

VESITURBIININ KUNNONVALVONTA

Menetelmien vertailu ja analysointi

Tero Häkkinen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Häkkinen, Tero	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 23.05.2014
	Sivumäärä 44	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi VESITURBIININ KUNNONVALVONTA Menetelmien vertailu ja analysointi		
Koulutusohjelma Kone- ja Tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Isometsä, Juha; Tero Laaksonen; Tuukkanen, Harri		
Toimeksiantaja(t) WeMaint Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kumpi menetelmä olisi soveltuvampi pienvesivoimalan kunnonvalvontaan: reittimittaus vai kiinteän mittausjärjestelmän käyttäminen.</p> <p>Työtä varten Killin Voima Oy:n omistamassa Soininkosken vesivoimalassa tehtiin reittimittauksia sekä asennettiin kiinteä mittausjärjestelmä. Näin päästiin käytännössä vertailemaan sekä menetelmien ominaisuuksia, että niistä muodostuvia kustannuksia.</p> <p>Järjestelmien yleisten ominaisuuksien, työn aikana opittujen asioiden ja järjestelmien kustannusvertailun pohjalta saatiin tulokseksi se, että kiinteä kunnonvalvontajärjestelmä on soveltuvain pienellekin vesivoimalaitokselle. Johtopäätökseen vaikuttivat etenkin reittimittauksen etäkulut, jotka ko- hoavat ajan kanssa kiinteän järjestelmän investointikustannuksia merkittävämmiksi.</p> <p>Työn tuloksia voi soveltaa sopivan palvelutason määrittämiseen niin kunnonvalvontapalvelua tarjoavan yrityksen kuin kunnonvalvontapalvelua hankkivankin yrityksen toimesta.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Kunnonvalvonta, kustannustehokkuus, kunnossapito, palvelutaso		
Muut tiedot		



Author(s) Häkkinen, Tero	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 23052014
	Pages 44	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title CONDITION MONITORING OF A WATER TURBINE Comparison and analysis of methods		
Degree Programme Mechanical and Production Engineering		
Tutor(s) Isometsä, Juha; Tero Laaksonen; Tuukkanen, Harri		
Assigned by WeMaint Oy		
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis was to ascertain the more appropriate one of two methods of condition monitoring for a small hydroelectric power plant. The comparison was made between route based monitoring method and online monitoring method.</p> <p>During the course of this work two route measurements were performed at Killin Voima Oy's hydroelectric power plant at Soininkoski. An online condition monitoring system was also installed so the features and costs of the two methods could be compared.</p> <p>Based on the different features, knowledge gained during the course of this work and cost comparison between the two methods a conclusion was reached that online condition monitoring is a more suited method for small hydroelectric power plants. Due to the distance between a service provider and their client costs accrued from traveling as well as time spent traveling drive up the costs of route based monitoring method. In the long run it is more economical to invest in an online measurement system.</p> <p>The results of this thesis can be applied to determining a suitable specification of service contract by either a company offering condition monitoring services or a company purchasing such services.</p>		
Keywords Condition monitoring, cost-effectiveness, maintenance, service level		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

SISÄLTÖ	1
1 Johdanto	3
1.1 Opinnäytteen tavoitteet ja rajaukset	3
1.2 WeMaint Oy	4
1.3 Killin Voima Oy	4
2 Vesivoima	5
2.1 Vesivoima Suomessa	5
2.2 Vesiturbiinin rakenne	5
3 Kunnossapito ja kunnonvalvonta	6
3.1 Kunnonvalvonta kunnossapidon osana	7
3.2 Kunnonvalvonnan taloudelliset merkitykset	9
3.2.1 Kunnonvalvonnan tuottama hyöty	9
3.2.2 Kunnonvalvonnan kustannukset	11
3.3 Kunnonvalvonta toimena	12
3.4 Kunnonvalvonta palveluna	13
3.5 Kunnonvalvonnan eri mittauskeinoja	14
3.5.1 Värähtelymittaus	15
3.5.2 Voiteluaineanalyysi	18
3.5.3 Lämpötilamittaus	18
4 Työn suoritus	19
4.1 Valitut mittaukset	20
4.2 Mittausten tiheys	21
5 Koeympäristön esittely	22
5.1 Reittimittaus	22
5.2 Kiinteä mittaus	24
6 Mittaustapojen vertailu	26
6.1 Mittausten asiakkaalle tuoma hyöty	26
6.2 Mittaussykli	27
6.3 Mittaustulokset	28
6.4 Joustavuus ja monipuolisuus	30

6.5	Standardin suositukset	31
7	Mittaustapojen kustannusvertailu	31
8	Soveltuvin kunnonvalvontaratkaisu	37
9	Tulosten oikeellisuus ja keinojen tarkastelu	38
10	Tavoitteiden saavuttaminen ja työni merkitys	39
	Lähteet	41
	Liitteet.....	43
	Liite 1. Kiinteän mittalaitteen kokoonpano ja konfiguraatio	43
	Liite 2. Killin Voima Oy:n edustajille luovuttamani kyselyn kysymykset.....	44

