perustiedosta on hyötyä erikoismittausten parissa työskenteleville henkilöille.</p> <p>Aineiston kokoaminen onnistui piirikaavioita, ohjelmalistauksia ja laitemanuaaleja tutkimalle sekä voimalaitoksen kunnossapitohenkilökunnan tietotaitoa hyödyntämällä.</p>	
Avainsanat	automaatio, mekaaninen mittaus, turbiini, generaattori

Author(s) Title Number of Pages Date	Niklas Weckström Mechanical measurements of turbines and generators in Vantaan Energia Ltd's powerplant in Martinlaakso 60 pages + 3 appendices 20 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	Energy Automation
Instructor(s)	Raimo Harju, Automation Officer Kai Virta, Principal Lecturer
<p>The goal of this bachelor's degree was to survey mechanical measurements of turbines and generators in Vantaan Energia Ltd's powerplant in Martinlaakso. The gathered information is used to instruct people working with these measurements and for creating calibration instructions.</p> <p>The benefit of proper calibration instructions are an easier and more efficient measurement calibration process, while the time spent planning and executing the job is decreased.</p> <p>The work began with studying the basic theory of special mechanical measurements. After the basics we move further to explore systematically every mechanical measurement in detail. Current measurements are compared to the previous applications and solutions for possible problems are solved.</p> <p>The gathered information will give a good view of the basics of mechanical measurements of turbines and generators and the implementation of the measurements in Martinlaakso powerplant. This information will be useful for people working with these measurements.</p> <p>I was able to gather this information with the help of power plants maintenance staff and by researching circuit diagrams, program lists and device manuals.</p>	
Keywords	automation, measurement, turbine, generator

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vantaan Energia Oy	2
2.1	Yrityksen historiaa	2
2.2	Vantaan Energia tänä päivänä	3
3	Martinlaakson voimalaitos	4
3.1	Blokki 1	4
3.2	Blokki 2	5
3.3	Blokki 4	6
3.4	Vesikattila	7
3.5	Rikinpoistolaitos	7
4	Erikoismittausten merkitys kunnossapidossa	8
4.1	Kunnonvalvonta	8
4.2	Turbiinien ja generaattoreiden erikoismittaukset yleisesti	9
5	Erikoismittausten perusteita	10
5.1	Värähtelymittaukset	10
5.2	Värähtelyn synty ja vapausasteet	10
5.3	Värähtelyn suureet, anturit ja mittayksiköt	12
5.3.1	Suureet ja mittayksiköt	12
5.3.2	Värähtelyn tunnusluvut	14
5.3.3	Kiihtyvyyssanturit	15
5.3.4	Nopeusanturit	15
5.3.5	Siirtymäanturit	16
5.4	Siirtymämittaukset	16
5.4.1	Akselin siirtymä	17
5.4.2	Akselin taipuma ja venymä	18
5.4.3	Siirtymäanturit	19
6	Signaalin käsittely ja tulosten analysointi	20
6.1	Lähtötilanne	20
6.2	Mittaustulosten analysointi	20

6.3	Trendiseuranta	21
6.4	Värähtelysignaalin esittäminen taajuustasossa	21
6.5	Spektrianalyysi ja -valvonta	23
6.6	Vaihekulman mittaus	25
6.7	Verhokäyrä -menetelmä	25
6.8	PeakVue -analyysi	25
6.9	Kepstri	25
7	Zamech-turbiinin ja Dolmel-generaattorin mekaaniset erikoismittaukset	26
7.1	Järjestelmä	27
7.2	Mittaukset sekä mittaustiedot	29
7.3	Analysointi	36
8	Lang-turbiinin ja BBC-generaattorin mekaaniset erikoismittaukset	37
8.1	Järjestelmä	38
8.1.1	Bently Nevada 3500	38
8.1.2	Metso MIO/IO	40
8.2	Mittaukset ja mittaustiedot	41
8.2	Analysointi	46
9	GT8C kaasuturbiinin mekaaniset erikoismittaukset	48
9.2	Mittaukset ja mittaustiedot	49
9.3	Analysointi	56
10	Yhteenveto	57
	Lähteet	58
	Liitteet	
	Liite 1. PI-kaavio	
	Liite 2. PI-kaavio	
	Liite 3. PI-kaavio	

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

Mekaaniset erikoismittaukset	Koneiden kunnonvalvonnan värähtely- ja siirtymämittaukset
Revisio	Suunniteltu huolto
Blokki	Laitosyksikkö
PSK 5701	Kunnonvalvonnan standardi
PSK 5704	Kunnonvalvonnan standardi
ISO 10816	Kunnonvalvonnan standardi
ISO 7919	Kunnonvalvonnan standardi
Pietsosähköinen	Ilmiö, jossa kiteen pintojen välille muodostuu sähköinen jännite, kun kiteeseen vaikuttaa mekaaninen jännitys
Staattinen kuormitus	Jatkuva kuormitus
Dynaaminen kuormitus	Iskumainen kuormitus
X-Y -mittaus	Mittaus, jossa anturipari on sijoitettu 90° kulmaan toisiinsa nähden
Takopulssi	Pyörimisnopeuteen verrannollinen pulssi
FFT	Fast Fourier Transformation on laskenta algoritmi, jolla Fourier muunnos voidaan suorittaa nopeasti
PeakVue -analyysi	Aikatason signaalinkäsittelymenetelmä
Endoskooppitarkastus	Tutkimuskameralla suoritettava tarkastus

NDT-mittaus	Ultraääni-, tunkeumaneste- sekä teollisuusradiografiatarkastus
EPRO MMS 3300	Epro:n valmistama mekaanisiin erikoismittauksiin erikoistunut järjestelmä
metsoDNA	Metso Automation automaatiojärjestelmä
AIU-kortti	Valmet Damatic analogiatulokortti
AIU4-kortti	Metson analogiatulokortti
AIU8-kortti	Metson analogiatulokortti
oskillaattori	Värähtelijäpiiri, joka tuottaa korkeataajuisen signaalin
RMS	Tehollisarvo
Turbiinisuoja	Turbiinin alasajoautomaatiikan laukaiseva suojajärjestelmä
Relelähtö	Kaksitilainen lähtö
Metso ACN-CS	Metso Automation prosessiasema
Bently Nevada 3500	Erikoimittaus/kunnonvalvontajärjestelmä
TDI	Bently Nevada 3500/22M Transient data interface moduuli
AIF4-yksiköt	AIF4V ja AIF4F, Metso Automation Mekaanisen kunnonvalvonnan yksikkö
IEC 60825:19982	Laser-laitteiden turvallisuusstandardi

1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on tutkia ja kartoittaa Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitoksen turbiinien ja generaattoreiden mekaanisia erikoismittauksia. Erikoismittauksilla tarkoitetaan turbiini-generaattorin eri koneenosien värähtelyjen sekä siirtymien mittausta. Martinlaakson voimalaitoksen automaatio- ja erikoismittausjärjestelmiä on uudistettu perusteellisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana, minkä takia ajantasaiselle kartoitukselle oli tarvetta.

Työn tavoitteena on muodostaa selkeä kuva mittausten toteutuksesta ja järjestelmistä sekä tutkia mahdollisia ongelmia ja luoda niiden pohjalta kehitysnäkemyksiä. Koottua tietoa voidaan käyttää käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan perehdytyksessä. Työn aikana kerättyä tietoa hyödynnetään myös mittalaitteiden kalibrointiohjeiden tekemisessä. Selkeistä kalibrointiohjeista on hyötyä kunnossapitohenkilökunnalle, varsinkin suurempien revisioiden yhteydessä. Niiden avulla voidaan helpottaa ja nopeuttaa viritystöitä, kun töiden valmisteluun ja suoritukseen kuluva aika saadaan lyhennettyä.

Erikoismittausten teoriaosuudessa käydään läpi eri kunnonvalvonta- ja mittausmenetelmien perusteita. Turbiini-generaattori -kohtaisessa tarkastelussa esitellään kaikki mekaaniset erikoismittaukset yksityiskohtaisesti ja käydään läpi aikaisempien mittausten toteutustapoja.

Erikoismittausten kartoitukseen tarvittavaa tietoa saatiin tutkimalla piirikaavioita, ohjelmalistauksia, laitemanuaaleja sekä tarkastelemalla mittauskohteita paikan päällä. Voimalaitoksen kunnossapitohenkilökunta antoi paljon käytännön tietoa mittauksista ja ohjelmalistauksien tulkitsemisesta.

2 Vantaan Energia Oy

2.1 Yrityksen historiaa

Vantaan Energia Oy on yksi Suomen suurimmista kaupunkienergiayhtiöistä, jonka pitkä historia ulottuu 1910-luvun alkuun saakka. Vuonna 1910 perustettiin Malmin Sähkölaitos Oy, jolloin yritys keskittyi sähkön myymiseen oman tuotannon puuttuessa. Vuoteen 1973 mennessä yrityksen nimi ja toimipaikka oli muuttunut useaan otteeseen, kunnes nykyisten toimitilojen valmistuttua toimipaikka vakiintui Vantaan Tikkurilaan ja nimi vaihtui Vantaan Sähkölaitos Oy:ksi. (1.)

Lämmitystarpeen kasvaessa Vantaalla vuonna 1969 yritys aloitti kaukolämpötoiminnan ja päätti lämmitysvoimalaitoksen rakentamisesta Vantaan Martinlaaksoon. Öljykäyttöinen vastapainevoimalaitos valmistui vuonna 1975, minkä sähkö- ja kaukolämpötehon tuotti Tampella Oy:n kattila ja puolalainen turbiini-generaattori Zamech/Dolmel. Tuolloin laitoksen sähköteho oli 60 MW ja kaukolämpöteho 117 MW. (1; 2, s. 118.)

Öljyn markkinahinnan kasvaessa yritys päätti laajentaa Martinlaakson voimalaitosta rakentamalla hiilikäyttöisen kattilalaitoksen. Vuonna 1982 valmistunut A. Ahlström Oy:n toimittama hiilikattilaitos korvasi toiminnallaan öljykattilan. Hiilikattilalle päätettiin hankkia uusi turbiinilaitos vuonna 1987, minkä toimitti unkarilainen konetehtas Lang ja generaattorin sveitsiläinen BBC. Laitos valmistui käyttöön vuonna 1989 ja tuotti 80 MW sähkötehoa ja 135 MW kaukolämpötehoa. Hiilikattilan yhteyteen rakennettiin vuonna 1993 rikinpoistolaitos. (1; 2, s. 146–147, 160, 170.)

Vantaan Sähkölaitos Oy aloitti ensimmäisenä pääkaupunkiseudun energiayhtiönä maakaasun käytön vuonna 1986, jolloin Tampellan kattilalaitos muutettiin raskasöljykäyttöisestä maakaasukäyttöiseksi. (1; 2, s. 161.)

Vantaan Sähkölaitos Oy rakensi vuonna 1993 yhteistyössä YTV:n jätehuoltolaitoksen kanssa Suomen ensimmäisen biokaasuvoimalaitoksen Seutulän kaatopaikalle, missä kaasumootorivoimalassa sekä lämpökattilassa poltettu kaasu tuottaisi sähköä 450 kW ja lämpöä 700 kW. (2, s. 184.)

Edelleen kasvaneen sähkön tarpeen kattamiseksi Martinlaaksoon rakennettiin kaasuturbiini ja lämmöntalteenottokattila, jotka valmistuivat vuonna 1995. Kaasuturbiini GT8C hankittiin sveitsiläiseltä ABB Power Generation Ltd:ltä ja lämmöntalteenottokattilan toimitti A. Ahlström Oy. (2, s. 183.)

Sähkömarkkinoiden avautuessa vapaalle kilpailulle vuonna 1996 muutettiin myös yrityksen nimi nykyiseksi Vantaan Energia Oy:ksi (1).

Konserniksi Vantaan Energia Oy muuttui vuoden 2007 alusta, omistajina Vantaan (60 %) ja Helsingin (40 %) kaupungit (1). Emoyhtiö Vantaan Energia myy sähköä ja kaukolämpöä sekä vastaa kaukolämpöverkoston rakentamisesta ja huollosta Vantaan alueella. Lisäksi se tarjoaa maakaasua teollisuuden tarpeisiin. (3.)

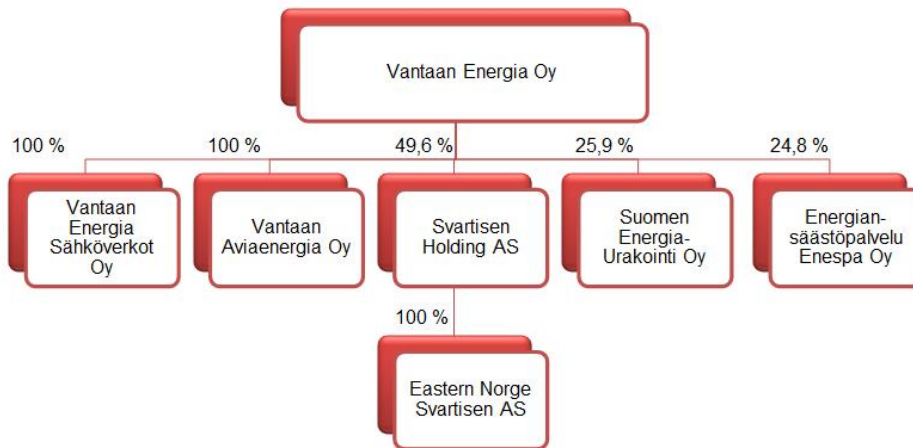
2.2 Vantaan Energia tänä päivänä

Merkittävä osa sähköntuotannosta on syntynyt tähän mennessä Martinlaakson voimalaitoksessa lämmön ja sähkön yhteistuotannossa maakaasua ja kivihiihtä pääpoltoaineena käyttäen. Lähitulevaisuudessa Vantaan Energia pystyy jätevoimalahankkeen avulla vastaamaan Vantaan kaupungin orgaanisen kasvun myötä lisääntyneeseen sähkön ja lämmön kysyntään. (4.)

Vantaan Energialla on oma yhteiskuntavastuustrategia, jossa vastuullisuudella on kolme ulottuvuutta: kannattava talous, sidosryhmien huomioiminen sekä ympäristöstä huolehtiminen, jossa vastuu ympäristöstä ja energiatehokkuuden parantamisesta ovat keskeisiä lähtökohtia (5). Jätevoimalahankkeen on suunniteltu vähentävän hiilenkäyttöä sähkön- ja lämmöntuotannossa noin 30 % ja yhtiön kokonaispäästöjä noin 20 % yrityksestä (6). Suunnitelmien mukaan jätevoimala otettaisiin käyttöön loppukesällä 2014 ja se tulee korvaamaan Martinlaakson yhden käyttöikänsä loppuun tulevan tuotantoyksikön Martinlaakso 1:n (7, s. 4).

Konsernin liikevaihto vuonna 2013 oli 379,0 miljoonaa euroa, josta emoyhtiön osuus oli 342,3 miljoonaa euroa. Oma ja osakkuussähköntuotanto oli yhteensä 1420 GWh, josta Martinlaakson voimalaitos tuotti 652 GWh. Kaukolämpöä Martinlaaksossa tuotettiin yhteensä 1448 GWh. Kokonaisuudessaan Vantaan Energia -konserni työllisti keski-

määrin 369 henkilöä. (7, s. 4–7.) Vantaan Energia Oy:n konsernirakenne on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1 Vantaan Energia Oy:n konsernirakenne (7)

3 Martinlaakson voimalaitos

3.1 Blokki 1

Martinlaakson blokki 1 koostuu Tampellan maakaasulämmitteisestä kattilasta ja puolalaisesta Zamech/Dolmel turbiini-generaattorista. Turbiinilaitos koostuu kaksipesäisestä kaukolämpöturbiinista ja vetyjäähdytteisestä generaattorista, minkä sähköteho on 60 MW. Turbiini ja generaattori on esitetty kuvassa 2. Kattilassa palamisessa vapautunutta lämpöenergiaa käytetään paineistetun veden höyrystämiseen ja tulistamiseen. Korkeapaineinen tulistettu höyry johdetaan turbiinin korkeapaineosan staattorin johtosiivistöön, jossa höyry laajenee paineen alenemisen vaikutuksesta ja sen virtausnopeus kasvaa. Johtosiivet ohjaavat höyryvirran roottorin juoksusiiville, minkä seurauksena roottori alkaa pyöriä höyryvirran vaikutuksesta. Turbiinin roottori on kytketty generaattorin akseliin, jolloin höyryn tuottama mekaaninen pyörimisenergia muutetaan sähköksi. (8, s. 20.)



Kuva 2 Zamech/Dolmel -turbiini/generaattori

Tampellan kattilaa käytetään pääasiassa huippu- ja varatehon tuottamiseen. Pääpolttoaine on maakaasu ja tuki/varapolttoaineena voidaan käyttää raskasta polttoöljyä. Kattilaa käytetään keskimäärin vuodessa noin 1800 tuntia ja sen polttoaineteho on 196 MW. (8, s. 14.)

Martinlaakson voimalaitoksessa höyryä voidaan johtaa jokaiselta kattilalta molemmille höyryturbiineille. Voimalaitoksen perustehon tuottamisessa käytetään pääasiassa blokki 2:n höyrykattilaa sekä blokki 4:n kaasuturbiinilaitosta. (8, s. 14.)

3.2 Blokki 2

Martinlaakson voimalaitoksen 2. blokissa höyryn tuottaa A. Ahlström Oy:n toimittama luonnonkiertoinen nurkkapolttainen kivihiilipölylaitos, joka otettiin käyttöön vuonna 1982. Kattila on polttoaineteholtaan 230 MW. Aluksi kattilan tuottama höyry käytettiin 1. blokin höyryturbiinissa, kunnes blokki 2:n oma turbiinilaitos valmistui ja otettiin käyttöön vuonna 1989. Turbiini ja generaattori on esitetty kuvassa 3.

Kattilan pääpolttoaineena käytetään kivihiiltä, mutta myös maakaasun ja raskaan polttoöljyn käyttö kivihiilen kanssa tai erikseen on mahdollista kolmessa poltintasossa. Kattilan tuottaman savukaasun rikinpoistoon rakennettiin vuonna 1993 ABB Fläkt Oy:n toimittama rikinpoistolaitos. Laitosta pystytään käyttämään täydellä teholla riippumatta käytetystä polttoaineesta. Käyttötunteja blokki 2:lle kertyy noin 5000 - 6000 tuntia vuodessa, noin 85 % hyötysuhteella. (8, s.14–15.)



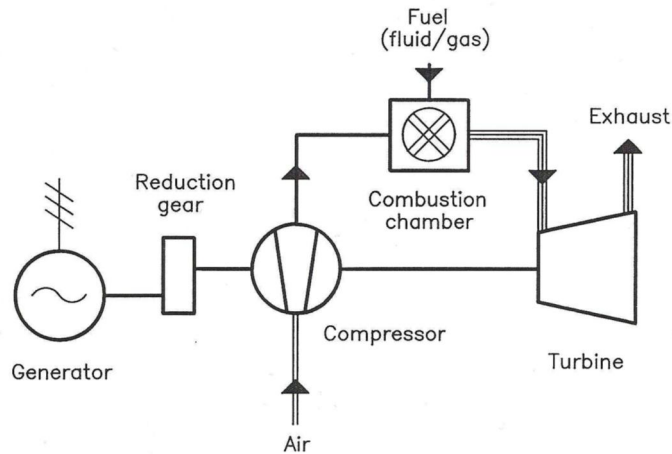
Kuva 3 Lang turbiini ja BBC generaattori

Turbiinilaitos koostuu unkarilaisen Lang-yhtiön toimittamasta yksipesäisestä väliotto-vastapaineturbiinista, joka on kytketty ilmajäähdytteiseen sveitsiläisen BBC generaattoriin. Turbiinin maksimiteho on 80 MW.