Kuviot

Kuvio 1.	Soidenkosken s-mallisen Kaplan-turbiinigeneraattorin piirustus.....	6
Kuvio 2.	PSK 6201:n mukainen kunnossapitolajien jako	7
Kuvio 3.	Moubrayn (1997, 154) kehittämä kääntämäni p–f -käyrä	8
Kuvio 4.	Nohynekin ja Lumpeen (1996, 12) esitys kunnonvalvonnan lisäämästä tuotantoajasta.....	10
Kuvio 5.	Soininkosken vesivoimala	22
Kuvio 6.	Vaihdelaatikon vapaan pään mittaukset	24
Kuvio 7.	Vaihteen värähtelyjen muuttuminen	29
Kuvio 8.	Reittimittausten suhteelliset kustannukset.....	32
Kuvio 9.	Laajan kiinteän mittajärjestelmän suhteelliset kustannukset	33
Kuvio 10.	Kevyemmän kiinteän järjestelmän suhteelliset kustannukset	34
Kuvio 11.	Eri järjestelmien kustannuskehitys.....	36

Taulukot

Taulukko 1.	Mittausreitti.....	23
Taulukko 2.	Kiinteän järjestelmän mittaukset	25
Taulukko 3.	PSK 5705:n suosituksia värähtelyn mittausväliksi	35

1 Johdanto

Nykyisin kunnossapidon toiminta kehittyy yhä enemmän kriittisten koneiden käynnissäpitoon. Yksi keino varmistaa koneiden käynti on kunnonvalvonta. Kunnonvalvontaa voidaan suorittaa monin keinoin sekä erilaajuisissa mittakaavoissa. Etenkin eri laajuisten järjestelmien väliltä tehtävä valinta on merkittävä päätös, joka nojaa asiakkaan investointihaluun ja järjestelmän toimittajien suosituksiin sekä asiantuntijuuteen. Opinnäytetyöni pyrkii vertailemaan kahta erilaajuista menetelmää ja tutkimaan kumpi on soveltuvampi vesiturbiinin kunnonvalvonnassa.

1.1 Opinnäytteen tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyöni tavoitteena on selvittää soveltuvin värehtelykunnonvalvontaratkaisu vesiturbiinigeneraattorille. Ratkaisun soveltuvuutta tulen arvioimaan niin palveluntuottajan kuin asiakkaankin näkökulmasta. Soveltuvuuden arviointia varten tullaan työssä suorittamaan mittauksia vesivoimalan kriittisille kohteille kiinteällä ja kannettavalla järjestelmällä. Järjestelmän soveltuvuuden tulen arvioimaan järjestelmän ominaisuuksien sekä kustannusten avulla. Työtä varten tehtävää mittausprojektia saatetaan jatkaa työni valmistumisen jälkeenkin, mutta mittauksista saatavaa uutta tietoa ei luonnollisesti voi hyödyntää työni vertailuosiossa.

Oppimisen kannalta pyrin työni avulla saavuttamaan käytännön ymmärrystä kunnonvalvontajärjestelmän valitsemiseen liittyvistä tekijöistä. Pyrin myös hahmottamaan järjestelmän valintaan ja hankintaan liittyvää toimintaa niin palveluntarjoajan kuin palvelun ostajankin näkökulmasta.

1.2 WeMaint Oy

WeMaint Oy on Jyväskyläläinen vuonna 2009 perustettu perheyritys, joka tarjoaa kunnossapidon palveluja. WeMaint Oy:n asiakkaina ovat muun muassa Jyväskylän alueellakin toimivat Pikval Oy, Siparila Oy ja Sovella Oy. Yritys jakaantuu ulkoistetun kunnossapidon palveluja tarjoavaan puoleen ja ennakkoivan kunnossapidon ratkaisuja tarjoavaan Solutions-puoleen. Ulkoistetun kunnossapidon palvelulla tarkoitetaan sähkö-, logiikka- ja mekaniikka-asentajien vuokrausta asiakkaiden toimipisteille.

Solutions-puolen toiminta on aloitettu muutama vuosi sitten ja on vielä kasvuvaiheessa. Ennakoivan kunnossapidon palveluiden ytimessä ovat kunnonvalvontaratkaisut ja yrityksen palveluihin kuuluvat muun muassa

- lämpökamerakuvaukset
- värähtelymittaukset ja -analyysit sekä
- linjauspalvelut.

WeMaint Oy tarjoaa värähtelymittauspalveluissaan niin kiinteitä mittauspalveluja, puolikiinteitä mittauspalveluja kuin reittimittauspalveluitakin.

1.3 Killin Voima Oy

Killin Voima Oy on Koillis-Satakunnan Sähkö Oy -konserniin kuuluva vesivoimalla sähköä tuottava yritys. Killin Voima Oy omistaa Killinkosken ja Soininkosken vesivoimalaitokset Virroilla sekä Käenkosken voimalan Parkanossa. Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n jakeluverkko sijaitsee alueella, jossa Etelä-Pohjanmaa, Keski-Suomi ja Pirkanmaa kohtaavat. Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n pääosakkaat ovat kunnat: Virrat, Ähtäri, Alavus, Keuruu ja Kihniö. (Koillis-Satakunnan Sähkö Oy)

2 Vesivoima

Vesivoima on uusiutuviin energiamuotoihin lukeutuva sähköntuotantomuoto, jossa hyödynnetään kahden vesitason välistä korkeuseroa. Vesivoimalla on monia hyviä puolia kuten suhteellisen alhaiset kustannukset ja mahdollisuus pienentää tai kasvattaa sähköntuotantoa nopeasti energiantarpeen mukaan. Vuonna 2010 noin 16,1 % maailmassa kulutetusta sähköstä tuotettiin vesivoimalla. (Use and Capacity of Global Hydropower Increases, 2013.)