3.3 Blokki 4

Martinlaakson 4. blokin muodostaa GT8C kaasuturbiini sekä lämmöntalteenottokattila. Kaasuturbiinilaitoksen pääkomponentit ovat turbiini, kompressori, polttokammio, alennusvaihteisto sekä generaattori. Lämmöntalteenottokattila on rakennettu kaasuturbiinin perään, jotta turbiinilta tulevien savukaasujen energia saadaan talteen. LTO kattilan tuottamaa höyryä voidaan käyttää sekä 1. että 2. turbiinilla. Kombikäytössä kokonaisyhtöysuhde saadaan jopa 90 %:iin. Sähkötehoa kaasuturbiinilaitos tuottaa huippukuormituksella 56,8 MW. Kuvaus turbiinilaitoksen komponenteista ja niiden sijainneista kokonaiskuvan hahmottamisen helpottamiseksi on esitetty kuvassa 4. (9. s. 5–8.)

Kaasuturbiiniyksikön tehtävä on muuntaa polttoaineesta saatava lämpöenergia mekaaniseksi energiaksi. Kompressori imee ja puristaa ilmaa ympäristöstä. Puristettu ilma sekoittuu polttokammiossa polttoaineen kanssa ja palaa. Puristettu kuuma palamiskaa-su paisuu saapuessaan turbiinin siivistöön ja aiheuttaa roottorin pyörimisen. Mekaaninen pyörimisenergia muunnetaan sähköenergiaksi generaattorissa, joka on kytketty alennusvaihteiston kautta turbiinin ja kompressorin akseliin. (9, s. 5–8.)



Kuva 4 Kaasuturbiiniyksikkö (9, s. 9)

3.4 Vesikattila

Vuonna 1976 Tampellan valmistama vesikattila on erillinen yksikkö voimalaitoksesta. Vesikattilaa kutsutaan blokki 3:ksi, vaikka se koostuukin pelkästä kattilasta. Vesikattila ei ole ollut käytössä pitkään aikaan. Vesikattilan alkuperäinen tarkoitus on ollut lisätehon tuottaminen kaukolämmöntarpeen huippukuormille. Lämpötehoa vesikattila on pystynyt tuottamaan 60 MW. (2, s. 140.)

3.5 Rikinpoistolaitos

Rikinpoistolaitoksessa puhdistetaan hiilikattilan tuottamat savukaasut. Fläkt/Niro Atomizerin puolikuiva rikinpoistomenetelmä puhdistaa savukaasuista rikkidioksidin, suolahapon ja pääosan raskasmetalleista sekä muita haitallisia aineita. Sähköisillä ja mekaanisilla pölynerottimilla rajoitetaan hiukkaspäästöjä. Voimalaitoksen energiantuotannon sivutuotteena syntyvää lento- ja pohjatuhkaa sekä rikinpoiston lopputuotetta syntyy vuosittain noin 30 000 tonnia, joista hyötykäyttöön päätyy 100 %. (8, s.15–17.)

4 Erikoismittausten merkitys kunnossapidossa

4.1 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonta liittyy monilla tavoilla yrityksen toimintoihin ja vaikuttaa sen kannattavuuteen. Kunnonvalvonta on yksi kunnossapidon osa-alueista ja se tuottaa tärkeitä tietoja tehdaslaitoksen investointien, käytön ja kunnossapidon kannalta. Kunnonvalvonnan liityntöjä yrityksen muihin toimintoihin on havainnollistettu kuvassa 5. Kunnonvalvonnalla saavutettavia hyötyjä ovat tuottavuuden kasvu, kunnossapidon suunnitelmallisuus, seisokkiaikojen parempi hyödyntäminen, suunnittelemattomien seisokkien väheneminen ja koneen pidentynyt elinikä. (10, s. 11.)

Voimalaitosympäristössä sähkön ja kaukolämmön jatkuvan kysynnän vuoksi tuotantokatkosten ennaltaehkäisy on erittäin tärkeää yrityksen tuottamaa tulosta ja kunnossapitokustannuksia ajatellen. Ennakoivalla kunnossapidolla, kunnon- ja käytönvalvonnalla pyritään varautumaan todennäköisimpiin vikaantumistilanteisiin jo ennen kuin ne tapahtuvat. Tämän vuoksi määräaikaistarkastukset, käytön määräaikaistarkastukset ja kriittisten mekaanisten osien tilasta käytön aikana indikoivat mittaukset ovat välttämättömiä tuotantolaitoksessa. (11, s. 3.)



Kuva 5 Kunnonvalvonnan liityntöjä (10, s. 11)

4.2 Turbiinien ja generaattoreiden erikoismittaukset yleisesti

Erikoismittaukset ovat osa kunnonvalvontaa ja antavat kallisarvoista tietoa koneen kunnosta ja käyttäytymisestä eri ajotilanteissa. Erikoismittaukset ovat turbiinin ja generaattorin mekaanisia mittauksia, joilla valvotaan turbiinin ja generaattorin laakereiden, akselin ja rungon värähtelyä, radiaalisia ja aksiaalisia voimia sekä venymää.

Kunnonvalvonnan värähtelymittauksissa mielenkiintoisia taajuusalueita on kaksi. Ensimmäinen taajuusalue sijoittuu 10 - 1000 Hz välille ja kertoo yleensä koneen pyörimiseen liittyvien vikojen olemassaolosta. Toisen taajuusalueen avulla voidaan havaita laakereiden voiteluvikoja ja laakereihin syntyviä välyksiä tai vikoja. Nämä viat havaitaan tyypillisesti mittaamalla yli 2000 Hz taajuudelta. Alkavien vikojen värähtely heijastuvat myös rungon värähtelynä. Rungon värähtelyn mittaamisen avulla pystytään havaitsemaan vikojen aiheuttamia heijastumia sekä sen myötä helpottamaan vian paikallistamista. (10, s.18.)

Värähtelyä turbiinissa ja generaattorissa voidaan mitata siirtymänä (μm), nopeutena (mm/s) tai kiihtyvyytenä (m/s^2 tai g). Mittaussuureen valintaan vaikuttaa mittauskohde ja valvottava vauriotyyppi. Laakereiden värähtelyä mitataan usein värähtelynopeuden tehollisarvona, mutta iskujen aiheuttamien korkeataajuisten värähtelyjen valvontaan käytetään usein kiihtyvyyden huippu- tai huipusta huippuun -arvoa. Akselivärähtelyn mittauksessa käytetään yleensä siirtymää ja amplitudin huipusta huippuun -arvoa. (11, s. 4–5.)

Siirtymämittaukset ovat erittäin tärkeitä turbokoneen ylös- ja alasajon sekä käynnin aikana. Varsinkin ylös- ja alasajon aikana erikoismittauksista tärkeimpiä ovat suhteelliset venymät, kuoren/rungon venymä sekä akselin siirtymä ja taipuma. (11, s. 12.)

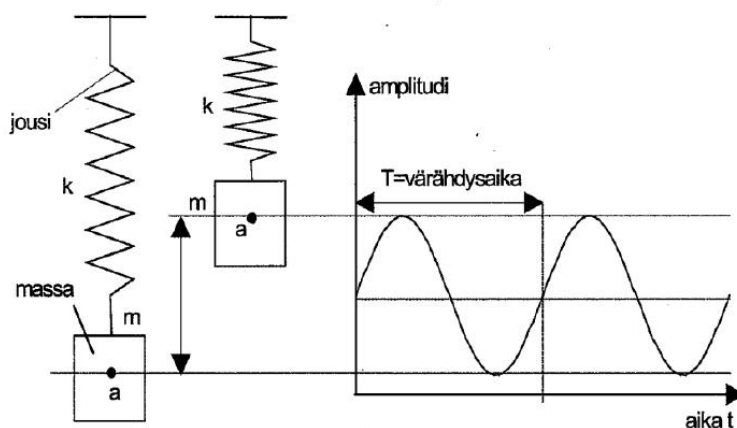
5 Erikoismittausten perusteita

5.1 Värähtelymittaukset

Värähtelymittaukset on yleisimmin kunnonvalvonnassa käytetty menetelmä, jota käytetään myös käytönvalvonnassa sekä vikaselvityksissä. Kunnonvalvonnassa pyörivien koneiden värähtelymittauksia oikein tulkitsemalla voidaan luotettavasti arvioida eri koneenosien kuntoa. Käytännön värähtelymittausten tuloksia analysoidaan pääasiassa eri taajuusalueilla mitattujen spektrien ja niistä vastaavien värinän kokonaisarvojen perusteella. Värähtelyn jatkuva seuraaminen on erittäin tärkeää sen haitallisten vaikutusten takia. Haitallisuus ilmenee muun muassa: Lisääntyneinä jännityksinä, rakenteiden väsymismurtumina, liitosten löystymisenä, käyttöiän alenemisena, lopputuotteen laadun heikkenemisenä, käynnin epävarmuutena, energiahäviönä, meluna ja muuna ergonomisena haittana ja häiriönä muille koneille lähistöllä. (10, s. 48.)

5.2 Värähtelyn synty ja vapausasteet

Yksinkertaisin tapa kuvata värähtelevää mekaanista systeemiä on jousi-massa systeemi, johon ei kohdistu mitään ulkoisia voimia. Tällaisessa tilanteessa massan liikkeeseen ei kohdistu vaimentavia voimia ja se toistuu jaksollisena, eli on niin sanottua harmonista liikettä. Tällaista järjestelmää kutsutaan vapaaksi värähtelysystemiksi, jonka toimintaa on havainnollistettu kuvassa 6. (12, s. 181.)



Kuva 6 Jousi-massasysteemin pisteen a värähtelyn esittäminen aikatasossa (12, s. 181)

Kun massa saatetaan värähtelemään jousen suuntaisesti, massa värähtelee yhden vapausasteen suuntaisesti käyden tasapainoasemansa molemmin puolin maksimissa sekä positiivisella että negatiivisella puolella. Kuvassa 6 on esitetty tätä liikettä kuvaava aikatason jaksollinen sinimuotoinen signaali, jossa amplitudilla kuvataan värähtelyn voimakkuutta ja värähdysaika T ilmoittaa yhteen värähdysliikkeeseen kuluvaan ajan. Värähdysliikkeeseen kuluva aika T vastaa vaihekulmaa $\varnothing = 360^\circ$ eli 2π . (12, s. 181.)

Kun massan liikkeeseen vaikuttaa ulkoisia voimia, kutsutaan järjestelmää pakkovärähtelysystemiksi. Pakkovärähtelysystemissä massan liikkeen määräävät ulkoisen voiman taajuus sekä amplitudi. (12, s. 181.)

Tavallisesti koneissa on useita eri vapausasteita. Vapausasteet voivat siirtyä akseliosassa kolmeen keskenään kohtisuoraan suuntaan (vaaka-, pysty- ja aksiaalisuunta) sekä kiertyä jokaisen liikkumissuunnan ympäri. Koneen eri vapausasteiden mittauksessa käytetään yhden vapausasteen antureita, joita sijoitetaan eri asentoihin kaikkien tarkasteltavien vapausasteiden seuraamisen mahdollistamiseksi. (10, s. 48–50; 12, s. 226–227.)

Yhden vapausasteen värähtelijään vaikuttavat voimat:

1. $F_I = m \times a$

2. $F_S = k \times x$

3. $F_D = c \times v$

4. $F(t)$ tai $X_0(t)$

Ensimmäinen yhden vapausasteen värähtelijään vaikuttava voima on massan hitausvoima F_I , missä a on siirtymän toinen aikaderivaatta eli kiihtyvyys ja m on massa. Toinen vaikuttava voima, jousivoima F_S koostuu jousivakion arvosta k ja tasapainoasemasta siirtymästä x . Kolmannes vaikuttava voima vaimennusvoima F_D muodostuu siirtymän aikaderivaatan eli nopeuden v ja viskoosivaimennuskertoimen c tulosta. Tärkeä neljäs voima $F(t)$ tai $X_0(t)$ on systeemiin kohdistuva ulkoinen heräte. Ulkoinen heräte voi olla joko jaksollinen, esimerkiksi jatkuva akselin pyöriminen tai transientti, eli lyhytaikainen tapahtuma kuten esimerkiksi isku. (10, s. 49.)

Näistä voimista voidaan johtaa yhden vapausasteen värähtelijälle voimatasapainon yhtälö:

$$F_I(t) + F_D(t) + F_S(t) = F(t)$$

Tämä voidaan esittää myös liikeyhtälönä:

$m\ddot{x} + \dot{c}x + kx = F(t)$, jossa värähtelevän kohteen sijainti, nopeus ja kiihtyvyys on kuvattu ajan funktiona (10, s. 50).

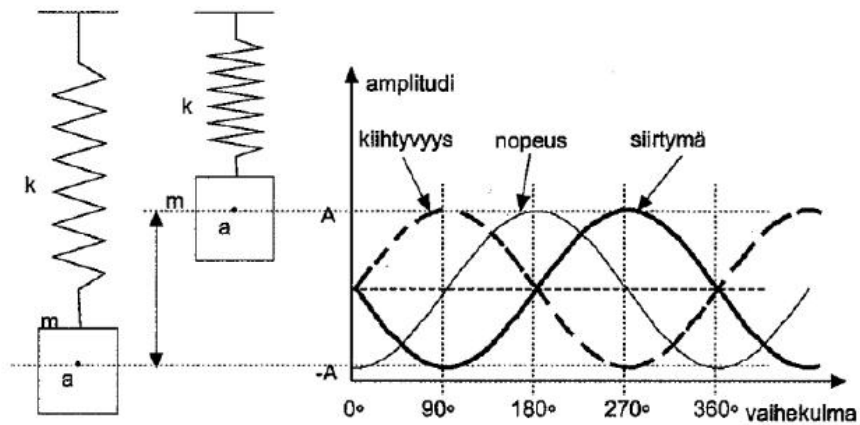
5.3 Värähtelyn suureet, anturit ja mittayksiköt

5.3.1 Suureet ja mittayksiköt

Koneiden värähtelyn mittaaminen toteutetaan yleisimmin kolmen eri suureen avulla. Kullekin mittaussuureen mittaamiseen on omat anturinsa, joiden rakenne ja toimintaperiaate eroavat toisistaan selvästi. Suureet ovat siirtymä, nopeus ja kiihtyvyys. Mittaustulosten derivointia ja integrointia hyödyntämällä saadaan yksi näistä mittaussuureista toiseksi ja samalla luodaan myös kokonaan uusia suureita, kuten kiihtyvyyden derivaatat. (10, s. 54.)

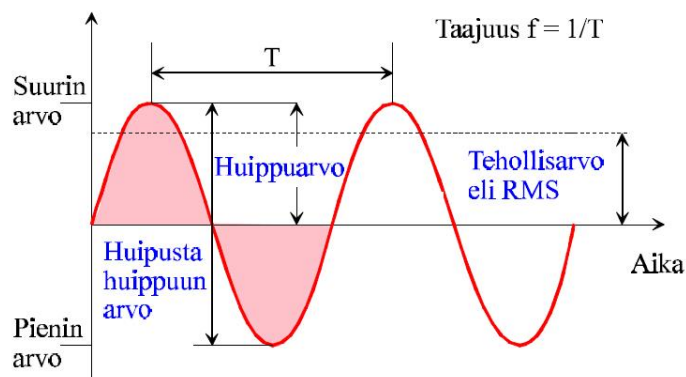
Siirtymä värähtelyn suureena ilmaisee kohteen sijainnin suhteessa vertailupisteeseen. Nopeus ilmaisee kappaleen kulkeman siirtymän tietyn ajanhetken kuluessa ja kiihtyvyys kappaleen nopeuden muutoksen tietyn ajanhetken kuluessa. (10, s. 54.)

Kuvasta 7 voidaan todeta, että siirtymällä, nopeudella ja kiihtyvyydellä on sama aaltomuoto. Kuvaajien amplitudit on kuvattu samankorkuisiksi, on kuitenkin tärkeää huomioida, etteivät niiden yksiköt vastaa toisiaan. Myös käyrien vaihekulmat eroavat toisistaan, kiihtyvyys on 90° nopeutta edellä, joka taas on 90° siirtymää edellä. (12, s. 228.)



Kuva 7 Värähtelyn siirtymä, nopeus ja kiihtyvyyys (12, s. 228)

Mittaus suureiden lisäksi on tärkeää tunnistaa värähtelysignaalista saatavat perusparametrit. Kuvassa 8 on esitetty värähtelyn aikatasosignaali sekä parametrit. (12, s. 231.)



- $$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = \frac{\text{HUIPPUARVO}}{\sqrt{2}} = 0.707 \times \text{huippuarvo}$$
- $$\text{Huippuarvo} = \sqrt{2} \times \text{RMS} = 1.414 \times \text{RMS}$$

Kuva 8 Värähtelymittausparametrit (10, s. 5)

- Huippuarvo v_p kertoo itseisarvoltaan suurimman huipun korkeuden verrattuna nollatasoon.
- Huipusta-huippuun arvo v_{p-p} on suurimman ja pienimmän arvon erotus ja suuruudeltaan noin kaksinkertainen huippuarvoon verrattuna.
- Tehollisarvo v_{rms} on verrannollinen värähtelyn sisältämään energiamäärään.
- Vaihekulma \varnothing määrittää jakson kohdan, johon värähtely on vertailukohdasta edennyt.
- Huippukerroin (Crest Factor) on suhdeluku, minkä avulla voidaan tarkastella signaalin "piikkikkyttä". Se saadaan jakamalla huippuarvo tehollisarvolla. Selkeästi kohonneet arvot viittaavat iskumaisiin herätteisiin, jotka voivat olla seurausta esimerkiksi alkavista laakerivioista (12, s.231). Normaalkuntoisessa koneessa tämän kertoimen arvo on lähellä kolmea. Iskumaisen vian kehittyessä huippukerroin alkaa kasvaa, vakava vika saattaa muuttaa kertoimen arvon jopa yli kymmeneen. Vikakehityksen loppuvaiheessa huippukertoimen arvo saattaa taas laskea lähelle alkuperäistä, suhteen tasoittuessa kasvaneen värähtelysignaalin tehollisarvon takia. (10, s. 95.)

5.3.2 Värähtelyn tunnusluvut

Kunnonvalvonnan tunnuslukumittauksissa yleisimmin käytetty suure on värähtelyn nopeuden tehollisarvo. Värähtelyn energiaan verrannollisena se kuvaa hyvin värähtelevän koneen yleiskuntoa. PSK 5701 standardissa määritelty tärinärasitus on värähtelyn nopeuden tehollisarvo mitattuna standardissa määritetyllä taajuuskaistalla. Koneen kunnosta ensisijaisesti ilmaisee värähtelyn voimakkuus. Koneen kunnan huonontuessa värähtely voimistuu. Värähtelyvoimakkuuden arvioimiseen on useita standardeja, joista ISO 10816 ja ISO 7919 ovat merkittävimmät. (10, s. 5.)

5.3.3 Kiihtyvyyssanturit

Anturin toimintaperiaate koostuu pietsosähköiseen kiteen päälle tai sivulle kiinnitetystä massasta, joka värähdellessään aiheuttaa kiteeseen varausmuutoksen. Varauksen muutos on verrannollinen kiihtyvyyden muutokseen. Pieni anturista saatu varaus johdetaan ja muunnetaan varausvahvistimessa jännitteeksi, jolloin anturista saatu mittaus-signaali muodostuu. (10, s. 54–55.)