2.1 Vesivoima Suomessa

Vesivoima on merkittävin uusiutuva sähköntuotantomuoto Suomessa. Vesivoiman osuus Suomen sähköntuotannosta on ollut jopa 90 % 1950- ja 1960-luvuilla. Nykyään vesivoiman osuus vaihtelee vesitilanteen mukaan 10 – 20 % välillä. Suomessa on yli 220 vesivoimalaitosta ja niiden yhteenlaskettu teho on noin 3100 MW. (Vesivoima, n.d.)

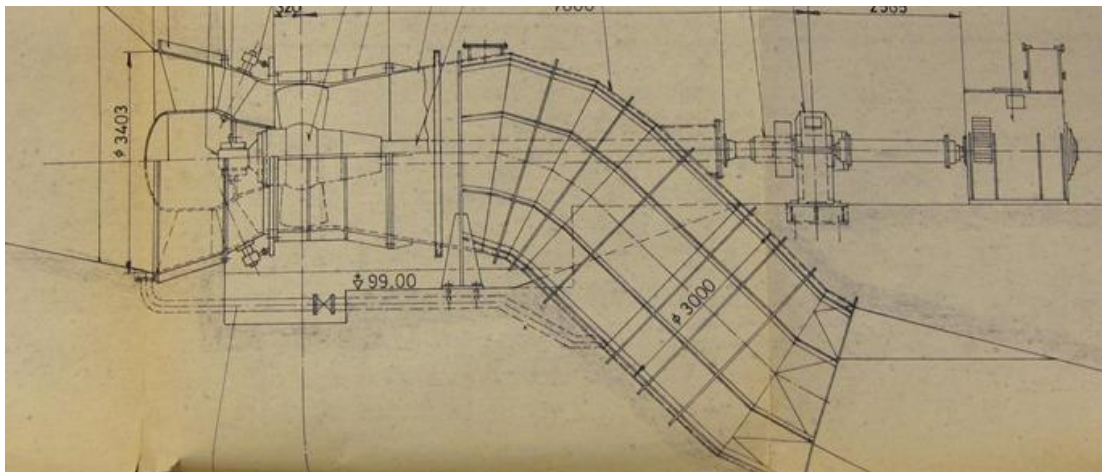
Suomen vesistöissä on jonkin verran mahdollisuuksia lisärakentamiseen, mutta etenkin ympäristönsuojelulliset syyt rajoittavat merkittävää lisärakentamista. Edullinen tapa vesivoimakapasiteetin lisäykseen onkin nykyisten voimaloiden tehon lisäys. Tämä voi tapahtua esimerkiksi peruskorjauksen yhteydessä suoritettavassa tehonnostoprojektissa, jossa uusitaan mm. turbiini. (Vesivoimatuotannon määrä ja lisäämismahdollisuudet Suomessa, 2005, 2.)

2.2 Vesiturbiinin rakenne

Vesiturbiineja on useita erimallisia. Pääasiallinen syy erityyppisiin turbiineihin ja niitä ympäröiviin rakenteisiin ovat vesistöjen erilaiset ominaisuudet. Esimerkiksi Kaplan-turbiinit soveltuvat parhaiten pienen pudotuksen ja suuren vir-

taaman olosuhteisiin, kun taas Francis-turbiinit ovat hyvin yleiskäyttöisiä toimien melko pienestä korkeahkoon pudotukseen ja pienestä suureen virtaamaan. (How does Francis turbine work ?, n.d.; Kaplan Turbine - A Mammoth in Hydroelectric Power Generation, n.d.)

Vaikka vesiturbiineja on monia erimallisia, niiden toimintaperiaate on aina sama: vesi johdetaan turbiinille, joka pyörittää akselin avulla generaattorin roottoria. Kuviossa 1 on nähtävissä Soidenkosken turbiinigeneraattorin tekninen piirros. Turbiinigeneraattori on s-mallinen Kaplan-turbiinigeneraattori. S-kirjain tulee nimeen vesiputken näennäisestä s-muodosta. Turbiinigeneraattorissa voi myös olla vaihde kuten Soininkoskella. Vesivoimaloissa onkin monta kohdetta, joiden vikaantumista voisi tarkkailla kunnonvalvonnan keinoin.