Kehittyneiden valmistusmetodien ansiosta rakenteellisesti monimutkaisten pietsosähköisten kiihtyvyyssantureiden koko on kutistunut erittäinkin pieneksi. Pienen koon lisäksi pietsosähköisen anturin etuja on herkkyys laajalla taajuusalueella ja melko edullinen hinta. Kiihtyvyyssantureiden kiinnitystapa ja -pinta vaikuttavat huomattavasti sen mittausalueeseen. Yleisesti antureiden lineaarinen mittausalue on noin 1 Hz - 20 kHz. Rakenteellisesti kiihtyvyyssanturit ovat vaurioherkkiä sekä alttiita elektrostaattisille häiriöille. Oikeanlainen kiinnitys, kytkentä ja häiriönpoisto ovat erittäin tärkeitä luotettavan mittaus-signaalin saavuttamiseksi. (10, s. 55.)

5.3.4 Nopeusanturit

Kooltaan hieman kiihtyvyyssantureita suurempi nopeusanturi koostuu käämistä, jonka sisällä on anturin päätyihin jousilla kiinnitetty magneettinen massa. Kun rakenne värähtelee, jousitettu massa seuraa viiveellä anturikuoren liikkeitä. Magneettinen massa luo jännitteen anturin käämiin, mikä on verrannollinen anturin nopeuteen. Tämä tärinännopeusmittaus ei vaadi ulkopuolista virtalähdettä sekä omaa erinomaisen signaali/häiriösuhteen. Parhaimmillaan nopeusanturin mittausalue on noin 5 Hz - 2 kHz. Anturin alarajataajuuteen vaikuttaa anturin sisäinen resonanssi, joka riippuu jousen jäykkyydestä ja magneetin massasta. (10, s. 56.)

Pietsosähköiset nopeusanturit perustuvat kiihtyvyyssantureihin. Nämä anturit sisältävät elektronisen integraattorin, joka muuttaa kiihtyvyyssignaalin nopeussignaaliksi välittömästi. Pietsosähköiset nopeusanturit ovat luotettava vaihtoehto, mutta huomioitavaa perinteiseen nopeusanturiin verrattuna on tarvittava vakiovirtasyöttö. (12, s. 237.)

5.3.5 Siirtymäanturit

Tyypillisesti värähtelymittauksissa käytettävät siirtymäanturit ovat tyypiltään pyörrevirtaantureita, joilla mitataan noin 2 mm etäisyydeltä kiinnityskohdan ja mitattavan kohteen keskinäistä suhteellista liikettä. Anturin oskillaattoriin kela muodostaa tuntopinnan. Metalliesineen lähestyessä vaihtovirran muodostamaa magneettikenttää, piirin impedanssi muuttuu kenttään muodostuneiden pyörrevirtojen vaikutuksesta. Tämän seurauksena anturin ulostulojännite muuttuu suhteessa tuntokelan ja metalliesineen väliseen etäisyyteen. (10, s. 57.)

Kosketuksettoman mittaustavan ansiosta pyörrevirta-anturit ovat mekaanisesti erittäin kestäviä, mutta niiden asennus ja kalibrointi vaatii tarkkuutta luotettavan mittaustuloksen saavuttamiseksi. Kiinnityskohdan tulee olla vakaa suhteessa mitattavaan kohteeseen, jotta suhteellisen liikkeen mittaustulos on todellinen. (10, s. 58.)

5.4 Siirtymämittaukset

Muuttuvat lämpötilaosuhteet sekä muodostuvat voimat vaikuttavat suurten prosessikoneiden fysikaalisiin ominaisuuksiin. Turbiinin roottori muodostaa suuria radiaalisia- ja aksiaalisia voimia pyöriessään, joten näiden voimien vaikutuksia on välttämätöntä tarkkailla turvallisen sekä kestäväen käytön kannalta. (11, s. 12, 15.)

Turbokoneiden laakerointi voidaan jakaa paine- sekä tuki/radiaalilaakereihin. Radiaalilaakeri tukee ja ohjaa koneen pyörivää akselia, vaimentaa ja ottaa vastaan roottorin laakeriin kohdistamat staattiset ja dynaamiset kuormitukset sekä pitää roottorin oikeassa asemassaan. Painelaakerin tehtävä on estää roottorin aksiaalinen liike. Liukulaakereiden voiteluöljyn tehtävänä on pitää ylläpitää riittävän paksua öljykalvoa laakerin liukupinnan ja akselin välillä sekä kuljettaa lämpöä pois laakereilta. (11, s. 4.)

Hallitsematon roottorin akselin aksiaalinen siirtyminen vaurioittaa painelaakeria, minkä seurauksena roottori voi kiinnileikkaantua pienimmän aksiaalisen välyksen kohdalta. Kiinnileikkaantumisesta aiheutuvat vahingot ovat taloudellisesti erittäin suuret ja sen vaikutukset voivat näkyä jopa yhteiskunnallisesti, kun odottamaton lämmön ja sähkön pitkä tuotantokatkos tapahtuu talven huippukulutuksen aikaan. (11, s. 12.)

Lämpötilojen muutokset vaikuttavat myös turbiiniin ja generaattoriin. Turbiinin ja generaattorin kiinnitystavassa tulee huomioida myös lämpölaajenemisen vaikutukset, jolloin joustavilla koneiden kiinnityksillä mahdollistetaan turbiinin liikkuminen lämpölaajenemisen verran. Turbiinin ja generaattorin siirtymää voimalaitoksen rakenteiden suhteen mitattaessa anturit valitaan mittaolosuhteiden mukaan. Antureiden valinnassa tulee huomioida kohteen lämpötila, mitta-alue ja mittausetäisyys ja mittaustarkkuus. Koneiden siirtymämittaukset antavat aputietoa myös turbiinin ja generaattorin suuntauksesta. (11, s. 12.)

5.4.1 Akselin siirtymä

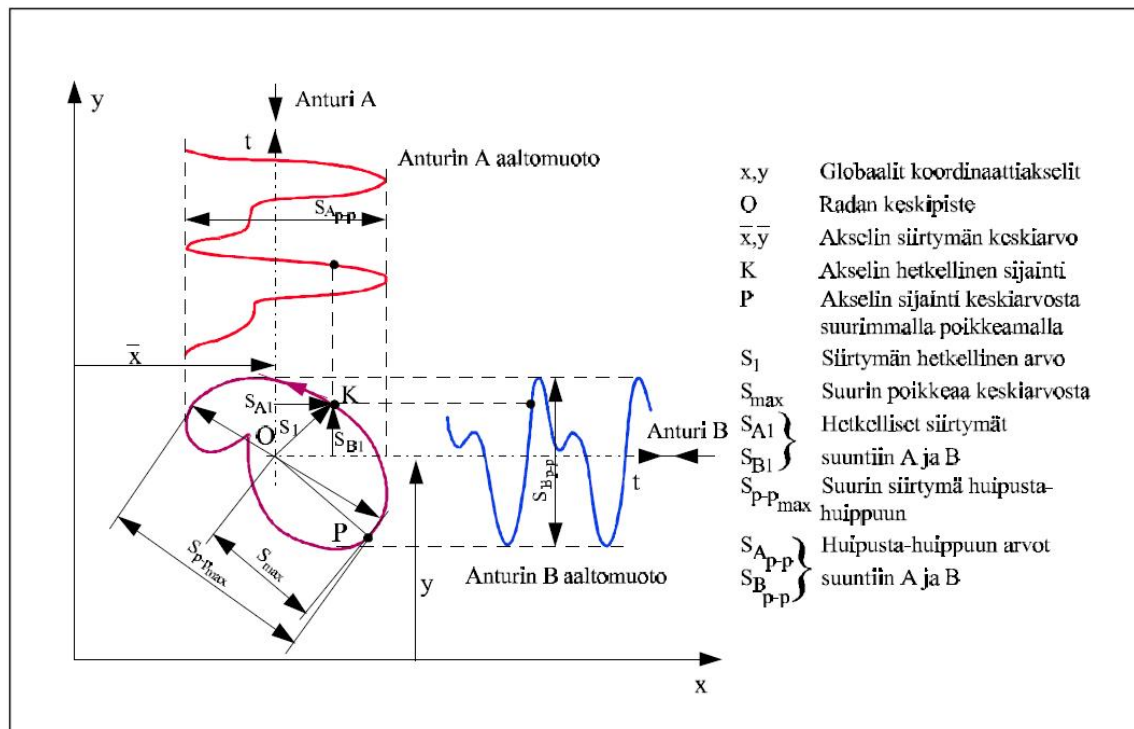
Akselin siirtymää tarkastellaan kolmen eri siirtymäkohteen avulla, akselin aksiaalinen ja radiaalinen siirtymä sekä akselin taipuma ja venymä.

Aksiaalisen siirtymän mittauksessa käytetään yleensä pyörrevirta-antureita, jotka mittaavat aksiaalista liikettä normaalin käyttötilanteen mukaisen aseman molemmin puolin. Eli anturit viritetään keskelle lineaarista mittausaluettaan, kun akseli on laakerin salliman liikkumavaran keskellä. Aksiaalisen siirtymän hälytysrajat määritetään koneen rakenteen ja ominaisuuksien mukaan. Aksiaalista siirtymää mittaavista pyörrevirta-antureista saadaan myös tieto akselin aksiaalisesta värähtelystä. (11, s. 12.)

Koneen rakenne vaikuttaa siirtymäantureiden mittauspaikkoihin, mutta yleensä mittaus suoritetaan laakerin laipasta, olakkeesta tai akselin päästä. Aksiaalisen liikkumavaran varmistamiseksi olisi suositeltavaa, että mittauksen etäisyys laakerista olisi korkeintaan 300 mm. Kun halutaan tarkkailla erityisesti generaattoriin kohdistuvia aksiaalisia voimia, voidaan mittaus sijoittaa turbiinin ja roottorin kytkimen läheisyyteen. (11, s. 12.)

Akselin radiaalisen siirtymän mittaamisen avulla pystytään valvomaan akselin sijaintia tukilaakerissa. Mittaus toteutetaan pyörrevirta-antureilla, jotka ovat sijoitettu pareittain 90° kulmaan toisiinsa nähden radiaalilaakerin läheisyyteen. Jokainen pyörrevirta-anturipari on asennettu kiinteästi runkoon 45° kulmiin pystytasosta tai vaaka- ja pystysuuntaan. Tätä mittaustapausta kutsutaan X-Y-mittaukseksi. Näitä molempia mittauksia tarvitaan akselin ratakäyrän muodostamisessa sekä akselin keskimääräisen aseman laakerissa laskemisessa. (11, s. 8.)

Pyörrevirta-anturit mittaavat siis akselin etäisyyttä anturista. Kaksiosainen mittaussignaali koostuu AC- ja DC-komponentistä. Anturin AC-signaali kuvaa akselin värähtelyn suuruutta ja DC-komponentti akselin keskimääräistä etäisyyttä anturista. Yhdistämällä molempien antureiden AC- ja DC-komponentit pystytään akselin ratakäyrä muodostamaan ja keskimääräinen sijainti laakerissa laskemaan. (11, s. 8.) Ratakäyrän muodostusta on havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9 Akselin ratakäyrän muodostus ja komponentit (10, s.8)

Ratakäyrän avulla voidaan havaita alkavia vikoja tukilaakeissa. Ratakäyrää ja suurinta keskiarvollista poikkeamaa S_{max} tutkimalla voidaan arvioida muun muassa linjauks- ja voiteluvikoja. (12, s. 8, 10.)

5.4.2 Akselin taipuma ja venymä

Akselin taipuma voi johtua koneiden väärästä linjauksesta tai akselin epätasapainoisuudesta. Taipumaa valvottaessa voidaan käyttää siihen tarkoitettua mittauksia, mutta usein akselin taipuman vaikutukset voidaan myös havaita useita eri mittauksia tarkastelemalla. Epätasapainoisesti pyöriessään akseli aiheuttaa keskipakovoiman, joka aiheuttaa taipumaa akselin massakeskipisteen mukaan. Taipuman kasvun myötä on mahdollista, että koneen kiinteät ja pyörivät osat joutuvat kosketuksiin toistensa kans-

sa. Taipuman tilaa voidaan tarkastella mittaamalla akselin siirtymää halutulta kohdalta keskipisteeseen nähden. Linjausvirhettä on helppo valvoa vertailemalla laakereiden kohdalta akselin X-Y-mittausten tarkkoja arvoja keskenään. (11, s. 10–12; 12, s. 301.)

Akselin venymää tarkasteltaessa mitataan akselin suhteellista venymää turbiinin rungon suhteen. Venymien tarkastelu korostuu aksiaalisten siirtymien lailla erityisesti turbiinin ylös- ja alasajon yhteydessä jolloin koneeseen kohdistuu suurimmat lämpötilojen muutokset. Suhteellista akselin venymää mitataan etäisyysmittauksilla.

5.4.3 Siirtymäanturit

Turbokoneiden aksiaalisissa ja radiaalisissa siirtymämittauksissa käytetään useimmin pyörrevirta-antureita niiden varmatoimisuuden ja monikäyttöisyyden vuoksi. Pyörrevirta-anturit sietävät hyvin vaativiakin olosuhteita. Siirtymän lisäksi anturilta saadaan helposti myös värähtely AC-komponenttia tarkastelemalla. Samojen anturityyppien käytön etuna eri mittauskohteissa on helppo ja luotettava mittaustietojen vertailu. Samalla mitausten kunnossapito varaosien saatavuuden kannalta paranee sekä varaston varaosakustannusten suuruutta voidaan hallita taloudellisesti tehokkaammin.

Aksiaalisen siirtymän ja venymän mittauksessa voidaan käyttää useita eri mittausmenetelmiä. Anturityypin valintaan vaikuttaa mittausolosuhteet sekä rakenteelliset kiinnitysmahdollisuudet. Pyörrevirta-antureiden lisäksi mittaukset voidaan toteuttaa mm. induktiivi- tai laser-antureilla. Laser-antureiden etuna on nopea ja tarkka mittaustulos. Anturi luo lasersäteen, jonka heijastuksia laite vastaanottaa. Laite muodostaa heijastuman perusteella mitattavan kohteen etäisyyteen verrannollisen analogiaulostuloviestin.

Absoluuttista venymää tarkasteltatessa mitataan turbiinin rungon liikettä voimalaitosrakennuksen suhteen. Absoluuttisen venymän anturivalintaan vaikuttaa koneen rakenne. Mittaus on yleensä helppo toteuttaa ultraääni- tai laseranturilla.

6 Signaalin käsittely ja tulosten analysointi

6.1 Lähtötilanne

Turbiinin ja generaattorin kunnonvalvonnassa tärkeimmät mitattavat suureet ovat takopulssi, akselivärähtelyt, akselin asemat laakereissa, laakerivärähtelyt, laakeripukkien siirtymät, laakereiden lämpötilat, öljyn paineet ja sähkökoneiden sähköiset suureet. Luotettavan kunnonvalvonnan saavuttamiseksi tulee kaikkien näiden suureiden mittaukset olla kunnossa. Mittausten paikkaansa pitävyyden varmistamiseksi tulee niitä koskevat alkutoimenpiteet olla tehty ennen kuin värähtelyjä voidaan alkaa tutkimaan eri analysointimenetelmillä. Koneen ollessa pysähtyneessä tilassa ja aina ennen käynnistystä, tulisi akselin aseman referenssiarvot sekä eri rakenneosien ominaistajuuksia ja -muotoja mitata. (11, s. 14.)

Akselin aseman referenssiarvolla tarkoitetaan asemaa, kun akseli lepää laakereiden pohjalla, jolloin mittaustulosta tulee verrata aikaisempiin arvoihin. Rakenteellisten ongelmien selvittämisessä korostuu rakenneosien ominaistajuuksien ja -muotojen mittaaminen. Siirtymämittausten tarkistaminen määräajoin on suositeltavaa, jolloin suoritetaan myös tarvittaessa antureiden viritys ja kalibrointi. (11, s. 14.)

Kun akselin pyörityslaite ja nostoöljypumppu ovat käynnissä ja akseli pyörii pienillä kierroksilla, tarkistetaan akselin taipuma ja pinnan epätasaisuudet pyörrevirtaantureiden AC-signaalia valvomalla. Kierrosten noston tai laskun aikana selvitetään roottoreiden kriittiset pyörimisnopeudet, muiden rakenteiden ominaistajuuksien, vaimennukset, itseherätteiset värähtelyt ja koneeseen kohdistuvat herätevoimat. Samoja valvontasuureita tulisi valvoa myös tehon laskun ja noston yhteydessä. (11, s. 14–15.)

6.2 Mittaustulosten analysointi

Tärinän analysoinnissa seurataan valittujen tunnuslukujen kehittymistä trendillä sekä spektrianalyysillä. Trendiseurannassa taajuusalueella 10 - 1000 Hz mitattavana suurena käytetään nopeuden tehollisarvoa. Spektrianalyysissä tarkastellaan yleisimmin tärinännopeutta. Sekä spektrianalyysissä että trendiseurannassa oikean taajuusalueen rajaaminen on tärkeää, jotta vian aiheuttamat tärinät erottuvat kokonaistärinän joukosta. (13, s. 608.)

6.3 Trendiseuranta

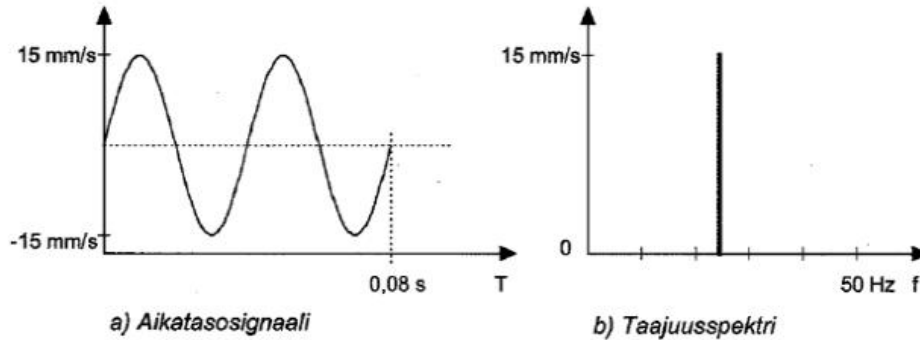
Trendiseurannassa seurataan yleensä tehollis- tai huippuarvoa värähtelynopeudelle, nopeudelle tai siirtymälle. Tehollis- ja huippuarvon mittaukset määritellään standardin PSK 5704 mukaan kokonaistason mittauksiksi. Kokonaistasonmittaukset ovat kunnonvalvonnan rutiinimittauksia. PSK 5704 määrittelee myös värähtelyn hälytysrajat, mutta laitteen valmistajan antamat raja-arvot tulee myös ottaa huomioon hälytysrajoja määritettäessä.

Värähtelyn absoluuttisen arvon hälytysrajojen tarkkailun lisäksi, olisi tärkeää huomioida myös muutoksen nopeutta. Trendiseuranta antaa luotettavaa kunnonvalvontatietoa monien yleisten vikatyypin seurannassa, kuten esimerkiksi epätasapaino, asennus-, linjaus- ja resonanssiongelmat. (13, s. 608.)

6.4 Värähtelysignaalin esittäminen taajuustasossa

Käytännön värähtelymittauksissa mitataan aina aikatasosignaali. Mittauksen jälkeen saatua mittaustulosta käsitellään erilaisilla menetelmillä mittalaitteessa ja -laitteistossa. Nykyaikaisten mittalaitteiden laskentateho on niin suuri, että aikatasosignaalin mittauksen ja käsittelytoimenpiteen välinen aikaero on käytännössä olematon. Yleisin aikatasosignaaliille tehtävä toimenpide on Fourier-muunnos, jolla signaalin taajuussisältö saadaan selville. (12, s. 190.)

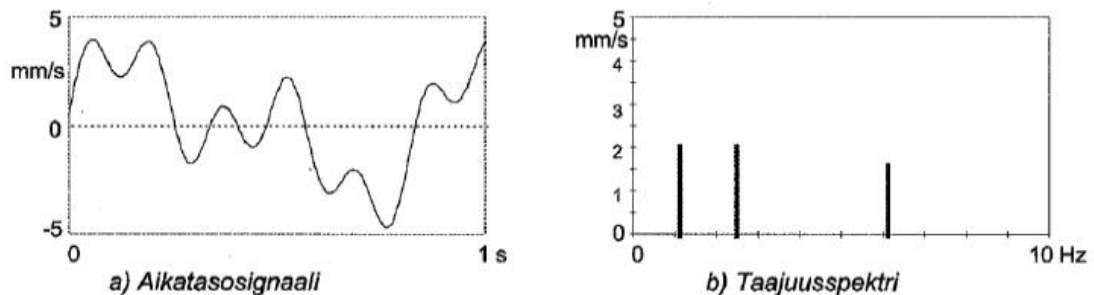
Analyysityössä taajuustason signaalia tarkastelemalla saadaan selville värähtelyn eri komponentit. Värähtelymittausten taajuustason esitystä kutsutaan yleensä spektriksi ja sen esitystapana on ns. amplitudispektri. Spektrissä vaaka-akselilla on taajuus f ja pystyakselilla värähtelyn voimakkuus eli amplitudi. Amplitudi kuvaa yleensä nopeutta (mm/s) tai kiihtyvyyttä (m/s^2). Kuvassa 10 on esitetty yhden jaksollisen siniaallon aikatasosignaali ja taajuusspektri. (12, s. 190.)



Kuva 10 Siniaallon esitys aika- ja taajuustasossa (13, s. 605)

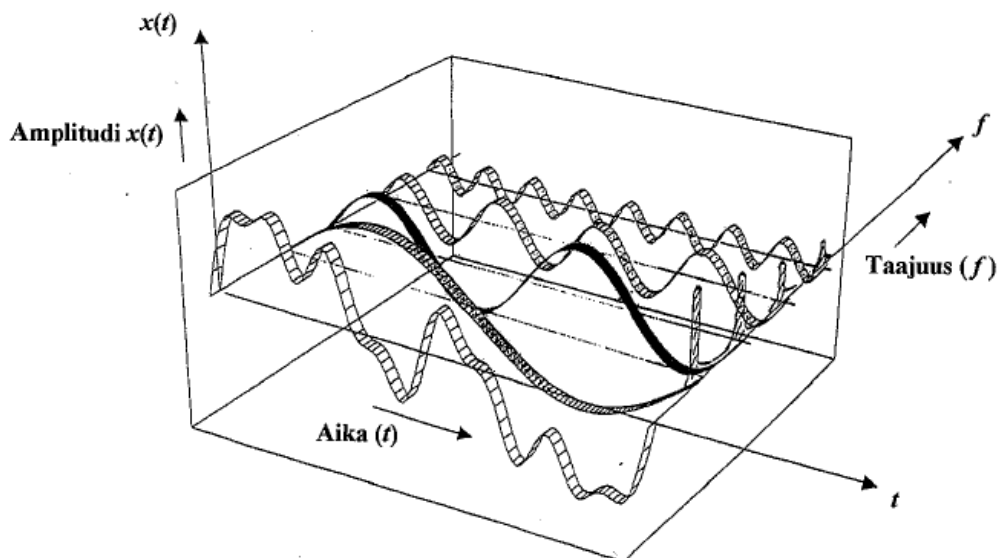
Aikatason kuvaajasta huomataan amplitudin olevan 15 mm/s ja värähtelyn jaksonajan olevan puolet mittausajasta eli 0,04 s, josta voidaan laskea värähtelyn taajuus f , 25 Hz ($1 \text{ s} / 0,04 \text{ s}$). Taajuusspektriin tämä värähtelyn komponentti piirtyy 25 Hz:n kohdalle 15 mm/s korkuiseksi ”piikiksi”.

Signaalin sisältäessä useampia värähtelyn taajuuksia aikatason signaalin tulkitseminen hankaloituu huomattavasti. Fourier-muunnoksella pystytään erottamaan kaikki yksittäiset sinimuotoiset signaalit koko summasignaalista ja kokonaisvärähtelyn kaikki perusvärähtelyt saadaan selville. Fourier-muunnos toimii parhaiten jaksollisten signaalien käsittelyyn. Kuvassa 11 on esitetty kolmen eri värähtelykomponentin muodostama aikatason signaali sekä sitä vastaava spektri. (12, s.190.)



Kuva 11 Kolmen sinikomponentin aikatasosignaali ja spektri (13, s. 605)

Kuva 12 havainnollistaa mistä aikatason summasignaali koostuu.



Kuva 12 Fourier-muunnoksen periaate (12, s. 190)

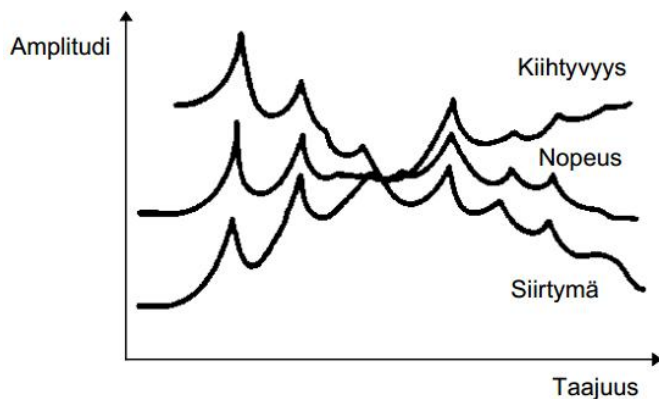
Etummainen summasignaali on purettu neljään sinimuotoiseen signaaliin, jotka ovat esitetty sekä aika- että taajuustasossa. Kuvasta näemme kokonaisvärähtelyn muodostavat komponentit, sekä niiden voimakkuudet (amplitudi) ja taajuudet. (12, s.190.)

6.5 Spektrianalyysi ja -valvonta

Amplitudispektri muodostetaan FFT -laskennalla. FFT eli Fast Fourier Transformation on laskenta-algoritmi, jolla aikatason muunnos saadaan suoritettua erittäin nopeasti. Käytännössä hyväkuntoisessakin koneessa esiintyy pyörimistaajuisen spektrikomponentti, joka aiheutuu mm. valmistusepätarkkuuksista. Eri koneenosien vikaantumiset näkyvät käytännössä eri taajuuskomponenttien amplitudien voimistumisena. Jotta yksittäisten koneenosien vikaantumiset voidaan tunnistaa, tulee akselin kierroslukutiedot ja koneenosien rakenne olla tiedossa. Turbokoneesta tarvittavia tietoja ovat mm. laakerityypit ja -valmistaja sekä roottorin siipien lukumäärä. Koneen eri vikataajuudet määritetään näiden tietojen perusteella. (10, s. 80, s. 99–100.)

Kun värähtelyn mittaussuureiden vastaavuudet esitetään taajuustasossa (kuva 13) on helppo huomata, että siirtymä korostaa matalia taajuuksia ja kiihtyvyyttä korkeita. Nopeutta tarkastelemalla saadaan kohtalaisen hyvä kuva kaikista kiinnostavista kunnonvalvonnan taajuusalueista, minkä takia sitä pidetään parhaana mittaussuureena tärinän vakavuuden arviointiin. Mittaussyötä valittaessa on siis tärkeää huomioida nämä

ominaisuudet. Matalia taajuuksia tarkasteltaessa siirtymän käyttö on suositeltavaa ja kiihtyvyyttä korkeiden taajuuksien tarkasteluun, esimerkiksi vaihteistojen mittauksissa. (13, s. 606.)



Kuva 13 Tärinäsuureiden vastaavuudet taajuustasossa (13, s. 605)

Spektrin amplitudipiikkien tulkitseminen edellyttää huomattavasti enemmän koneteknistä tietotaitoa kuin yksinkertaisempien aikatason mittausten tarkastelu. Tulkitsejan tulee osata erottaa koneen luonnollisen käynnin ja vikojen aiheuttamat amplitudipiikit toisistaan.

Spektriä muodostettaessa taajuuserotuskyky on yksi spektrin tärkeimmistä määrityksistä. Taajuuserotuskyvyllä määritetään kuinka lähellä eri taajuuksien amplitudit voivat olla toisiaan. Erotuskyky lasketaan ylärajataajuuden ja spektriviivojen lukumäärän osamäärästä. Esimerkiksi jos tarkasteltava ylärajataajuus on 1000 Hz ja käytetään 400 viivaa on spektrin erotuskyky 2,5 Hz. Jos kaksi värähtelykomponenttia jäävät erotuskykytaajuuden rajoihin sulautuvat ne yhdeksi tärinäamplitudiksi (Esimerkiksi 48 Hz ja 49,5 Hz). Suurten koneiden kunnonvalvonnassa taajuuskaistassa 2,5 Hz:ä huonompaa erotuskykyä ei tulisi käyttää. Laajaa korkeataajuuksista taajuusaluetta tarkasteltaessa erotuskyvyn ei tarvitse olla yhtä kapea. (10, s. 80.)

Lopullisen spektrin muodostamisessa käytetään useiden spektrien keskiarvoja. Keskiarvostustavat vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Keskiarvo voidaan muodostaa laskemalla yksittäiset keskiarvot jokaiselle spektriviivalle. Tai amplitudien huippuarvoja tarkastellessa voidaan jokaisen käyttää huipunpitomenetelmää, jolloin jokaisen spektriviivan korkein arvo piirtyy lopulliseen spektriin. (10, s. 81–82.)

6.6 Vaihekulman mittaus

Vaihekulmalla saadaan selville, missä kohtaa mittauspisteen pyörimistaajuisen tärinän huippu on akselilla olevaan liipaisumerkkiin verrattuna. Tulos muodostetaan suodattun värähtelysignaalin ja akselin pyörimisnopeutta mittaavien takopulssiliipaisujen avulla. Vaihekulma lasketaan vertaamalla värähtelyn aikaeroa takopulssiin ja suhteuttamalla saatu tulos akselin kierroksen kestoajaan. (10, s. 84.)

6.7 Verhokäyrä -menetelmä

Verhokäyrä -menetelmää käytetään vallitsevan värähtelyn alle jäävien iskumaisten herätteiden havaitsemiseen jo varhaisessa vaiheessa. Yleensä näitä menetelmiä käytetään vierintälaakereiden kunnan ja voitelutilan valvontaan. Analyysi muodostetaan aikatazon signaalin demodulaatiolla, jossa signaalista alipäästetään ns. verhokäyrä. Muodostettu käyrä voidaan esittää aika- tai taajuustasossa. Taajuustason spektrillä voidaan värähtelykomponentit erottaa helposti toisistaan. (12, s. 286; 10, s. 85.)

6.8 PeakVue -analyysi

PeakVue -analyysiä käytetään purskemaisen signaalin analysointiin. Käyttökohteina PeakVue:lla on yleensä vierintälaakerit, hammasvaihteet ja metallisten kosketusten monitorointi. PeakVue-signaali muodostuu aikatasosignaalin huippuarvoista tietyllä aikavälillä. Signaali sisältää siis alkuperäisen signaalin todellisen amplitudin maksimiarvon rajatulta ajanjaksolta. Menetelmän käytössä analysoitava näyte taajuussuodattetaan yli- tai kaistanpäästösuodattimen avulla ja saatua signaalia voidaan käsitellä normaaleilla signaalinkäsittelymenetelmillä, kuten tilastolliset menetelmät tai spektri-analyysi. (12, s. 222.)

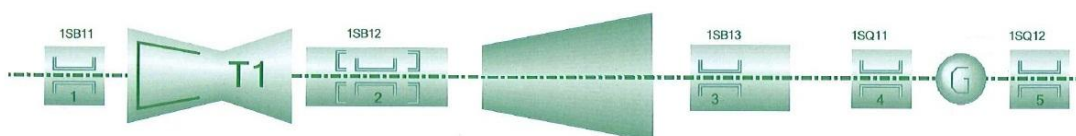
6.9 Kepstri

Kepstri on logaritmisen tehospektrin Fourier-muunnoksen neliö. Kepstrillä havaitaan erilaisia säännöllisyyksiä spektrissä, jossa yhteenkuuluvat taajuudet esitetään yhtenä piikkinä. Kepstrin muodostuksessa spektristä käsitetään aikatazon signaali, josta muo-

dostuu uusi spektri. Taajuuskaista on suodatettava tarkasti tarkasteltavan kohteen mukaan. Kepstriä on yleensä käytetty hammaspyörien kunnonvalvonnassa. (10, s. 87.)

7 Zamech-turbiinin ja Dolmel-generaattorin mekaaniset erikoismittaukset

Zamech-turbiini on kaksipesäinen kaukolämpöturbiini, jonka pitkän käyttöhistorian aikana on tapahtunut paljon muutoksia. Turbiini koostuu rakenteeltaan viidestä laakerista, joista 2. laakeri on toiminnaltaan painelaakeri ja laakerit 1, 3, 4 ja 5 ovat tuki/radiaalilaakereita. Zamech-turbiinilla mekaaniset erikoismittaukset on sijoitettu laakereittain ja ne mittaavat akselin suhteellista venymää, siirtymää, värähtelyä X/Y-suunnassa, taipumaa, absoluuttista venymää ja painelaakerin sekä laakeripukkien värähtelyjä. Kuvassa 14 on havainnollistettu turbiinin perusrakennetta sekä laakereiden sijaintia.



Kuva 14 Zamech-turbiini laakerointi (16.)

Turbiinille ja generaattorille tehdään tarkat vuosittaiset huollot ja tarkistukset, sekä määräajoin toistuvat revisiot. Revisioissa koneet ja laitteet tarkastetaan perusteellisesti. Endoskooppitarkastuksella voidaan tutkia turbiinin siivistön kuntoa ja koneen ollessa pysähtyneenä ja laakereiden kuntotarkastuksia suoritetaan NDT-mittauksilla. Revisiosta saatuja tietoja hyödynnetään tulevaisuuden huoltojen ja revisioiden suunnittelussa. (14.)

Turbiinin kohta 40-vuotisen käyttöhistorian aikana on sattunut vain kaksi suurempaa vauriota, joista molemmat ovat olleet matalapaineroottorin siipivaurioita. Viimeisin suurempi vaurio turbiinille sattui kesällä 2010, kun matalapaineroottorin juoksusiipiä repeytyi irti jännityskorroosion aiheuttamien väsymismurtumien takia. (14.)

7.1 Järjestelmä

Zamech-turbiinin mittausjärjestelmät ja -laitteet ovat muuttuneet paljon sen pitkän elinkaaren aikana. Turbiinin alkuvuosina 1970-luvulla automaatiojärjestelmänä toimi Siemensin TELEPERM B, joka käsitti kaikki mittaus-, säätö-, ja ohjaustoiminnot. Erikoismittauksista järjestelmä käsitti akselin radiaalinen värähtelyn, epäkeskeisyyden, suhteellisen ja absoluuttisen venymän sekä laakereiden värähtelyt, joista radiaalinen värähtely ja epäkeskeisyys ovat vieläkin käytössä. Erikoismittausjärjestelmää täydensi myöhemmin DYMACE M702-9M Monitor, jonka avulla akselin X-Y-värähtelyitä voitiin valvoa. TELEPERM B - ja DYMACE mittausjärjestelmät olivat vuoteen 2006 asti käytössä. Vanhojen mittajärjestelmien ongelmaksi alkoi muodostua varaosien mahdoton saanti ja siitä johtuva toimintavarmuuden heikkeneminen. (14.)

Zamech –turbiinin automaatio uudistettiin vuoden 2006 revision aikana Alhon Huollon sekä Metson toimesta. Automaatio integroitiin yhteen voimalaitoksen metsoDNA -pääautomaatiojärjestelmän kanssa. Samalla vanhat erikoismittausjärjestelmät päätettiin korvata mekaanisiin mittauksiin erikoistuneella EPRO MMS 3300 mittausjärjestelmällä. Mittausjärjestelmä koostuu ohjelmoitavista vahvistinyksiköistä sekä antureista ja luo monipuolisen erikoismittauskokonaisuuden. (14.)

EPRO MMS 3000 -järjestelmä on tarkoitettu erittäin kriittisiin turbokoneiden mekaanisiin mittauksiin. Se koostuu eri mittauksiksi suunnitelluista ohjelmoitavista vahvistimista sekä antureista. Vahvistimia on käytössä neljä eri mallia MMS 3110, MMS 3120, MMS 3210 ja MMS 3311. Kaikki vahvistimet ovat 2-kanavaisia ja niiden kriittisyyden vuoksi omaavat redundanttisen 24 Vdc käyttöjännitteensyötön. Laitteet ohjelmoitetaan MMS 3910W tietokone-ohjelmistoa käyttäen. Ohjelman avulla valitaan mittauskohtaiset mittaussovellukset, mitta-alueet ja -yksiköt, mittaussignaalin suodatukset sekä sillä voidaan simuloida mittauslähtöjä esimerkiksi turbiinisuojan määräaikaistestauksen yhteydessä.

Moduuleissa on 5 erikseen ohjelmoitavaa function-relelähtöä, joita voidaan käyttää esimerkiksi hälytysrajoina tai suojalaukaisuina. Hälytys/laukaisurajan kanavakohtainen ohjelmointi voidaan toteuttaa aktivoituvana lähtönä alarajan -, ylärajan - tai molempien hälytyksenä. Kaikkien mittausten hälytysrajat on kuitenkin tehty metsoDNA järjestelmässä. Ainoastaan akselin siirtymän ja suhteellisen venymän suojalaukaisurajat on toteutettu MMS 3210/011-000 moduulilla. Korttien kaikki lähdöt on kaapeloitu ristiky-

kentään asti. Moduulin, anturin tai kytkentöjen vikaantuessa moduulin integroitu vika-diagnostiikka muuttaa ulostulosignaalin 0 mA. Mittauksien yksityiskohdat käydään tarkemmin läpi positiokohtaisessa tarkastelussa. (17; 18; 19; 20.)

MMS 3110/011-000 on akselin värähtelymittausmoduuli PR 6423 pyörrevirta-antureille. Laitteella on kolme mittaussovellusta, joista jokaisessa käytetään X-Y-pyörrevirta-anturiparia. Käytössä on Dual channel mode, jossa antureiden jännitesignaalit käsitellään erikseen ja skaalataan värähtelyyn verrannollisiksi 4 - 20 mA analogiaulostuloviesteiksi. Viestit viedään MetsoDNA automaatiojärjestelmään AIU4-kortin kautta. (17.)

Moduulissa on mahdollista tarkastella myös akselin suurinta keskiarvollista poikkeamaa S_{Max} tai suurinta amplitudia $S_{pp\ max}$. S_{Max} muodostetaan laskemalla:

$$\sqrt{S_x^2 + S_y^2}, \text{ jossa } S_x \text{ ja } S_y \text{ kuvaa siirtymää x- ja y-suunnassa. (17.)}$$

MMS 3120/011-00 on tarkoitettu laakeiden ja laakeripukkien värähtelyn valvontaan. Värähtelyä mittaa PR 9268 nopeusanturit. Laitteella voidaan mitata yhtä tai kahta kohdetta samanaikaisesti. Mittaussovelluksena käytössä on Dual Channel mode, jossa laite muuttaa siihen kytkettyjen kahden nopeusanturin signaalit omiksi värähtelynopeuteen verrannollisiksi 4 - 20 mA analogiaulostuloviesteiksi, jotka viedään metsoDNA automaatiojärjestelmään AIU4-kortin kautta. (18.)