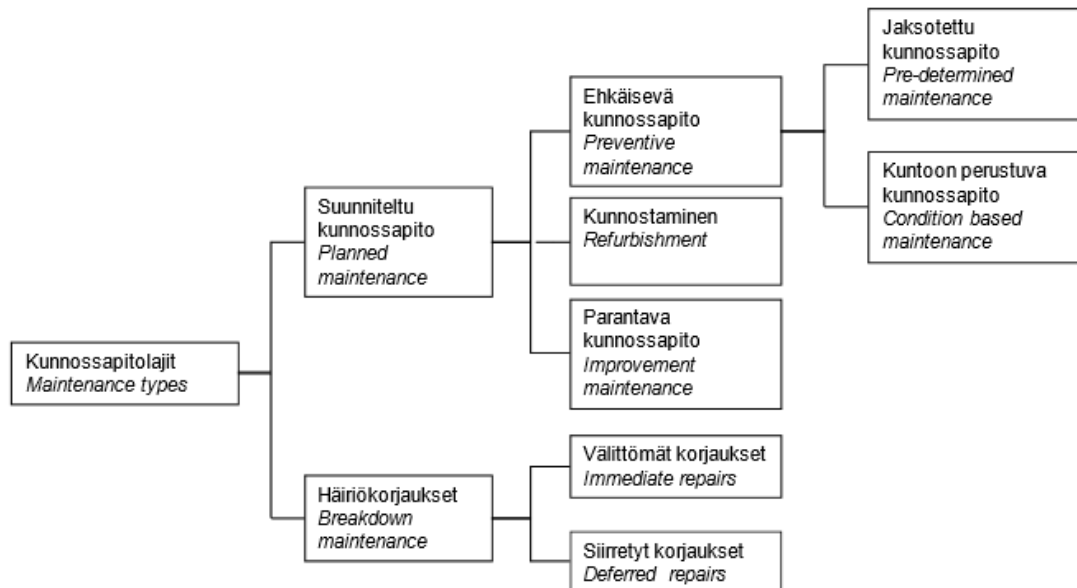


Kuvio 1. Soidenkosken s-mallisen Kaplan-turbiinigeneraattorin piirustus

3 Kunnossapito ja kunnonvalvonta

Nykyaikaisen käsityksen mukaan kunnossapidon tärkein tehtävä ei ole koneiden korjaaminen vaan laitteiden pitäminen jatkuvasti käyttökunnossa. Tällainen näkemys tekee kunnossapidosta käytännössä katsoen yrityksen tuotantokelijän, jolla voidaan vaikuttaa tuotantolaitoksen kilpailukykyyn. (Heinonen, Jantunen, Kautto, Kokko, Komonen, Lakka, Leinonen, Lumme, Miettinen, Mikkonen, Mäkeläinen, Riutta & Sulo 2009, 25.)

Kunnossapito on alkujaan viitannut hajonneiden koneiden korjaamiseen ja käyttökunnon palauttamiseen. Ajan myötä kunnossapidon toimet ovat painotuneet keinoihin, joilla pidennetään koneiden käyttöaikaa ja ehkäistään vikaantumisia. Tarkoituksena on tehdä tarvittavia huoltotoimenpiteitä koneille etukäteen suunniteltuina aikoina, jolloin ne eivät häiritsisi tuotannon aikatauluja. Kuvista kaksi nähdään PSK-standardin (PSK 6201, 2011, 22) mukainen jako kunnossapitolajeihin. Kuvion pohjalta huomataan, että kuntoon perustuva kunnossapito ja jaksotettu kunnossapito ovat yhdenvertaisia ehkäisevän kunnossapidon lajeja.



Kuvio 2. PSK 6201:n mukainen kunnossapitolajien jako

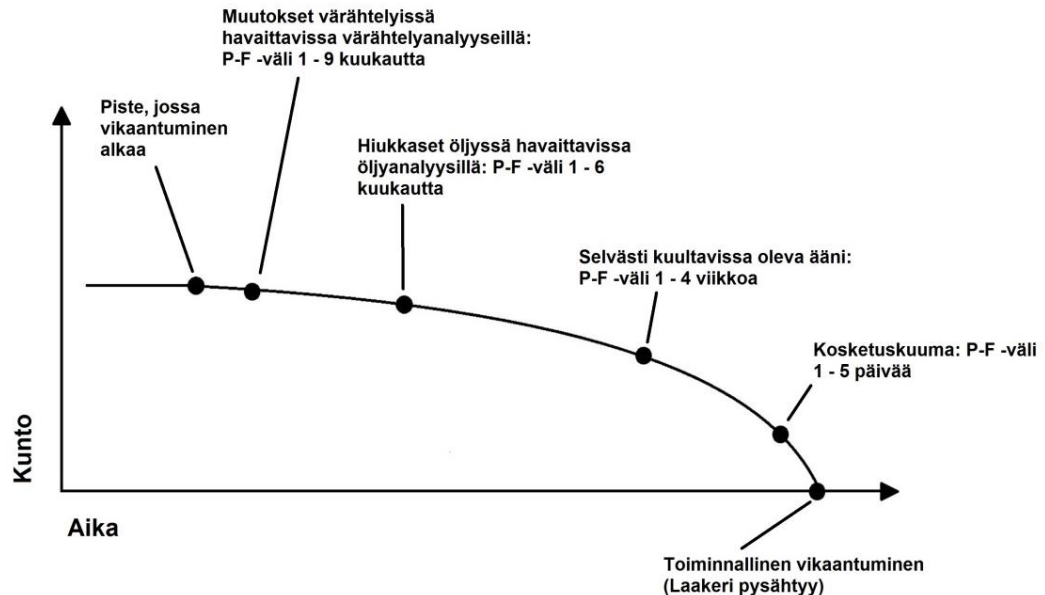
3.1 Kunnonvalvonta kunnossapidon osana

Kuntoon perustuvan kunnossapidon PSK-standardi 6201 määrittelee siihen sisältyvine käsitteineen näin

*Kuntoon perustuva kunnossapito
Kunnonvalvonnalla tai tarkastustoiminnalla havaittujen kohteiden
suunniteltu korjaus.*

Kunnonvalvonnan toimenpiteitä ovat aistein sekä mittalaittein tapahtuvat tarkastukset ja valvonta sekä mittaustulosten analysointi. Kunnonvalvonnalla määritellään kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehittyminen mahdollisen vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohdan määrittämiseksi. (PSK 6201, 2011, 23.)