MMS 3210/011-000 moduulilla valvotaan akselin aksiaalista siirtymää sekä suhteellista venymää. Suureiden mittaamisessa käytetään PR 6423 pyörrevirta-anturiparia. Moduulin mittaussovelluksissa on huomioitu lukuisia akselin laippa/olake -rakenteita, joilla venymän ja siirtymän mittaukset voidaan toteuttaa. Mittauksen signaalin suodatetaan halutulle taajuuskaistalle ja skaalataan määritetylle mitta-alueelle. Lopullisen mittaustuloksen laite muuttaa siirtymään tai venymään verrannolliseksi 4 - 20 mA analogiaulostuloviesteiksi. (19.)

MMS 3311 on tarkoitettu akselin kierrosnopeuden sekä vaihekulman mittaamiseen. Vaihekulmaa hyödynnetään analysointitarkoituksissa ja se mitataan suoraan laitteelta. Moduulin lähtöjä ei ole liitetty automaatiojärjestelmään. (20.)

7.2 Mittaukset sekä mittaustiedot

Seuraavaksi käydään turbiinin ja generaattorin erikoismittaukset positiokohtaisesti läpi. Positiotunnus kertoo mittauksen sijainnin, kohteen ja mittaustyyppin. Mittausten sijoitus näkyy PI-kaaviossa (Liite 1). Mittausten positiot on jaoteltu laakereittain. Kaikista erikoismittauksista tallennetaan jatkuvasti mittauservoja historiatietoihin. Historiatietojen avulla mittausten muutoksia eri aikoina ja ajotilanteissa on helppo vertailla.

Positiot:

- 1SB11V002 Turbiinin etulaakerin pukin värähtely
- 1SB12V001 Turbiinin painelaakerin pukin värähtely
- 1SB13V001 Turbiinin takalaakerin pukin värähtely
- 1SQ11V001 Generaattorin etulaakerin pukin värähtely
- 1SQ12V001 Generaattorin takalaakerin pukin värähtely

Näillä mittauksilla valvotaan laakeripukkien värähtelyitä. Mittaukset on toteutettu Epro:n MMS 3120/011-000 vahvistimella ja PR 9268 nopeusanturilla, joka on kiinnitetty tukevasti pystysuuntaisesti laakeripukin päälle. Anturin toiminta perustuu magneettiseen massaun, joka luo anturin käämiin värähtelyn nopeuteen verrannollisen jännitteen. Anturit ja mittausero-kohteet on esitelty kuvassa 15.

Anturin taajuuskaista on 10 - 1000 Hz ja herkkyys 28,5 mV/mm/s. Mittausalueeksi on asetettu 0 - 20 mm/s RMS ja hälytysyläraja 7,10 mm/s, poikkeuksena 1SB11V002, jossa hälytysyläraja on 18,00 mm/s. Vahvistimen analogiaulostuloviesti viettään Metson AIU4 kortin kautta automaatiojärjestelmään, jossa värähtelyn nopeuden arvot viettään eri operointinäytöille. (14; 15; 16; 18; 21.)

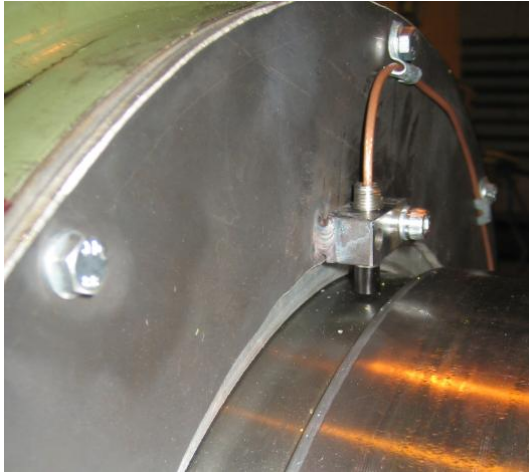


Kuva 15 Laakeripukkien värähtelymittaukset

Positiot:

1SB11V005 ja 1SB11V006 Laakeri 1, akselin värinä X- ja Y-suunnassa
 1SB12V003 ja 1SB12V004 Laakeri 2, akselin värinä X- ja Y-suunnassa
 1SB13V003 ja 1SB13V004 Laakeri 3, akselin värinä X- ja Y-suunnassa
 1SQ11V003 ja 1SQ11V004 Laakeri 4, akselin värinä X- ja Y-suunnassa
 1SQ12V002 ja 1SQ12V003 Laakeri 5, akselin värinä X- ja Y-suunnassa

Mittaukset toteutetaan MMS 3110/011-000 vahvistin/oskillaattorilla sekä PR 6423 pyörrevirta-anturilla. MMS 3110 tuottaa anturin tarvitseman korkeataajuisen käyttöjännitteen. Anturin herkkyys on 8 V/mm ja sen ulostulojännite lineaarisella 2 mm mitta-alueella on 2 - 10 V. Anturin mitta-alue alkaa 0,5 mm etäisyydeltä anturin päästä. Mittaussuurena X-Y-värähtelyssä käytetään siirtymän huipusta-huippuun arvoa mitta-alueella 0 - 250 μm , hälytysrajat on asetettu 130 μm :iin. Turbiinin akselille suurin sallittu värähtelyarvo 57 μm RMS on määritetty ISO 10816-3 standardin mukaan. Vahvistin suodattaa ja muuttaa pyörrevirta-anturiparin mittaussignaalit omiksi 4 - 20 mA virtaviesteiksi, jotka viedään AIU4-kortin kautta automaatiojärjestelmään ja eri operointinäyttöille. (14; 15; 16; 17; 22; 23.) Mittauksen toteutus on esitetty kuvassa 16.



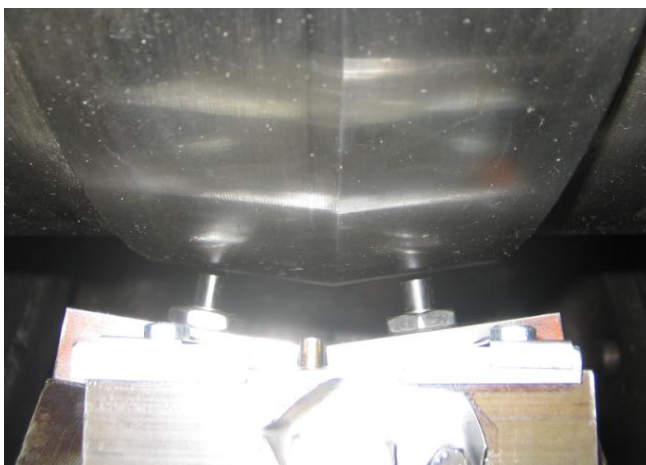
Kuva 13 Akselin värinämittaus, Y-suunta

Positiot:

1SB11V003 Akselin suhteellinen venymä, etulaakeri

1SB13V002 Akselin suhteellinen venymä, takalaakeri

Akselin suhteellisen venymän mittaukset ovat sijoitettu turbiinin etu- ja takalaakerin kohdalle (laakerit 1 ja 3). Mittaukset suoritetaan pyörrevirta-anturiparilla, jotka mittaavat anturin ja akselin kartion muotoisen olakkeen välistä etäisyyttä sen molemmin puolin. Kartion muotoisen olakkeen käytön avulla saadaan pyörrevirta-antureiden 2 mm etäisyyden mitta-alue kasvatettua avulla laajaksi suhteellisen venymän mitta-alueeksi. (17.) Olake ja pyörrevirta-anturipari on esitetty kuvassa 17.



Kuva 14 Akselin olake ja pyörrevirta-anturipari (1SB11V003)

Suurin mahdollinen venymän mitta-alue x_{\max} lasketaan kaavalla:

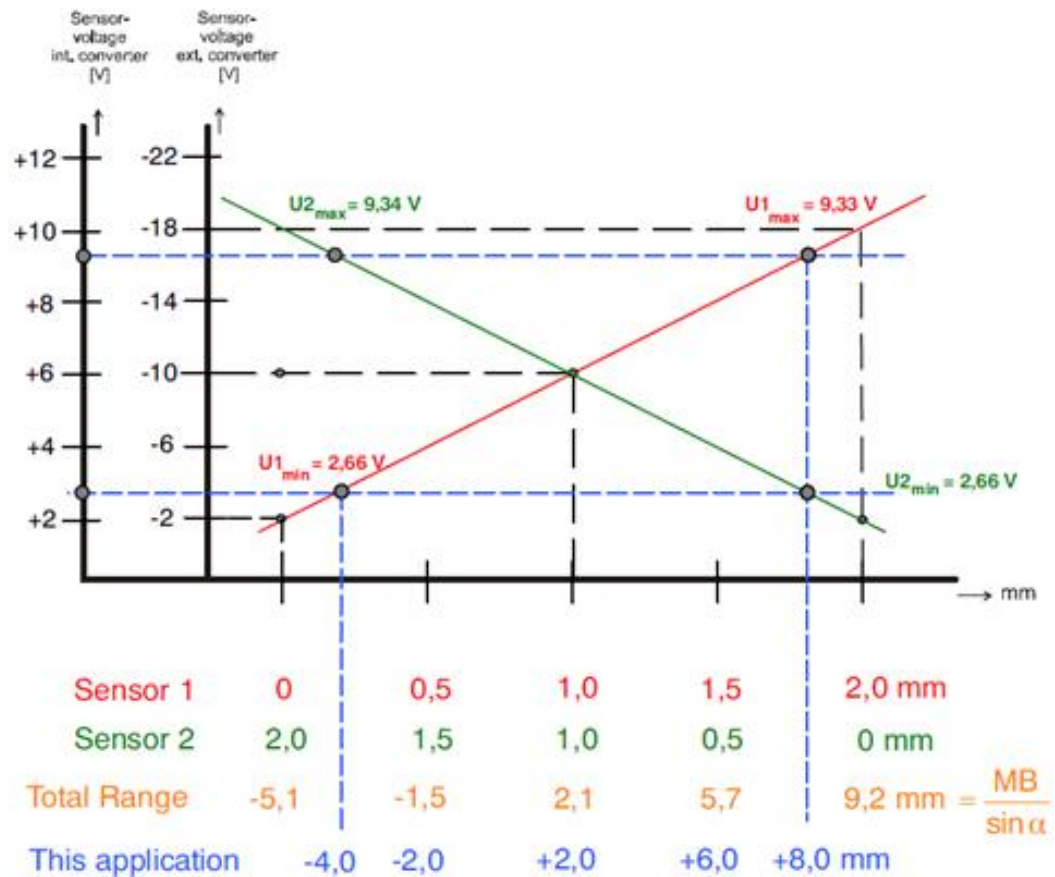
$x_{\max} = \frac{\text{Mittausalue}}{\sin\alpha}$, jossa α on olakkeen pinnan ja akselin välinen kulma ja mittausalue anturin koko mittausalue. (14; 19.)

Mittausantureina käytetään Epro:n PR 6423 pyörrevirta-antureita ja vahvistin/oskillaattorina toimii MMS 3210/011-000 moduuli. Kokonaismittausalueeksi muodostuu 12,00 mm, joka on skaalattu alueelle -4,00 - 8,00 mm. Etulaakerilla 1SB11V003 hälytysrajoiksi on asetettu 5,00 mm ja -1,50 mm. Turbiinisuoja laukeaa, kun mittausarvo on $\geq 6,00$ mm tai $\leq -2,00$ mm. Takalaakerilla 1SB13V002 hälytyksen yläraja on 3,00 mm ja ala-raja -2,00 mm, turbiinisuoja laukeaa arvoilla $\geq 4,00$ mm sekä $\leq -2,4$ mm. (14; 17; 18; 19; 22.)

Olakkeiden kulmat on oltava identtiset ja antureiden asennuskulma akseliin nähden sama kuin olakkeen. Molempien antureiden mitta-alueet ohjelmoidaan samalle välille. Akselin liikkuessa aksiaalisesti, olakkeen ja antureiden väliset ilmaraot muuttuvat. Toisen anturin etäisyys olakkeesta kasvaa samalla kun toisen pienenee. Mitattu etäisyysero antureiden välillä on verrannollinen akselin venymään. (19.) Antureiden ulostulojännitteet etäisyyden funktiona on esitetty kuvassa 18.

Vahvistimella suoritetaan mittauksen vertailu ja saatu tulos skaalataan 4 - 20 mA virtaviestiksi ja viedään Metson AIU4-kortin kautta automaatiojärjestelmän operointinäyttöille.

Siirtymä- ja suhteelliset venymämittaukset ovat erittäin kriittisiä käytön- ja kunnonvalvonnan kannalta, minkä takia niistä on tehty erilliset suojalaukaisurajat. Suojalaukaisuviesti on toteutettu vahvistimen ohjelmoitavan relelähdön avulla. Laite tarkkailee mittauksen arvoa ja tilaa. Relelähde kytkeytyy päälle suojalaukaisurajan ylittyessä tai mittauksen vikaantuessa. Relelähde on langoitettu Metson PLU1 kortin tuloon, joka laukaisee turbiinisuojan muuttuessaan aktiiviseksi.

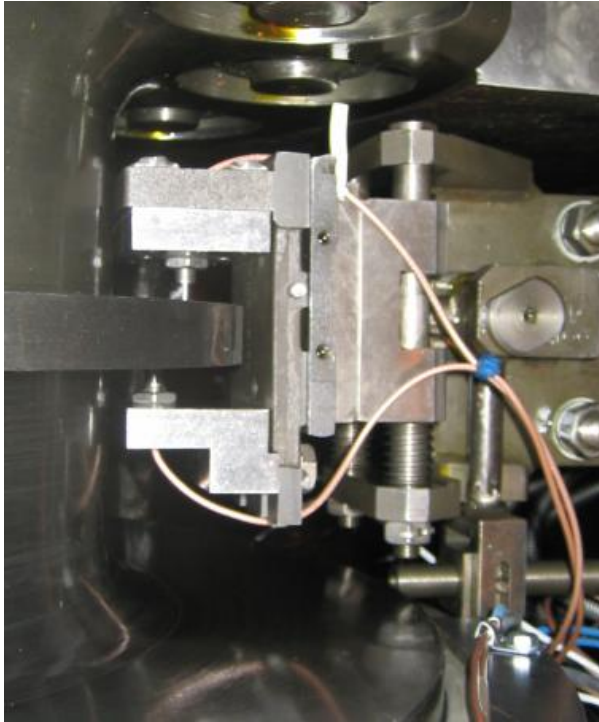


Kuva 15 Ulostulojännite etäisyyden funktiona (19.)

Positio:

1SB12G001 Akselin siirtymä painelaakerilla

Akselin siirtymän mittauksessa käytetään myös Epro:n PR 6423 pyörrevirta-anturiparia ja MMS 3210/011-000 vahvistin/oskillaattoria. Anturipari on asennettu laipan molemmin puolin 90° kulmaan laipan suhteen. Mitta-alue painelaakerilla on -1,00 mm - 1,00 mm. Hälytysrajoiksi on määritelty 0,30 mm ja -0,70 mm. Suojalaukaisu toteutuu, kun siirtymän arvo on $\geq 0,50$ mm tai $\leq -0,90$ mm. Antureiden jännitesignaali suodatetaan ja muunnetaan yhdeksi 4 - 20 mA virtaviestiksi, joka viedään Metson AIU4-kortin kautta automaatiojärjestelmään ja operointinäyttöille. Siirtymämittauksen toteutus on esitetty kuvassa 19. (14; 15; 16; 19.)



Kuva 19 Akselin laippa ja pyörrevirta-anturipari

Positiot:

1SB11V004 Absoluuttinen venymä, etulaakeri

1SB12V002 Absoluuttinen venymä, takalaakeri

Absoluuttisen venymän mittauksilla valvotaan turbiinin rungon venymistä voimalaitoksen rakenteiden suhteen. Mittaus suoritetaan etu- ja painelaakerin kohdalta SICK UM 18-11116 ultraäänianturilla. Anturi on kiinnitetty voimalaitoksen rakenteisiin ja turbiinin kuoreen työstetty levy liikkuu turbiinin mukana. Ultraäänianturi lähettää 320 kHz taajuudella ultraääntä, joka heijastuu takaisin asennetusta levystä anturin vastaanottiin. Anturin kokonaismitta-alue on 30 mm - 250 mm. Äänen kulku-aika kertoo kohteen etäisyyden 0 - 40 mm skaalatulla mitta-alueella 4 - 20 mA virtaviestillä. Hälytysraja mittaukselle on asetettu 40,00 mm. Virtaviesti viedään Metson AIU8-kortin kautta automaatiojärjestelmään ja operointinäytöille. Absoluuttisen venymän mittaukset on esitetty kuvassa 20, jossa ylempi mittaus on etulaakerin ja alempi painelaakerin. (14; 15; 16; 24.)



Kuva 20 Turbiinin absoluuttinen venymä

Positiot:

1SB11V001.1 Akselin radiaalinen värähtely

1SB11V001.2 Akselin epäkeskeisyys

Akselin radiaalista värähtelyä sekä epäkeskeisyyttä eli taipumaa mittaa Siemens:n vahvistinosalla varustettu induktiivinen anturi. Anturilta tuleva viesti on 4 - 14 V, joka lähtee vahvistinosasta 0 - 20 mA virtaviestinä Valmet Damatic AIU kortille. Radiaalisen värähtelyn mitta-alueena on 0 - 100 μ m.

Vahvistinosassa on myös toinen lähtö, josta nollatilaan verrannollinen etäisyystieto lähtee 0 - 5 V jänniteviestinä Valmet Damatic AIU kortille. Epäkeskeisyyden mitta-alueeksi on rajattu - 1,00 mm - 1,50 mm, kun nollatilassa anturin absoluuttinen etäisyys on 2,5 mm.

Tiedot molemmilta Damatic AIU korteilta tulee metsoDNA:lle Classic integraattorin kautta. MetsoDNA:ssa mittaustiedot viedään operointinäytöille. (14; 15; 16.)

7.3 Analysointi

Zamech -turbiinin erikoismittausjärjestelmän uusimisen yhteydessä tehdyillä parannuksilla ja mittalaitteiden päivityksillä saatiin mittausten toimintavarmuutta parannettua. Uuden mittausjärjestelmän ohjelmoitavat vahvistimet yksinkertaistivat mittaussovelluksia laitteiden integroitujen ominaisuuksien ansiosta. Järjestelmän asennuksen ja käyttöönoton jälkeen käyttökokemuksen myötä tuli esille pieniä vikaantumisia sekä parannuskohteita.

Mittauksista helpoimman kunnossapidon omaavat laakeripukkien värähtelyä mittaavat nopeusanturit. Mittauksien vikaantumiset on helppo rajata sekä tarvittaessa antureiden vaihto onnistuu vaivattomasti kuoren ulkoisen sijainnin ja yksinkertaisen ruuvikiinnityksen myötä. MetsoDNA:n historiatiedoista pystytään helposti vertailemaan värähtelyn kokonaistason muutoksia eri aikoina eri ajovaiheissa.

Akselin radiaalisen värähtelyn X-Y-mittaukset ovat turbiinin rakenteen vuoksi sijoitettu laakeripukkien kuoren alle. Antureiden sijainnin takia vikaantuneen mittauksen uudelleenviritys tai vaihtaminen onnistuu vain koneen ollessa seis ja laakeripukin kuoren ollessa auki. Ylimääräisten kunnossapitokustannusten välttämiseksi tulee anturin virityksessä ja kiinnityksessä olla erityisen huolellinen. Mittauksen vikaantuessa käytön aikana tulee myös poissulkea anturista riippumattomat vianaiheuttajat ennen laakerin avaamista. Uusien mittaussovellusten kiinnitykseen ja käyttöön liittyvät ongelmat tulevat yleensä esiin käyttökokemuksen myötä. Tässä tapauksessa alkuperäisestä asennustavasta johtunut anturin käytönaikainen rikkoutuminen korjattiin kiinnitystavan mekaanisella muokkaamisella. Todellisen mittaustuloksen saavuttamiseksi tulee myös varmistua siitä, että vahvistimen mitta-alue, -suure ja -yksikkö vastaa automaatiojärjestelmään määritettyjä asetuksia.

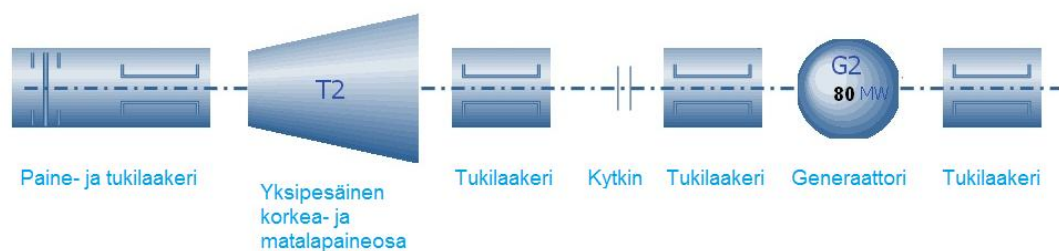
Akselin suhteellisen venymän mittaukset olivat ennen erikoismittauksien uusintaa häiriöherkkiä ja varaosien puuttumisen myötä kriittisesti alttiita vikaantumiselle. Sijainti laakeripukin sisäpuolella öljyisissä olosuhteissa aiheutti turhia hälytyksiä mittauksessa. Päivityksen jälkeen suhteellisen venymän mittausarvon todettiin näyttävän liikaa n. 4

mm, minkä seurauksena suojalaukaisurajaa etulaakerilla päätettiin kasvattaa 5,4 mm:stä 6 mm:iin ajon helpottamiseksi. Ennen suojalaukaisurajan muutosta aksiaaliset välykset mitattiin ja todettiin pieni rajan korotuksen mahdollisuus, koska tehon vaihte-
luiden aikana turbiinin ajo hankaloitui venymisarvon ollessa laukaisurajan lähellä. Mit-
tauksen virheellisyyden syy todettiin mittaamalla jännitesignaalien U_1 ja U_2 ero (Kuva
18). Jännitteiden arvo kasvaa ja pienenee samassa suhteessa venymän muuttuessa,
suhteen ollessa virheellinen eroavat antureiden asennusetäisyys ja -kulma toisistaan.
Mittauksen viritys vaatii siis erittäin suurta tarkkuutta, jotta antureiden kulma akseliin
nähdessä on sama kuin olakkeen ja antureiden etäisyydet olakkeesta nolapisteessä
identtiset. Tämän ongelman välttämiseksi luodaan selkeät kalibrointiohjeet.

8 Lang-turbiinin ja BBC-generaattorin mekaaniset erikoismittaukset

Lang-turbiini on yksipesäinen väliottovastapaineturbiini. Tärkeänä kaukolämmön tuotta-
jana sitä pyritään ajamaan mahdollisimman pienillä seisakeilla koko vuoden ajan. Tur-
vallisen ja käyttökattoman ajon saavuttamiseksi tulee käytön- ja kunnonvalvonnan
olla kunnossa. Hyvän kunnon varmistamiseksi turbiinille tehdään vuosittaisia huolto-
toimenpiteitä ja määräajan välein suurempia revisioita. Viimeisin revisio suoritettiin ke-
sällä 2013, jossa turbiini purettiin ja kaikki osat tarkistettiin ja huollettiin perusteellisesti.

Lang-turbiini rakenne eroaa paljon Zamech-turbiinista. Turbiinin matala- ja korkeapai-
nesiivistö on samassa pesässä, jolloin tukilaakereiden lukumäärä on pienempi. Kuvas-
sa 21 on esitetty Lang-turbiinin yksinkertaistettu perusrakenne sekä laakerit.



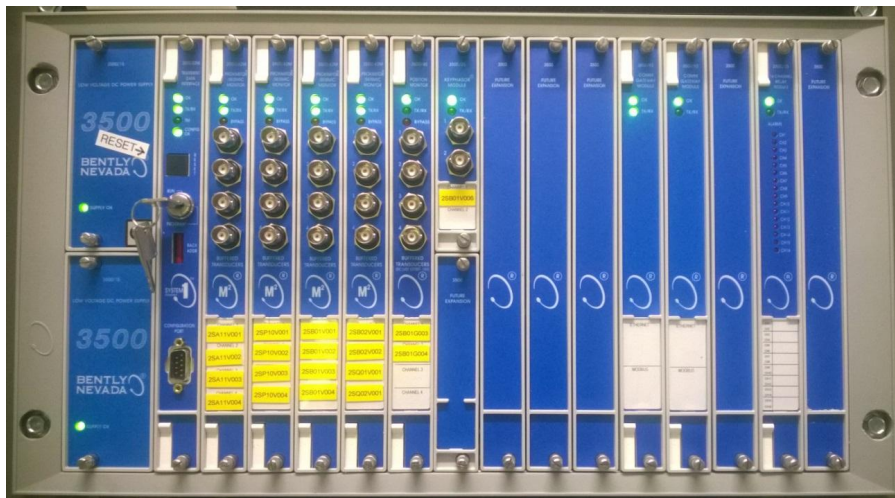
Kuva 21 2. turbiinin ja generaattorin rakenne (16.)

8.1 Järjestelmä

Lang turbiinin automaatiouudistus tehtiin vuonna 2011. Uudistuksessa korvattiin alkuperäiset ABB:n turbiinin säätö- ja suojajärjestelmät. Uudistuksen jälkeen turbiinin säätö- ja suojaominnat sekä laskennat toteutti kahdennettu Metso ACN-CS prosessiasema. Molempiin prosessiasemiin on kytketty kolme erillistä kenttäväylää, joista jokainen on kahdennettu. Kenttäväylät on jaettu FBC2, FBC3 ja FBC4:een. Näistä väylistä 2. hoitaa turbiinisuojan IO liitynnät, 3. nopean turbiinisäädön toiminnot ja 4. värinämittaukset. (25, s. 3–5.)

8.1.1 Bently Nevada 3500

Lang turbiinin automaatiouudistuksen myötä mekaanisten mittausten valvontajärjestelmä vaihtui Vibrocontrol 2000:sta Bently Nevada:n 3500 -järjestelmään. Bently Nevada'n aikaisempaa 3300 -järjestelmää käytettiin vuosia kaasuturbiinin mekaanisten mittausten valvontaan. Nykyinen erikoismittausjärjestelmä on esitetty kuvassa 22. (14.)



Kuva 22 Bently Nevada 3500, osat esitelty järjestyksessä vasemmalta oikealle

Järjestelmän osat:

20 - 30 Vdc käyttöjännitteen järjestelmälle syöttää kahdennettu 3500/15 Power Supply. Jännitelähteistä toinen on aina varalla, jolla taataan järjestelmän toiminta jännitelähteen vikaantumisesta huolimatta. (26.)

3500/22M Transient Data Interface eli TDI on myös välttämätön järjestelmän toiminnan kannalta. Järjestelmän konfigurointi suoritetaan tämän kortin kautta Machinery Management software:n avulla. TDI kerää mittaustiedot kaikista kanavista määrättyllä keräystaajuudella. Avainkytkimellä voidaan järjestelmän tila määrittää Run/Program -tilaan. Run -tila sallii järjestelmän toiminnan ja estää konfigurointimuu- tokset. Program -tila sallii järjestelmän toiminnan ja samanaikaisen etä- tai paikallisen konfiguroinnin. (27.)

Kunnonvalvonnan kannalta TDI:llä voidaan myös kerätä 48 kanavalta signaalin aalto- muodot määrättyin väliajoin ja muodostaa 800 näyteviivan avulla korkean taajuusero- tuskyvyn omaavia taajuusspektrejä taajuusalueilla 10 - 30 000 Hz välillä. (27.)

Sujuvan käytön kannalta erittäin tärkeä ominaisuus on kortilta löytyvä reset-painike. Painikkeella kuitataan järjestelmän osien vikatilailmoitukset sekä laukaisurajan ylittä- neet mittausravot. Reset-painikkeen painaminen laitteella oli ennen ainoa tapa kuitata suojalaukaisurajan ylittänyt hälytys. Häiriöistä johtuneiden hälytysten kuittaamisen hel- pottamiseksi Metson - ja Bently Nevadan -järjestelmään tehtiin muutoksia, jotta kuittaus onnistuu myös operointinäytöltä.

Häiriöitä ja niiden kuittaamista ajatellen TDI-kortti on kriittinen laitoksen häiriöttömän ajon kannalta. On onneksi epätodennäköistä, että TDI-kortti vikaantuisi samanaikaises- ti kun kaksi samaa kohdetta mittaavaa anturia häiriön seurauksena ylittäisivät suoja- laukaisurajan toisensa jälkeen, jolloin kuittaaminen häiriöiden välissä olisi mahdotonta ja turbiinin suojalaukaisu toteutuisi. (28.)

3500/42M Proximator/Seismic Monitor -kortteja on järjestelmässä neljä kappaletta. Jo- kaisessa kortissa on neljä kanavaa, joihin Bently Nevadan pyörrevirta- sekä Wilcoxonin kiihtyvyyssantureiden analogiaulostulot on kytketty. Kortti muuttaa analogiaviestit määri- tettyyn suureeseen ja yksikköön säädetyillä suodatuksilla sekä vertaa mittausravoja asetettuihin hälytysrajoihin, jotka ohjelmoidaan 3500 Rack Configuration Software:n avulla. Hälytysrajat ovat toteutettu metsoDNA-järjestelmässä. Monitorikanavien toimin- ta ohjelmoidaan pareittain, kanavat 1 ja 2 voivat suorittaa yhtä toimintoa samalla kun kanavat 3 ja 4 suorittavat toista (tai luonnollisesti myös saman kuin 1 ja 2). Korttien etupaneelissa on jokaisen kanavan tarkastelulle suojattu koaksiaaliliitin, johon ulkoinen mittalaite voidaan kytkeä. Kortissa on sisäinen päätevastus ja ulostulot ovat galvaani- sesti erotettuja. (29.)

3500/45 Position Monitor -korttiin on kytketty kaksi akselin siirtymää mittaavaa Bently Nevadan pyörrevirta-anturia. Kortissa on myös neljä kanavaa, jotka ohjelmoidaan 3500 Configuration Software:lla. Kortin etupaneelissa on jokaisen kanavan tarkastelulle suojattu koaksiaaliliitin, johon ulkoinen mittalaite voidaan kytkeä. Kortissa on sisäinen päätevastus ja ulostulot ovat galvaanisesti erotettuja. (30.)

3500/25 Enhanced Keyphasor Module mittaa Bently Nevadan pyörrevirta-anturin avulla roottorin pyörimisnopeutta ja vaihekulmaa. Kortissa on kaksi kanavaa, joista toinen on käytössä. Kortin etupaneelissa on molempien kanavien tarkastelua varten suojattu koaksiaaliliitin, johon ulkoinen mittalaite voidaan kytkeä. Kortissa on sisäinen päätevastus ja ulostulot ovat galvaanisesti erotettuja. (31.)

3500/92 Communication Gateway nimensä mukaisesti kommunikoi Metson järjestelmän kanssa. Kortti ja väylä on kahdennettu sen kriittisyyden vuoksi. Communication Gateway kerää mittaus- ja tilatiedot muista moduuleista ja välittää ne MODBUS väylällä Ethernet TCP/IP protokollalla metsoDNA järjestelmään. (32.)

3500/33 16-Channel Relay Module on laitteiston viimeinen osa. Kortti sisältää 16 ohjelmitavaa relelähtöä, joista kolme on käytössä. Kortille on ohjelmoitu turbiinisuojan AND/OR äänestyslogiikka ja relelähdöt ovat langoitettu Metson PLU kortille. Laukaisukriteereiden täytyessä relelähdön tila muuttuu aktiiviseksi ja PLU binääritulon tilamuutos laukaisee suojan. (33.)

8.1.2 Metso MIO/IO

Bently Nevada -erikoismittausjärjestelmän rinnalle lisättiin Metson mekaanisen värähtelynvalvonnan IO-moduulit AIF4E ja AIF4V. Moduulit ovat ACN I/O M120-sarjan laitteita. Kokoonpanon alkuperäinen tarkoitus oli muodostaa turbiinille oma itsenäinen kunnonvalvontajärjestelmä. Tällä hetkellä ne toimivat lisänä erikoismittausten valvonnassa. AIF4:n kanavaan voidaan ohjelmoida kaksi laskennallista lisäkanavaa m2 ja m3, joiden avulla pystytään tarkastelemaan eri mittayksiköitä samanaikaisesti. Laskennallisia lisäkanavia m2 ja m3 valvotaan erilliseltä operointinäytöltä. (34; 15.)

AIF4E on 4-kanavainen IO-moduuli pyörrevirta-antureille. Laite vastaanottaa 50 µs keräyskierrolla mittaussignaalin pyörrevirta-antureiden oskillaattori/vahvistimelta, tässä tapauksessa mittauskohtaiset signaalit tulevat Bently Nevadan Buffered IO modulen

lähdöstä yksittäisinä 4 - 20 mA virtaviesteinä. Tuleva mittaussignaali suodatetaan halutulle taajuuskaistalle sekä muunnetaan haluttuun yksikköön ja mitta-alueelle. Kortilla on myös mahdollista suorittaa Gap-laskentaa, jolla saadaan akselin asema tukilaakerissa selville. (34.)

AIF4V on 4-kanavainen kiihtyvyys ja nopeusantureiden IO-moduuli. Antureiden mittaussignaalit kerätään 50 µs keräyskierrolla. Vastaanotettu signaali skaalataan haluttuun muotoon samalla tavalla kuin AIF4E:ssä. (34.)

8.2 Mittaukset ja mittaustiedot

Lang -turbiinin ja BBC -generaattorin mekaaniset erikoismittaukset valvovat akselin aksiaalista ja radiaalista siirtymää, suhteellista venymää ja laakereiden värähtelyitä. Kaikista mittauksista kerätään mittaustiedot historiatalletukseen ja viedään operointinäytöille.

Lang-turbiinilla Bently Nevadan 3500/33 16-Channel Relay Module valvoo kaikkien Bently Nevada:an kytkettyjen mittausten arvoja ja mittausten tiloja. Suojalaukaisurajat on suunniteltu ohjeistettujen raja-arvojen perusteella. Kahden mittauksen suojalaukaisukriteerit täyttyvät, kun molemmat mittaukset ovat vikatilassa, molemmat ovat laukaisurajalla tai toisen ollessa vikatilassa kun toisen anturin mittauservo saavuttaa laukaisurajan. Akselin suhteelliset venymät eivät ole osa Bently Nevada:n järjestelmää, mutta niiden suojalaukaisulogiikka on toteutettu samalla periaatteella.

Mittaukset käydään seuraavaksi positiokohtaisesti läpi. Mittauksien sijaintia prosessissa havainnollistaa liitteenä oleva PI-kaavio (Liite 2).

Positiot:

2SB01G003 Turbiinin akselin siirtymä 1

2SB01G004 Turbiinin akselin siirtymä 2

Turbiinin akselin kahdennettu aksiaalinen siirtymämittaus suoritetaan turbiinin etupäästä. Mittaukset koostuvat Bently Nevada 3300 XL -sarjan 8mm pyörrevirta-antureista ja lähetin/oskillaattoreista. Kuvassa 23 on esitetty molempien siirtymämittausten sijainti. Anturin lineaarinen mitta-alue on 0,25 - 2,30 mm, jota lähettimen ulostulojännitteenä vastaa -1 - -17 Vdc. Anturin herkkyys on 7,87 V/mm \pm 5 %. Mitta-alueet molemmille antureille on skaalattu -1,00 mm - 1,00 mm, jossa hälytysrajat on määritetty \pm 0,60 mm metsoDNA:ssa ja suojalaukaisu Bently Nevada:ssa tapahtuu kun siirtymän arvo saavuttaa \pm 0,80 mm. (14; 15; 16; 35.)

Metson AIF4E-yksikössä mittauksesta muodostetaan kaksi laskennallista lisäkanavaa m2 ja m3. Kanava m2:n asetukset ovat samat kuin alkuperäisen Bently Nevada:n mittauksen, kanavassa m3 aksiaalinen siirtymä on muutettu laskennallisesti vastaamaan aksiaalista värähtelyä alueella 0 - 200 μ m. (15.)



Kuva 23 Akselin siirtymä

Positiot:

2SA11V006 Turbiinin akselin suhteellinen venymä 1

2SA11V007 Turbiinin akselin suhteellinen venymä 2

2SA11V008 Turbiinin akselin suhteellinen venymä 3

Turbiinin akselin suhteellista venymää turbiinin rungon suhteen mitataan turbiinin ja generaattorin kytkimen kohdalta, missä antureiden säädettävät kiinnitystelineet on kiinnitetty turbiinin runkoon. Suhteellisen venymän mittaukset ovat ainoat Bently Nevada:n ulkopuoliset erikoismittaukset.

Mittaus on toteutettu kolmella SICK:n valmistamalla laser-etäisyysanturilla, joista kaksi on malliltaan OD50-10P142 ja kolmas on OD2-P50W10I2. Laser-anturit vaativat erillisen 24 Vdc jännitteensyötön. Molemmat anturimallit tuottavat standardin IEC 60825:19982 mukaista 2. luokan laseria ja mittaavat etäisyyden muutoksia alueella 40 - 60 mm. Antureiden integroitu lähetin muuttaa etäisyyden muutoksen suoraan 4 - 20 mA verrannolliseksi virtaviestiksi. 20 mm kokonaismitta-alue on skaalattu metsoDNA:ssa -10 - 10 mm alueeksi, jossa hälytysrajat ovat 3.0 mm ja -2,9 mm. Suojalaukaisu toteutuu 2/3 periaatteella, kun venymän arvo on $\geq 3,7$ mm tai $\leq -3,7$ mm tai laitteita on vikaantuneena. (14; 15; 16; 36; 37.)