Kunnonvalvonnan perusajatuksena on siis havaita merkkejä alkaneesta vikaantumisesta, jotta tuleva hajoaminen pystytään välttämään viallisen osan vaihdolla tai korjauksella. Kuviossa 3 nähdään Moubray:ta mukaileva kuula-laakerin p-f -käyrä, joka tiivistää kunnonvalvonnan ajatuksen. P-f viittaa **P**otentiaaliseen vian ja vian (**F**ailure) väliseen kehitykseen. Mitä pidemmälle vikaantuminen etenee, sitä useammalla tavalla vikaantuminen on havaittavissa. P-f -väli on kunnonvalvonnan kannalta tärkeä tieto, sillä se määrittää mittausten välisen maksimiajan. Mittauksia täytyy suorittaa jatkuvasti sellaisella aikavälillä, että syntyneen vian pystyy havaitsemaan ja siihen pystytään varautumaan kunnossapitoimen suunnittelulla ja tarvittavien varaosien hankinnalla.



Kuvio 3. Moubrayn (1997, 154) kehittämä käntämäni p-f -käyrä

Smithin ja Hincheliffen (2003, 24) mukaan kuntoon perustuva kunnossapito soveltuu etenkin tilanteisiin, joissa vian syntymisen ehkäisytapaa ei tunneta tai

se ei ole mahdollista. Kuntoon perustuva kunnossapito on järkevä toimintatapa myös tilanteissa, joissa esimerkiksi tavallinen aikaan perustuva ennakoiva kunnossapito voisi aiheuttaa liian suuria kustannuksia. Esimerkiksi kalliin varaosan säännöllinen vaihtaminen, kun varaosa on vielä ehjä ja käyttökelpoinen, tuottaa pitkällä jännteellä suuria kustannuksia lisäämättä välttämättä laitteen käytettävyyttä. Nohynek ja Lumpeen (1996,12) sanoin ”Kunnonvalvonnan avulla pyritään siis siihen, että kunnossapitotyöt suoritetaan oikea-aikaisesti ja vain silloin, kun koneiden kunto niitä edellyttää”.

3.2 Kunnonvalvonnan taloudelliset merkitykset

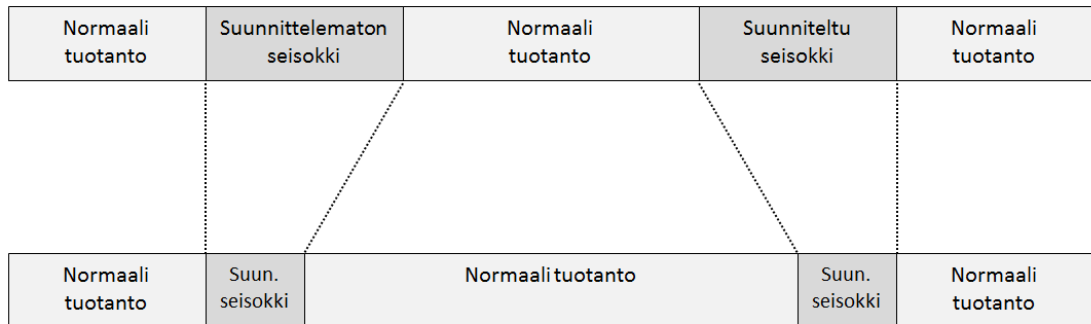
Kunnonvalvonnan vaikutus yrityksen taloudessa näkyy samoissa tekijöissä kuin muutkin ennakoivan kunnossapidon toimenpiteet. Kunnossapidolla on suora vaikutus yrityksen tuotantokykyyn, sillä tuotanto tarvitsee koneitaan. Koneiden hajoessa laskee yrityksen tuotantokapasiteetti hetkellisesti. Kovan tilauskannan aikana hajoamiset merkitsevät joko pienemmän tilausmäärän käsittelykykyä tai toimituksen myöhästymissakkojen maksamista. Kapasiteetin riittäessäkin voi koneiden huono kunto näkyä tuotteiden huonommassa laadussa, mikä voi johtaa tuotteiden hylkäämiseen tai jatkokäsittelytarpeeseen. (Keep It Running – Industrial Asset Management, 1998, 30.)

3.2.1 Kunnonvalvonnan tuottama hyöty

Edellisessä kappaleessa mainitut tekijät ovat osa tuotannon kokonaistehokkuutta eli KNL-lukua (**K**äytettävyys, **N**opeus ja **L**aatu). Kunnonvalvonnalla pyritään vaikuttamaan näistä tekijöistä etenkin käytettävyyteen. Käytettävyydellä tarkoitetaan suhdetta, joka saadaan jakamalla koneen tuotantoaika sen suunnitellulla tuotantoajalla. Eli käytettävyys kertoo kuinka suuren osuuden haluamastaan tuotantoajasta yritys sai. Käytettävyyttä pienentävät niin vikojen yleisyys kuin niiden kestokin. Vikojen kestoon vaikuttaa vian tyypin lisäksi kunnossapitotoimen nopeus ja aika vikaantumisen alkamisesta korjaustyön alka-

miseen. Käytettävyyden kasvua havainnollistaa kuvio 4. (Keep It Running – Industrial Asset Management, 1998, 25.)

Ilman kunnonvalvontaa



Kunnonvalvonnan kanssa

Kuvio 4. Nohynekin ja Lumpeen (1996, 12) esitys kunnonvalvonnan lisäämistä tuotantoajasta

Kunnonvalvonnan avulla havaittu alkavan vikaantumisen kehittyminen voidaan estää paremmalla huollolla tai komponentin korvaamisella. Kunnossapitotoimenpide tehdään joko säännöllisessä huoltoseisokissa tai ylimääräisessä, mutta suunnitellussa, huoltoseisokissa. Tällöin komponentti ei pääse hajoamaan kesken tuotantoajan ja aiheuttamaan tuotannonmenetyksiä. Etukäteen havaittua vikaa korjatessa aikaa säästyy hieman kunnossapitotyössä, koska työ on pystytty suunnittelemaan rauhassa ennen vikaantumisen tapahtumista. Aikaa säästyy huomattavasti myös kunnossapitotyötä valmistelevista toimista. Nohynek ja Lumme (1996, 12) luettelevat tällaisiksi syiksi muun muassa:

- vian havaitsemisen
- asiakirjojen haun
- henkilökunnan varaamisen
- työkalujen varaamisen
- varaosien varaamisen ja hankinnan.