Positiot:

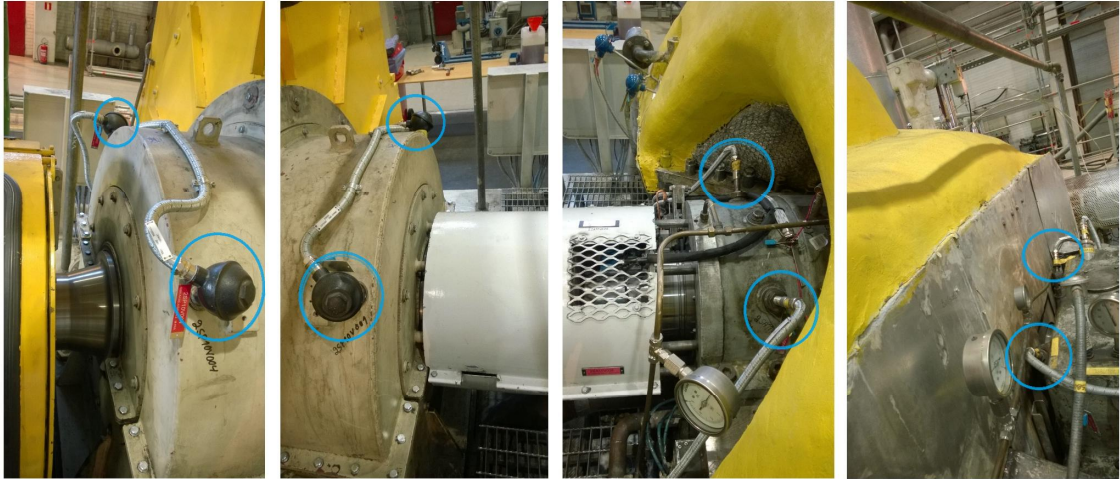
2SA11V001 ja 2SA11V002 Turbiinin akselin värähtely 1 ja 2, edessä

2SA11V003 ja 2SA11V004 Turbiinin akselin värähtely 1 ja 2, takana

2SP10V001 ja 2SP10V002 Generaattorin akselin värähtely 1 ja 2, edessä

2SP10V003 ja 2SP10V004 Generaattorin akselin värähtely 1 ja 2, takana

Akselin X-Y -värähtelymittaukset suoritetaan laakereiden kohdalta turbiinin ja generaattorin molemmin puolin. Anturit on asennettu kiinteästi runkoon 45° kulmiin vaakatasosta. Kaikki mittaukset on esitetty kuvassa 23. Värähtelyn arvoa mittaavat Bently Nevada:n 3300 XL -sarjan 8 mm pyörrevirta-anturit ja lähetin/oskillaattorit. Mittasuureeksi on valittu siirtymän huipusta huippuun -arvo ja mitta-alue on skaalattu 0 - 200 μm välille Bently Nevada:n järjestelmässä. Hälytysrajat MetsoDNA:lla on 80 μm ja suojalaukaisuraja Bently Nevada:ssa 130 μm .



2SP10V003
2SP10V004

2SP10V001
2SP10V002

2SA11V003
2SA11V004

2SA11V001
2SA11V002

Kuva 24 Akselin X-Y-värähtelymittaukset

Metson AIF4E -yksikössä mittauksesta muodostetaan kaksi laskennallista lisäkanavaa m2 ja m3. Kanava m3:n asetukset ovat samat kuin alkuperäisen Bently Nevada:n mittauksen. Kanava m2 muuttaa laskennallisesti akselin radiaaliseen värähtelyyn vastamaan akselin X-Y -siirtymää mitta-alueella 0,5 - 2,5 mm. Kun akselin keskipisteen sijainti X-Y-tasossa on tiedossa, niin vaihetiedon ja siirtymien perusteella suurimman keskiarvollisen poikkeaman S_{Max} laskeminen olisi mahdollista. (14; 15; 35.)

Positiot:

2SB01V001 ja 2SB01V002 Etulaakerin värähtelyt X- ja Y-suunta

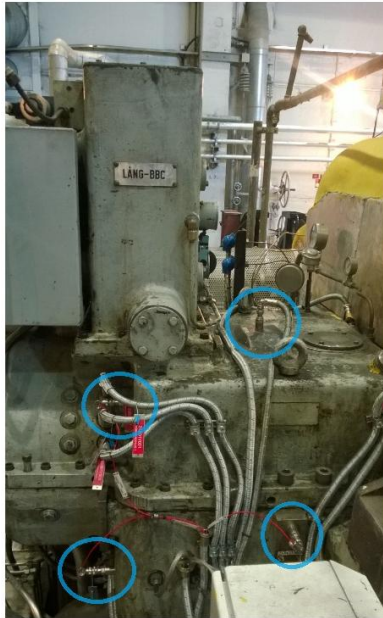
2SB01V003 ja 2SB01V004 Painelaakerin aksiaalinen värähtely 1 ja 2

2SB02V001 ja 2SB02V002 Takalaakeri värähtely X- ja Y-suunnassa

2SQ01V001 ja 2SQ02V001 Generaattorin etu- ja takalaakerin värähtelyt Y-suunta

Lang-turbiinin laakeripukkien värähtelyn valvonnassa käytetään Wilcoxon:in valmistamia pietsosähköisiä 793V nopeusantureita, mitkä ovat sijoitettu vertikaaliseen, aksiaaliseen ja horisontaaliseen suuntaan. Kolmen värähtelyn vapausasteen tarkastelu antaa kunnonvalvonnan kannalta paljon tarkempaa tietoa koneenosien kunnosta. Vapausasteiden tarkastelun merkitys korostuu erityisesti suurille voimille altistuvien turbiinin etupään paine- ja tukilaakerin kunnonvalvonnassa.

Painelaakerin kriittisyyden vuoksi tarkasteltavia värähtelyn vapausasteita on käytössä kolme, aksiaalinen, vertikaalinen ja horisontaalinen. Takalaakerilla värähtelyä mitataan vertikaalisessa ja horisontaalisessa suunnassa. Turbiinin laakeripukkien värähtelymitaukset on esitetty kuvassa 25. Generaattorin laakeripukkien värähtelynvalvonnassa on todettu riittäväksi yhden vertikaalisen vapausasteen tarkastelu.



2SB01V003 2SB01V001
2SB01V004 2SB01V002



2SB02V001
2SB02V002

Kuva 25 Turbiinin etu- ja takalaakerin värähtelymittaukset

Wilcoxin:in anturissa on sisäänrakennettu integraattori, joka muuttaa kiihtyvyyden nopeuteen verrannolliseksi jänniteviestiksi. Anturin herkkyys on $3,94 \text{ mV/mm/s} \pm 10 \%$ ja resonanssitaajuus 15 kHz. Anturin taajuusalue on 0 - 3500 Hz, joka pystytään tarkastelukohteen mukaan suodattamaan Bently Nevada järjestelmässä halutulle taajuuskaislalle. Mittaussignaalin tarkentamiseksi mittausten kiinnityksessä on käytetty vaimennusjalkoja, joiden resonanssitaajuus ja vaimennusalue vaikuttavat mittaukseen ikään kuin mekaanisena suodattimena.

Mittauksien mitta-alueeksi on määritetty Bently Nevadassa 0 - 20 mm/s ja suoja-laukaisurajaksi 11,2 mm/s. MetsoDNA:ssa hälytysyläraja on asetettu 8 mm/s. AIF4V-yksikön laskennalliset lisäkanavat m2 ja m3 on laskettu kuvaamaan värähtelyn nopeuden tehollisarvoa ja huippuarvoa alueella 0 - 20 mm/s. (14; 15; 16; 38.)

Positio:

2SB01V006 Turbiinin vaihekulma/pyörimisnopeus

Turbiinilla on myös analysointitarkoituksiin lisätty vaihekulman mittaaminen. Vaihekulman mittaaminen perustuu akseliin työstettyyn uraan, jota kutsutaan nollavaiheeksi. Uraan kohdalle on asennettu Bently Nevada 3300 XL 8 mm pyörrevirta-anturi, joka mittaa anturin ja akselin välistä etäisyyttä. Akselin pyöriessä nollavaihe ohittaa anturin ja sen etäisyyteen verrannollinen jänniteviesti muuttuu. Jänniteviesti vietään Bently Nevada järjestelmään, jossa vaihetietoa voidaan käyttää akselin ratakäyrän muodostuksessa. Vaihekulmatiedosta on myös laskettu turbiinin akselille pyörimisnopeus. (14; 15; 16; 35.)

8.2 Analysointi

Lang-turbiinin pitkän käyttöikänsä aikana kertynyttä käyttökokemusta on hyödynnetty tehokkaasti turbiinin mekaanisten erikoismittausten kehittämisessä. Automaation uudistuksen ja Bently Nevada 3500 -järjestelmään siirtymisen yhteydessä uusittiin kaikki pyörrevirta-anturit sekä kiihtyvyyssanturit korvattiin pietsosähköisillä nopeusantureilla. Bently Nevada -järjestelmän mittaukset luovat kattavan kokonaisuuden turbiinin turvallisen käytön ja kunnonvalvonnan kannalta.

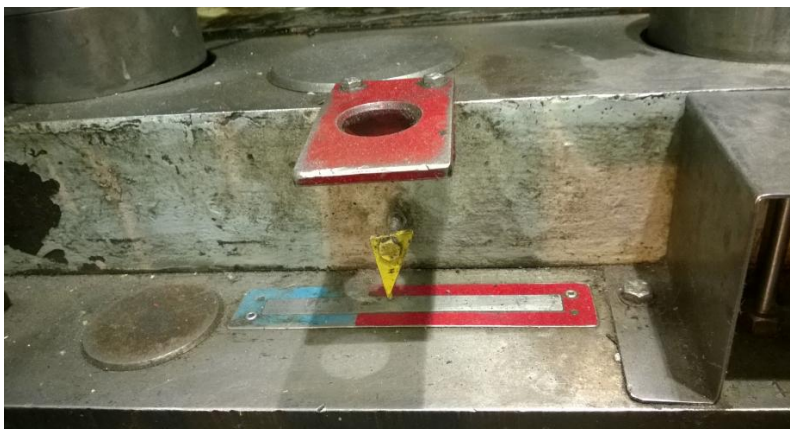
Laakeripukkien pietsosähköiset värähtelynopeusmittaukset ovat osoittautuneet varmatoimiksi ja luotettaviksi. Kaikki värinäanturit on sijoitettu turbiinin ja generaattorin rakenteiden ulkopinnoille, jolloin ajonaikainen anturin vaihto on helposti toteutettavissa. Tähän mennessä antureiden mittausvirheen yleisin aiheuttaja on ollut värähtelyn aiheuttama kiinnityksen löystyminen. Virheen rajaamisessa on hyvä aloittaa mekaanisten kiinnityksien ja liitoksien tarkastuksella. Vikaantuneesta anturista johtuvaa mittausvirhettä voidaan tutkia vertaamalla arvoa ulkoisella värähtelyanturilla suoritettuihin vertailumittauksiin. Kunnonvalvonnan kannalta kokonaisvärähtelytasojen kasvun yksityiskohtainen tarkastelu onnistuu hyvin Aspen Process Explorerin avulla.

Suhteellisen venymän mittaukset ovat muuttuneet eniten turbiinin käyttöhistorian aikana. Ensimmäinen laser-mittaus otettiin käyttöön vuonna 2001, jolloin anturin asennuksessa ja virityksessä oli omat haasteensa. Venymämittausta täydennettiin myöhemmin

kahdella laser-anturilla ja lopulta Amrein alkuperäisestä siirtymämittauksesta luovuttiin kokonaan. Lasereiden viritykseen vaikuttaa mm. antureiden kohdistaminen, pintojen muodot sekä värit. Ajan tuoman käyttökokemuksen avulla mittausten käytännön toteutusta on muokattu luotettavampaan suuntaan. Viimeisin antureiden telineiden muokkaus tapahtui kesän 2013 revisiossa, jossa myös antureiden kaapelointia muutettiin käytönaikaisen kaapelinvaihdon mahdollistamiseksi. Telineiden muokkaamisella on pyritty helpottamaan antureiden viritystä ja näin ollen varmistamaan mittauksen arvon paikkaansa pitävyydestä käynnin aikana. Viritys suoritetaan turbiinin ollessa kylmä ja paakikäytössä, joka poissulkee virheellisen virityksen korjaamisen käynnin aikana.

Akselin radiaalisen värähtelyn valvonta perustuu Bently Nevada:ssa määritettyihin raja-arvoihin. Metson reaaliaikaisen kunnonvalvontajärjestelmän avulla olisi mahdollista seurata akselin asemaa liukulaakerissa reaaliaikaisesti. Aseman ja ratakäyrän tarkempi tutkiminen vaatii kuitenkin analysoijalta paljon konekohtaista kokemusta ja koneteknisten ominaisuuksien tuntemusta liukulaakereiden kunnon arvioimiseksi.

Tulevaisuuden kehityskohteena pitäisin turbiinin absoluuttista venymää. Turbiinin absoluuttisesta venymästä voimalaitoksen rakenteiden suhteen kertoo tällä hetkellä ainoastaan mekaaninen osoitin mitta-asteikon päällä turbiinin etuosan molemmin puolin. Akselin aksiaalisten kiinnitöiden kannalta myös absoluuttinen venymä olisi hyvä huomioida ylös- ja alasajojen yhteydessä. Kuvassa 26 esitetty mitta-asteikko olisi helppo korvata lineaarisella siirtymämittauksella, josta saatavia tietoja voitaisiin hyödyntää turbiinin rakenteiden käyttäytymisen sekä niihin kohdistuvien voimien tutkimisessa.

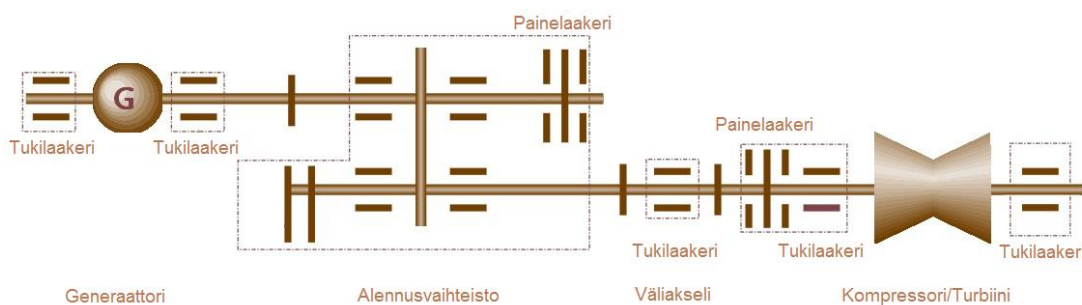


Kuva 26 Absoluuttisen venymän mitta-asteikko

9 GT8C kaasuturbiinin mekaaniset erikoismittaukset

Kaasuturbiiniyksikössä turbiinin ja generaattorin roottorit kytkeytyvät yhteen väliakselien ja alennusvaihteiston kautta. Kahden suuren roottorin aksiaaliseen ja radiaaliin tukemiseen tarvitaan riittävä määrä tuki- ja painelaakereita. Turbiinin akselin laakerointi on toteutettu kahdella tukilaakerilla ja yhdellä painelaakerilla. Akselistoa tarkasteltaessa alennusvaihteiston suunnasta sijaitsee akselin painelaakeri ja kompressorin tukilaakeri ennen turbiinin roottoria. Turbiinin tukilaakeri sijaitsee akselin päässä turbiinin poistopuolella. Generaattorin roottoria kannattelee kaksi tukilaakeria generaattorin molemmin puolin. Roottorin aksiaalista sijaintia ylläpitää alennusvaihteen akselilla sijaitseva painelaakeri. (9, s. 2–8.)

Kaasuturbiiniyksikön erikoismittauksissa korostuu koneiden ominaistuuksien vaikutukset. Turbiinilla, alennusvaihteistolla ja generaattorilla on eri ominaistuuksia. Turbiinin korkea pyörimisnopeus 6000 r/min tuottaa 100 Hz ominaistuuksia ja generaattorin pyörimisnopeus 3000 r/min 50 Hz:n. Alennusvaihteistossa värähtelymittausten analysoinnissa pitää huomioida molempien taajuuksien vaikutus värähtelyyn. Alla kuvassa 27 on yksinkertaistettu kuvaus kaasuturbiiniyksikön akselistosta ja osista.



Kuva 27 Kaasuturbiini ja generaattori (16.)

9.1 Järjestelmä

Kaasuturbiiniyksikön automaation uudistus suoritettiin Metson toimesta kesällä 2013. Kaasuturbiinin alkuperäiset erikoismittaukset koostuivat ABB:n Procontrol P13:sta sekä Bently Nevada 3300 -erikoismittausjärjestelmästä. Procontrol P13 vastaanotti laakeripukkien ja polttokammion värähtelymittausten mittaussignaalit. Bently Nevada 3300 -järjestelmään oli kytketty pyörrevirta- ja nopeusantureita, mitkä mittasivat akselin värinää ja siirtymää sekä myös laakeripukkien värähtelyä.

Uudistuksen jälkeen kaikki turbiinin säätö- ja suojoitoinnit sekä laskennat on toteutettu metsoDNA-järjestelmässä MetroACN-MR prosessinohjaimilla. Erikoismittausten osalta Bently Nevada 3300 -järjestelmästä luovuttiin ja mittaukset kytkettiin Metson mekaanisten värähtelyiden valvontamoduuleille. IO moduulit AIF4V ja AIF4E mittaavat dynaamisten antureiden antamat signaalit ja laskevat signaaleista värähtelyn tunnuslukuja. Suojalaukaisuissa käytetyt tunnusluvut viedään 4 - 20 mA viestinä suojajärjestelmään. Suojalähtöjen laskenta ja ohjaus tapahtuvat IO moduulissa, joka toimii itsenäisenä kenttäpiirin osana. Moduulien laskemat tunnusluvut luetaan IO-väylän kautta prosessiasemasovellukseen, joka näyttää mittaussuureet operointinäytössä ja siirtää tiedot historiatalletukseen. Operointinäytöissä valvotaan kaikkien mittausten m3 kanavan arvoa. (39, s. 4; 11.)

9.2 Mittaukset ja mittaustiedot

Kaasuturbiinilla värähtelyä mitataan monessa eri kohteessa usean vapausasteen suunnassa. Värähtelymittauksia on sijoitettu kaikille laakeripukeille, vaihteistolle sekä polttokammioon. Värähtelymittausten lisäksi valvotaan turbiinin ja generaattorin akselien aksiaalista siirtymää ja X-Y-suunnan värähtelyä. Seuraavaksi mittaukset on käyty positiokohtaisesti läpi. Mittausten sijainnit prosessissa on kuvattu kaasuturbiinin PI-kaaviossa (Liite 3).

Positiot:

4MBD10CY002 ja 4MBD10CY003 Laakeripukin värinä X-Y, turbiini

4MBD20CY002 ja 4MBD20CY003 Laakeripukin värinä X-Y, kompressori

4MKD10CY025 ja 4MKD10CY026 Laakeripukin värinä X-Y, generaattori, etuosa

4MKD20CY025 ja 4MKD20CY026 Laakeripukin värinä X-Y, generaattori, takaosa

Nämä positiot valvovat laakeripukkien värähtelyä kahden vapausasteen suunnassa. Mittaukset on asennettu 90° kulmaan toisiinsa nähden laakeripukkien pinnalle. Turbiinilla ja generaattorilla anturit on sijoitettu 45° kulmaan vaakatasosta ja kompressorilla hieman viistosti pysty- ja vaakasuuntaan. Turbiinin perälaakeripukin värähtelymittaukset altistuvat korkeammille lämpötiloille, minkä takia mittaukset on toteutettu eri anturimallilla.

Perälaakeripukin värähtelymittauksessa käytetään korkeisiin lämpötilaolosuhteisiin tarkoitettua Bently Nevada 330750 nopeusanturia. Nopeusanturin tuntoelin sekä elektroniikka ovat erotettu toisistaan kiinteällä kaapelilla, mikä on esitetty kuvassa 29. Erotetun rakenteen ansiosta lämpötilalle herkempi elektroniikkaosa voidaan jättää kuuman mittauskohteen ulkopuolelle. Anturin tunto-osa ja kaapeli kestävät kuumia lämpötilaolosuhteita 400 °C asti. Anturin herkkyys on 5,7 mV/mm/s ja taajuusvaste 20 - 1000 Hz.