Tuotannonmenetykset ovat rahallinen mittaväline käytettävyyden menetyksille. Kustannuksia syntyy jo mainituista tuotantokapasiteetin laskuista ja myyntimäärän vähenemisestä, mutta myös tuotannon seisomisesta. Tuotannon

henkilökunnan palkat, laitoksen energia ja yrityksen määrittämä konetuntihinta tuovat kustannuksia yritykselle koko ajan. Jos tuotanto ei valmista tuotteita myytäväksi, aiheutuu yritykselle pelkkiä kustannuksia. Kunnonvalvontaa voi verrata mihin tahansa muuhun investointiin: sen täytyy tuottaa voittoa yritykselle. Kunnonvalvonnalla täytyy pitkällä aikavälillä estää kustannuksia syntymästä enempää kuin mitä kunnonvalvontatoiminnasta maksetaan.

3.2.2 Kunnonvalvonnan kustannukset

Kunnonvalvontaohjelman kustannukset kasvavat valitun järjestelmän mukana. Toiminnan ytimenä on kuitenkin jatkuva mittaustoiminta, jolla seurataan koneenosien kunnan kehitystä. Mikäli yritys alkaa toteuttaa kunnonvalvontaa laajassa mittakaavassa muutoin kuin aistinvaraisina tutkimuksina, tulee siitä aiheutumaan merkittäviä kustannuksia. Kustannukset jakaantuvat periaatteessa laitteistokustannuksiin ja henkilöstökustannuksiin. Useissa mittamenetelmissä on myös lisenssikustannuksia, mutta niitä voi verrata laitteistokustannuksiin. (An Engineers's Guide to Shaft Alignment, Vibration Analysis, Dynamic Balancing & Wear Debris Analysis, 2002, 88)

Henkilöstökustannuksia kunnonvalvonnassa syntyy suoritettaessa mittauksia, analysoitaessa tuloksia, tehdessä analysoinnin pohjalta suosituksia ja raportoitaessa. Yksinkertaisimpia mittauksia voi suorittaa tavalliset kunnossapitäjät ilman syvällisempää koulutusta. Esimerkiksi värähtelyjen kokonaistasovalvonnassa mittaustulosten trendin laatiminen ja tarkastelu onnistuu yksinkertaisella taulukoinnilla. Syvällisempien mittausten analysointi ja toimenpidesuosituksen tekeminen vaativat useimmissa tapauksissa tavallista kunnossapitäjää tai työnohtajaa perehtyneemmän asiantuntijan. Etenkin pienillä yrityksillä saattaa olla jonkinlainen tarve kunnonvalvontaan, mutta ei ole resursseja asiantuntijan palkkaamiseen vain kunnonvalvontaa tekemään. Tällöin voi omaa kunnonvalvontaohjelmaansa täydentää ulkopuolisen asiantuntijapalvelun lisämittauksilla ja analyyseillä. (Mts. 88–89)

Laitteistokustannukset ovat usein kunnonvalvonnassa lyhyellä aikavälillä henkilöstökustannuksia merkittävämpiä. Vaikka mittausmenetelmiä on useita erilaisia, löytyy niistä usein samankaltaisia rakenteita. Laitteistoon vaaditaan usein erillinen mittalaite, vaihtoehtoisia antureita ja ohjelmisto, jolla analysointi suoritetaan. Laitteistokustannukset vaihtelevat merkittävästi erilaisten järjestelmien välillä ja nykyään on reilusti valinnanvaraa niin laitevalmistajissa kuin heidän tarjoamien järjestelmiensäkin välillä.

3.3 Kunnonvalvonta toimena

Kunnonvalvonta jakautuu laitteiden tarkkailun osalta kahteen osioon: tunnuslukuvalvontaan ja vianmääritykseen. Nohynek ja Lumme (1996, 91) esittävät, että mittauskohteesta eri mittauskerroilla saadut keskenään vertailukelpoiset tulokset ovat värähtelyvalvonnan perusta. Tämä pätee kaikkiin muihinkin kunnonvalvontakeinoihin ja on tunnuslukuvalvontaa. Tunnuslukuvalvonnassa tarkkaillaan joidenkin haluttujen tunnuslukujen suuruutta, mutta etenkin lukemien muutosta edellisiin mittatuloksiin nähden. Esimerkiksi kokonaisvärähtelytason kaksinkertaistuminen on huolestuttava merkki, vaikka sen voimakkuus olisikin sille sallituissa rajoissa. Esimerkin muutos olisi syy vianmäärityksen aloittamiselle.

Yleiskunnon mittaustulosten näyttäessä kunnon huononemista nousee kiinnostuksenkohteiksi ongelman vakavuus, ongelman luonne ja koneen turvallinen käyttöaika. Näihin asioihin saadaan vastaus vianmäärityksessä, jossa etsitään syytä havaitulle vialle tai aiemmin havaitulle tunnusluvun muutokselle. Aiemman kappaleen värähtelyesimerkin vianmääritys perustuisi erillisten yksittäisten taajuuksien tutkimiseen, joiden joukosta todennäköisesti havaittaisiin tietyllä taajuudella tapahtunut värähtelyjen kasvu. Tämä taajuus voidaan puolestaan yhdistää joko vikaantuneeseen laitteen osaan tai laitteen vialliseen asennukseen. Eri kunnonvalvontakeinoilla on erilaiset tunnusluvut sekä vianmäärityskeinot, joita voidaan myös käyttää toistensa tukemiseksi. Öljyanalyy-

sissä vianmääritys voisi esimerkiksi tapahtua tutkimalla öljyyn jääneiden partikkelien materiaalia, jolloin saataisiin selville, mistä komponentista partikkelit ovat irronneet. (An Engineers's Guide to Shaft Alignment, Vibration Ananlysis, Dynamic Balancing & Wear Debris Analysis, 2002, 108.)

3.4 Kunnonvalvonta palveluna

Pienissä ja keskisuurissa yrityksissäkin voi usein olla kohteita, joiden kuntoa olisi järkevä valvoa. Kyseessä voivat olla esimerkiksi maalaamon puhaltimet tai pienvoimalan turbiinigeneraattori. Kohteen käytettävyyden parantaminen ei kuitenkaan välttämättä riitä maksamaan takaisin kunnonvalvontalaitteistoon tehtävää investointia ja analyysoijan palkkaamista. Tällöin yksi yrityksen vaihtoehtoista on kunnonvalvontapalvelun ostaminen toiselta siihen erikoistuneelta yritykseltä. Palvelua ostettaessa tavoitteet voivat olla samankaltaisia kuin ulkoistettaessa. Weele (2010, 164–165) luettelee näihin etuihin mm. käsiksi pääsemisen resursseihin, joita ostavalla yrityksellä ei ole itsellään sekä asiantuntijaosaamisen.

Weele (2010, 92) käyttää Grönroosin (2000) määritelmää palvelusta. Palvelu on prosessi, joka koostuu sarjasta enemmän tai vähemmän kouriintuntuvia toimia, jotka yleisesti tapahtuvat asiakkaan ja toimittajan välisissä kanssakäymisissä tai fyysisiä resursseja ja systeemejä, joita tarjotaan integroituina ratkaisuinasi asiakkaan ongelmiin. Kuvaus toteutuu täysin kunnonvalvonnassa, jossa palveluntarjoaja suorittaa mittauksia omalla laitteistollaan sekä tekee analysoinnit omilla ohjelmistoillaan.

Palvelun tuottamisena kunnonvalvontapalvelut eivät eroa muiden palveluiden tuottamisesta. Määritettäessä palveluntarjoajalta odotettuja toimenpiteitä Weele (2010, 96) käyttää Axelssonin ja Wynstran (2002) kolmijakoa:

- palvelun määrittäminen sen tuottamiseen käytetyillä panoksilla

- palvelun määrittely toimitusprosessin kuvaksella ja
- palvelun määrittely sen aikaansaamilla tuloksilla.

Ensimmäisessä palvelumuodossa palvelusopimuksessa määritetään palvelun tuottamiseen käytetyt resurssit kuten henkilöiden määrä. Toisessa vaihtoehdossa palvelusopimus määrittää mitä toimintoja tai prosesseja palveluntarjoaja käyttää ja kuinka usein. Kolmas palvelusopimus jättää resurssit sekä prosessit määrittelemättä ja määrittelee niiden sijaan lopputulosten vaatimukset.

Ensimmäinen palvelumuoto koskee lähinnä henkilöiden käytettävissä oloa, eikä siten sovellu säännöllisen kunnonvalvonnan kuvaamiseen. Toinen palvelumuoto kuvaa läheisesti tilannetta, jossa opinnäytteeni tapahtuu. Palvelusopimus määrittää millaisilla mittausvälineillä ja -keinoilla kunnonvalvontaa suoritetaan sekä kuinka usein mittauksia tehdään. Opinnäytetyöni tavoite on siis tavallaan saada selville esimerkkiratkaisu palvelusopimuksen sisällöstä.

Tulosten pohjalta tehty palvelumäärittely on sopimus, jossa ostava yritys määrittelee haluamansa lopputuloksen kuten tietyn käytettävyytason. Tämän jälkeen palvelua tarjoavalle yritykselle jäisi vapaus päättää, mitä kunnonvalvonnan keinoja tulisi soveltaa ja kuinka usein, jotta sopimuksen vaatimukset saataisiin täytettyä. Palvelumuoto soveltuisi erinomaisesti myös kunnonvalvonnan palveluntarjoamiseen, mutta siihen sisältyvät samat vaikeudet kuin muillakin aloilla. On erittäin vaikeaa neuvotella sopimus, joka on molemmille osapuolilla yhtä aikaa sekä kannattava että tasapuolinen. Vastuun jakamisen ja vastaavien sopimusehtojen lisäksi on hankalaa arvioida toiminnan kokonaiskustannuksia, mikä tekee sopimuksen hinnan vaikeaksi neuvotella.

3.5 Kunnonvalvonnan eri mittauskeinoja

Kuten kuvion 3 p–f -käyrästä nähtiin, voi alkavan vikaantumisen merkkejä havaita usealla eri tavalla. Kunnonvalvontaa voikin suorittaa usean eri muuttujan

perusteella ja usein samalla muuttujalla on vieläpä useampi mittaus- ja valvontamenetelmä. Vesivoimalan tapauksessa on yleisiä kunnonvalvonnassa mitattavia kohteita, kuten akselien laakerit ja mahdollinen vaihde hammaspyörineen. Generaattori, turbiini ja mahdolliset liukulaakerit ovat puolestaan hieman harvinaisempia mitattavia kohteita.