Kompressorilla ja generaattorilla värähtelynopeuden tehollisarvoa mittaa Bently Nevada 9200 -sarjan nopeusanturi. Kuvassa 28 on esitetty 9200-sarjan anturipari generaattorin etulaakerilla. Anturin toiminta perustuu käämiin sisällä liikkuvaan magneettiseen sydämeen, joka liikkuessaan luo käämiin värähtelynopeuteen verrannollisen jännitteen. Anturin herkkyys on 19,7 mV/mm/s \pm 5 % ja taajuusvaste 0 - 1000 Hz. AIF4V kanavan parametreissa taajuuskaista kaikille mittauksille on suodatettu 10 - 1000 Hz välille ja mittauksen signaalista luodaan laskennallisilla kanavilla m3 ja m2 värähtelynopeuden tehollisarvo alueelle 0 - 20 mm/s ja huippuarvo alueelle 0 - 100 mm/s. Hälytysylärajat värähtelynopeuden tehollisarvolle on määritetty arvoihin 7,10 mm/s ja 18,00 mm/s. (14; 15; 16; 40; 41.)



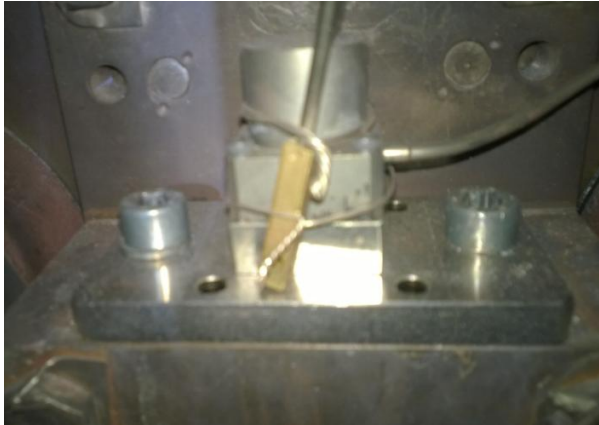
4MKD10CY025 4MKD10CY021
 4MKD10CY026 4MKD10CY022

Kuva 28 Ulkopinnalla laakeripukin värähtely, akselilla suhteellinen värähtely

Positiot:

4MBD10CY001 Laakeripukin värinä, turbiini
 4MBD20CY001 Laakeripukin värinä, kompressori
 4MBD30CY001 Laakeripukin värinä, väliakseli
 4MBK10CY001 Laakeripukin värinä, vaihteisto, turbiinin puoli
 4MBK10CY002 Laakeripukin värinä, vaihteisto, generaattorin puoli
 4MKD10CY020 Laakeripukin värinä, Generaattori, etuosa
 4MKD20CY020 Laakeripukin värinä, Generaattori takaosa

Laakeripukkien värähtelyä mitataan myös vertikaalisen vapausasteen suunnassa. Kaikissa mittauksissa anturin kiinnitys on toteutettu mekaanisen vaimennuslevyn kanssa. Y-suunnan laakeripukkien värähtelyssä huomioidaan myös turbiinin ja alennusvaihteiston väliakselin laakeripukin värinä. Perälaakeritilan Y-suunnan värähtelymittauksen mekaaninen vaimennuslevy ja anturin tunto-osa on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29 Bently Nevada 330750 -anturin tunto-osa perälaakeritilassa

Mittauksissa anturina käytetään samaa Wilcoxon:in valmistamaa 793V anturia kuin Lang-turbiinilla, paitsi turbiinin perälaakerilla Bently Nevadan 330750 anturia. AIF4V-kanavassa taajuuskaista mittaukselle on määritetty alueelle 10 - 1000 Hz. Kanavissa m2 ja m3 lasketaan värähtelynopeuden tehollisarvo ja huippuarvo samoille alueille, kuin muissakin kaasuturbiinin värähtelymittauksissa, hälytysrajana 7,10 mm/s.

Mittaukset ovat osa kaasuturbiinin suojaa. AIF4V-moduulilta vietään Y-suunnan mittausten arvot 4 - 20 mA viestinä suojajärjestelmään, jossa suojalähtöjen laskenta ja ohjaus tapahtuu. Suojalaukaisuraja kaikissa mittauksissa on 18 mm/s. Suojalaukaisuun on tehty 3 sekunnin viive, kun generaattori ei ole verkossa. (14; 15; 16.)

Positiot:

4MKD11CY011 laakerin värinä, generaattori, etuosa

4MKD21CY011 laakerin värinä, generaattori, takaosa

4MBK10CY020 Vaihteiston värinä x-suunta

Generaattorin etu- ja takalaakeripukkien värähtelyä mitataan myös pukin sisälle vertikaalisuuntaan asennetulla nopeusanturilla. Anturina käytetään Bently Nevadan 74712 -sarjan nopeusanturia, joka on ominaisuuksiltaan korkeampaan lämpötilan kestävyyttä lukuun ottamatta sama kuin 9200-sarjan anturi.

Alennusvaihteiston vertikaalisuunnan värähtelymittausten lisäksi valvotaan horisontaalista värähtelyä. Anturina käytetään 9200-sarjan nopeusanturia, joka on asennettu alennusvaihteiston kylkeen.

AIF4V kanavissa m2 ja m3 lasketaan värähtelynopeuden tehollisarvo ja huippuarvo samoille alueille, kuin muissakin kaasuturbiinin värähtelymittauksissa. (14; 15; 16.)

Positiot:

4MBD11CY001 ja 4MBD11CY002 Laakeripukin suhteellinen värinä X-Y, turbiini
4MBD21CY001 ja 4MBD21CY002 Laakeripukin suhteellinen värinä X-Y, turbiini
4MKD10CY021 ja 4MKD10CY022 Laakeripukin suhteellinen värinä X-Y, Gen. etu
4MKD20CY021 ja 4MKD20CY022 Laakeripukin suhteellinen värinä X-Y, Gen. tak

Laakeripukkien kohdalta suoritetaan akselin suhteellinen värinämittaus pyörrevirta-anturiparien avulla. Anturit on kiinnitetty laakeripukin kuoreen ja sijoitettu 45° kulmaan vaakatasosta, 90° kulmaan toisiinsa nähden (Kuva 26.).

Mittauksissa käytetään Bently Nevadan 8 mm 3300 -sarjan antureita. Pyörrevirta-anturille korkeataajuisen syöttöjännitteen tuottaa Bently Nevada 330100-50-00 lähettäjä/oskillaattori. Akselin suhteellisen värinän mittaukset turbiinin perälaakerilla toteutetaan 330190-antureilla korkeamman lämpötilankeston takia. Anturit säilyvät toimintakykyisinä 260 °C asti. Loput mittauksista on toteutettu 330103-anturin avulla. Antureiden lineaarista mittausaluetta 0,25 - 2,30 mm vastaa -1 - -17 V ulostulojännite. Antureiden herkkyys on 7,87 mV/mm/s.

Metson AIF4E-moduuli vastaanottaa lähettimien mittaussignaalit ja muuntaa ne kahdeksi suureeksi laskennallisilla kanavilla m2 ja m3. Pyörrevirta-antureiden mittauksista luotu kanava m2 muuttaa mittaussignaalin siirtymäksi mitta-alueella -1,00 - 1,00 mm ja kanava m3 huipusta-huippuun arvoksi alueella 0 - 250 µm. Hälytysrajaksi on asetettu 110 µm. (14; 15; 16; 35.)

Positiot:

4MBD22CY001 Roottorin akselin asento, turbiini

4MBK15CY001 Roottorin akselin asento, generaattori

Kaasuturbiinilla valvotaan sekä turbiinin - että generaattorin roottorin aksiaalisuuntaista asentoa. Molemmat mittaukset suoritetaan akseleiden painelaakereiden läheisyydestä. Turbiinin painelaakeri sijaitsee turbiinin roottorin lähellä ilman sisäänottokanavassa ja generaattorin painelaakeri alennusvaihteistossa (kuva 30).

Turbiinin akselin mittaus on toteutettu 11 mm Bently Nevadan 3300 XL -sarjan pyörrevirta-anturilla. Suurempi tuntoelin mahdollistaa suuremman mitta-alueen. Anturin herkkyys on 3,94 mV/mm ja lineaarinen mitta-alue on 0,5 - 4,5 mm, jota ulostulojännitteenä vastaa -1 - -17 Vdc. AIF4E-moduulissa muodostetut kanavat m2 ja m3 laskevat mittauksen siirtymää alueella -2,00 - 2,00 mm ja huipusta-huippuun -arvoa välillä 0 - 250 μm .



Kuva 30 Generaattorin akselin siirtymä

Generaattorin akselin mittaus on sijoitettu alennusvaihteiston taakse. Asentoa mittaa Bently Nevada:n 3300 -sarjan 8 mm pyörrevirta-anturi. AIF4E-moduulissa muodostetut kanavat m2 ja m3 laskevat mittauksen siirtymää alueella -1,00 - 1,00 mm ja huipusta-huippuun -arvoa välillä 0 - 250 μm . (14; 15; 16; 35.)

Positiot:

4MBA30CY001 Vaihekulmamittaus, Turbiinin akseli

4MKA20CY001 Vaihekulmamittaus, Generaattorin akseli

Myös vaihekulmamittaus suoritetaan erikseen molemmilta akseleilta. Akseleihin on työstetty urat, joiden kohdalla vaihekulmaa mittaavat Bently Nevada 3300 -sarjan 8 mm pyörrevirta-anturit on asennettu. Akselin pyöriessä ura ohittaa pyörrevirta-anturin ja muuttaa sen lähettimen jänniteviestiä. Saatua pulssimaista etäisyysmittausta voidaan käyttää ratakäyrien, akselin aseman sekä kierrosnopeuden laskemisessa.

AIF4E-moduulissa mittauksista on luotu kanavat m2 ja m3, joissa on luotu molemmille mittauksille siirtymän mitta-alueet -1,00 - 1,00 mm ja 0 - 250 µm, josta hälytysraja 110 µm. (14; 15; 16.)

Positio:

4MBM30CY001 Polttokammion värinät

Kaasuturbiinin värähtelymittauksiin kuuluu myös polttokammion värähtely. Polttokammion värähtelynvalvonnalla voidaan huomata merkkejä epätasaisesta palamisesta tai muista vioista. Värähtelyn mittauksessa käytetään korkeisiin lämpötilaosuhteisiin soveltuvaa Bently Nevadan 330750 nopeusanturia ja samoja mitta-alueita, -yksiköitä ja hälytysrajoja. (14; 15; 16.)

9.3 Analysointi

Automaatiouudistuksen myötä erikoismittausjärjestelmän kokoa saatiin pienennettyä ja tehoa kasvatettua. Kiinteä laitteisto kutistui huomattavasti sekä uuden järjestelmän myötä varaosien ja huollon saatavuudesta ei muodostu pitkään aikaan huolenaihetta. Kaasuturbiinin uuden automaatiojärjestelmän käyttökokemus karttuu koko ajan ja mahdolliset parannuskohteet tulevat esiin ajan kanssa. Monipuolisuutta järjestelmästä kuitenkin löytyy. AIF4-yksiköt mahdollistavat erillisen Metson kunnonvalvontajärjestelmän liittämisen automaatiojärjestelmän rinnalle tulevaisuuden tarpeiden niin vaatiessa.

Kaasuturbiinilla alkuperäiset erikoismittaukset on todettu erittäin toimiviksi. Korkeat lämpötilaolosuhteet aiheuttivat haasteita alkuperäisten antureiden kestossa. Käyttökokemuksen myötä kaasuturbiinin haastaviin mittausolosuhteisiin on löydetty toimivat anturiratkaisut. Vanhojen suurikokoisten Amrein-nopeusantureiden korvaus Langturbiinilla käytetyillä Wilcoxon:in pietsosähköisillä nopeusantureilla parantaa varaosien saatavuutta. Sama pätee Bently Nevada:n 3300 -sarjan 8 mm pyörrevirta-antureihin, joita käytetään myös 2. turbiinilla.

Erikoismittausten kartoittamisen yhteydessä huomasi, että positioiden 4MBD10CY002 ja 4MBDCY003 AIF4-kanavan parametreissa herkkyys oli asetettu samaan arvoon kuin muiden laakeripukkien X-Y -suunnan värähtelymittaukset. Kaikissa muissa positioissa käytössä on Bently Nevada 9200 -sarjan nopeusanturit, joiden herkkyys on 19,7 mV/mm/s. Perälaakeritilassa käytössä on korkeamman lämpötilan kestoisia Bently Nevada 330750 -antureita, joiden herkkyys on 5,7 mV/mm/s. Virheellisen herkkyyden vuoksi kanavan laskema mittaustulos on tällä hetkellä huomattavasti todellista arvoa pienempi. Onneksi virhe on helppo korjata ja saman laakeripukin Y-suunnan turbiinisuojaan liitetty värähtelymittaus 4MBD10CY001 on kunnossa.

10 Yhteenveto

Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitoksen erikoismittausten pitkä käyttöhistoria ja kokemus näkyy selvästi nykyhetken tilanteesta. Voimalaitoksen kohta 40-vuotisen historian aikana kertynyttä kokemusta on osattu hyödyntää tehokkaasti mittaussovellusten suunnittelussa ja kehittämisessä. Lähivuosien automaation - sekä erikoismittausjärjestelmien uudistukset varmistavat luotettavan ja monipuolisen kunnon- ja käytönvalvonnan lukuisiksi vuosiksi eteenpäin.

Turbiinien ja generaattoreiden erikoismittausten tutkiminen on ollut erittäin mielenkiintoista. Värähtelymittaukset ja niiden analysointimenetelmät luovat todella monipuolisen kunnonvalvonnan kokonaisuuden. Tarkkojen vianaiheuttajien pääättelemisen taajuusspektreistä ja akselin ratakäyristä edellyttää paljon kokemusperäistä tietoa ja koneteknistä osaamista. Tulevaisuudessa mahdollisten Metson erillisten kunnonvalvontajärjestelmien käyttöönoton suhteen painottaisin henkilökunnan koulutuksen tärkeyttä.

Toivon, että keräämäni tieto erikoismittausten perusteista antaa hyvää pohjatietoa erikoismittausten parissa työskenteleville henkilöille ja mittausten kalibrointiohjeet auttavat kunnossapitohenkilökuntaa mittausten viritys- ja asennustöissä.

Lähteet

- 1 Historia. 2012. Verkkodokumentti. Vantaan Energia Oy.
<<http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/tietoakonsernista/Sivut/Historia.aspx>>. Luettu 4.2.2014
- 2 Erävuori, Jukka. 2000. Virtaa Vantaalta. Espoo:Frenckellin Kirjapaino Oy
- 3 Tietoa konsernista. 2012. Verkkodokumentti. Vantaan Energia Oy.
<<http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/Sivut/default.aspx>> Luettu
- 4 Jätevoimalahanke. 2012. Verkkodokumentti. Vantaan Energia Oy.
<<http://www.vantaanenergia.fi/FI/TIETOAKONSERNISTA/JATEVOIMALAHANK/E/Sivut/default.aspx>> Luettu 4.2.2014
- 5 Tapamme toimia. 2012. Verkkodokumentti. Vantaan Energia Oy.
<<http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/tietoakonsernista/Tapammetoimia/Sivut/default.aspx>> Luettu 4.2.2014
- 6 Jätevoimala lyhyesti. 2012. Verkkodokumentti. Vantaan Energia Oy.
<<http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/jatevoimalahanke/jatevoimalalyhyesti/Sivut/default.aspx>> Luettu 4.2.2014
- 7 Tilinpäätös 2013. 2014. Verkkodokumentti. Vantaan Energia Oy
<http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/media/Documents/Vantaan%20Energia%20konsernitilip%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%202013.pdf> Luettu 1.4.2013
- 8 Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa. 2011. Verkkodokumentti. VTT.
https://www.tem.fi/files/29530/Kivihiilen_korvaaminen_biomassoilla_yhteistuotannon_polypolttokattiloissa_VTT.pdf Luettu 20.2.2014
- 9 ABB Power generation Ltd. 1994. Martinlaakso GT8C Training Documentation. Kaasuturbiini GT8C -koulutuskansio, suomennos.
- 10 Nohynek, Petri. Lumme, Veli Erkki. 1996. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. Rajamäki: KP-Tieto Oy
- 11 Villanen, Ari. Luukkanen, Pekka. 1998. Liukulaakerin kunnonvalvonta. Kunnossapito -lehti n:o 44. Imatran Voima Oy

- 12 Mikkonen, Henri. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy
- 13 Suomalaiset ABB-yhtiöt. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Vaasa: Ykkös-Offset Oy
- 14 PowerMaint –tietokantajärjestelmä. Vantaan Energia Oy. Martinlaakson voimalaitos
- 15 Metso DNA Explorer. Ohjelmakuvien tietokanta. Vantaan Energia Oy. Martinlaakson voimalaitos
- 16 Metso DNAuse. Voimalaitosprosessin operointiohjelma. Vantaan Energia Oy. Martinlaakson voimalaitos.
- 17 Epro. 2005. Pdf-dokumentti. System Manual 3000. Operating Manual Shaft vibration transmitter MMS 3110. Epro käyttöohje.
- 18 Epro. 2005. Pdf -dokumentti. System Manual 3000. Operating Manual Bearing vibration transmitter MMS 3120. Epro käyttöohje.
- 19 Epro. 2006. Pdf-dokumentti. System Manual 3000. Operating Manual MMS 3210 Shaft Displacement Transmitter. Epro käyttöohje.
- 20 Epro. 2006. Pdf-dokumentti. System Manual 3000. Instruction manual MMS 3311 Rotational Speed / Key-pulse Transmitter. Epro käyttöohje.
- 21 Epro. 2003. Pdf-dokumentti. PR 9266/.. and PR 9268/.. Electro-dynamic Absolute Vibration transducers. Epro laite-esite.
- 22 Epro. 2003. Pdf-dokumentti. PR 6423 Eddy current displacement sensor. Epro laite-esite
- 23 Helsingin Energia. 2006. Pdf-dokumentti. Koeajomittaus. Värähtelymittauspöytäkirja 17.8.2006.
- 24 SICK. Pdf-dokumentti. UM 18 Ultrasonic sensor Technical Information. SICK laite-esite
- 25 Metso Automation Oy. 2011. Turbiinisäädön määrittelyt. Vantaan Energia Oy. Martinlaakson voimalaitos. Höyryturbiini 2.
- 26 GE Measurement & Control. 2011. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 3500/15 Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.

- 27 GE Measurement & Control. 2006. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 3500/22M Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.
- 28 Keskustelu. 15.2.2014. Keskustelu Bently Nevada erikoismittausjärjestelmästä automaatioasentaja Juha Martikaisen kanssa.
- 29 GE Measurement & Control. 2011. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 3500/42M Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.
- 30 GE Measurement & Control. 2011. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 3500/45 Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.
- 31 GE Measurement & Control. 2010. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 3500/25 Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.
- 32 GE Measurement & Control. 2011. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 3500/92 Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.
- 33 GE Measurement & Control. 2012. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 3500/33 Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.
- 34 Metso Automation Oy. 2011. Pdf-dokumentti. ACN I/O M120. ACN I/O laitteisto-
- 35 GE Measurement & Control. 2011. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 3300 XL 8mm Proximity Transducer System, Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.
- 36 SICK. 2012. OD50-10P142 Data Sheet. Pdf-dokumentti. SICK laite-esite.
- 37 SICK. 2013. OD2-P50W10I2 Data Sheet. Pdf-dokumentti. SICK laite-esite.
- 38 MEGGITT. 2011. Pdf-dokumentti. Wilcoxon Research 793V Series Piezoelectric velocity transducers. Wilcoxon laite-esite.
- 39 Metso Automation Oy. 2013. Turbiinisuojan määrittelyt. Vantaan Energia Oy. Martinlaakson voimalaitos. GT8C kaasuturbiini.
- 40 GE Measurement & Control. 2009. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 330750 and 330752 High Temperature Velomitor system Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.
- 41 GE Measurement & Control. 2007. Pdf-dokumentti. Bently Nevada 9200 and 74712 Seismoprobe Specifications and Ordering Information. Bently Nevada laite-esite.

PI-kaavio

PI-kaavio

PI-kaavio