3.5.1 Värähtelymittaus

Värähtelymittaus on yleisin kunnonvalvonnassa käytetty mittausmenetelmä, joka pitää sisällään monia eritasoisia mittaustoimia ja -välineitä. Yhtenä merkittävänä syynä yleisyyteen on se, että kaikki pyörivät laitteet värähtelevät käydessään. Täten suurin osa laitteista on valvottavissa värähtelymittauksilla. Värähtelyn syinä ovat muun muassa laitteen normaali toiminta, virheellinen asennus ja vikaantuminen. Värähtelymittauksilla voidaan valvoa koneiden kunnon kehittymistä tunnuslukuvalvonnalla ja tehdä vianmäärittystä koneen huononevan kunnon syyn löytämiseksi. (Heinonen ym. 2009, 224.)

3.5.1.1 Mittaustavat

Koneiden värähtelyä voidaan mitata kolmena eri suureena: siirtymänä, nopeutena ja kiihtyvyytenä. Värähtelysuureita voidaan myös muuntaa matemaattisesti muodosta toiseen, jolloin yhdestä mittaustuloksesta on saatavilla useampia suureita. Jokaiselle mittaussuureelle on kehitetty omalla toimintaperiaatteellaan toimivia mittausantureita. Näistä kiihtyvyyssanturi on selvästi yleisin anturityyppi monipuolisuutensa ja edullisuutensa vuoksi. (Nohynek & Lumme, 1996, 54.)

Nohynek ja Lumme huomauttavat, että vaikkakin mittauksia tehdään usein kiihtyvyyssantureilla, muunnetaan tulos myös nopeussuureeksi. Tällöin saadaan vertailukelpoinen arvo standardeihin, joiden mukaiset sallitut värähtelyrajat ilmoitetaan usein nopeutena. Kyseessä on silloin värähtelyn voimakkuus. (Nohynek & Lumme 1996, 59.)

Siirtymäanturit mittaavat paikallaan olevan anturin ja mitattavan kohteen välistä etäisyyttä. Siirtymäantureita voi käyttää normaalisti kunnonvalvonnassa, mutta käytännössä niiden mataliin, alle 200 Hz, taajuuksiin rajoittuva mittausalue rajoittaa niiden hyödyntämistä. Siirtymäanturit ovat kuitenkin erittäin hyödyllisiä muun muassa liukulaakereiden kunnonvalvonnassa. Toisin kuin vierintälaakereissa, ei liukulaakereilla ole mitattavissa erillisiä vikataajuuksia. Liukulaakereiden kunnonvalvonta tehdään siksi kahdella toisiaan vasten suorassa kulmassa olevalla siirtymäanturilla. Tällöin mitataan akselin liikerataa laakerin sisällä. Mitattavia asioita ovat muun muassa akselin ja laakeripesän välisen öljykalvon paksuus ja akselin liikerata. (Heinonen ym. 2009, 235.)

3.5.1.2 Mittauslaitteistot

Värähtelyjen mittaukseen on kehitetty eritasoisia järjestelmiä. Yleinen jako järjestelmien välillä on kiinteä ja kannettava. Kiinteät mittausjärjestelmät ovat kalliita, mutta kattavia. Kannettavia järjestelmiä on saatavilla hyvin halpoja ja rajoittuneita sekä melko hintaviakin, mutta monipuolisia mittalaitteita. Järjestelmillä on erilaiset hintatasot johtuvat niiden melko tarkasti kohdennetuista käyttökohteista. Tarkkaa vianmääritykseen kelpaavaa tietoa tuottavat mittalaitteet vaativat analysointia varten tietokoneen ja soveltuvan ohjelmiston. Mittalaitteilla näkee usein mittauksen tulokset pääpiirteittäin, mutta varsinainen analysointi tapahtuu aina tietokoneella. Yksinkertaisia tunnuslukumittauksia tekevien laitteiden tuloksista voi pitää seurantaa ilman erillistä ohjelmistoa.

Kiinteä järjestelmä

Kiinteään järjestelmään kuuluvat mitattavaan laitteeseen asennettavat anturit kaapeleineen ja mittalaite. Anturit ovat kiinteästi asennettuina sopivissa mittapaikoissa. Suuressa järjestelmässä voi olla useampi mittalaite asennettuna tekemään mittauksia koneen eri osille. Mittalaitteet voivat tehdä mittauksia jopa muutaman sekunnin välein, jolloin tunnuslukujen seurannasta saadaan erittäin kattavaa. Suurien mittausmäärien vuoksi kiinteisiin järjestelmiin kuuluu

usein myös oma serverinsä käsittelemään mittausdataa ja jakamaan sitä analysointikoneille. Tietokonetta tarvitaan myös järjestelmää konfiguroidessa sekä mittauksia muutettaessa, sillä kiinteissä mittalaitteissa ei ole käyttölaitteita, kuten näppäimistöä ja näyttöä.

Kannettava järjestelmä

Kannettavaan järjestelmään kuuluvat anturi kaapeleineen ja mittalaite. Anturi on yhteydessä mittalaitteeseen ja täytyy käsin asettaa jokaista mittausta varten haluttuun mittapisteeseen. Mittalaite voi olla samaa kokoluokkaa kiinteän mittalaitteen kanssa, mutta on usein suurempi tehden komentojen antamisen ja näytön lukemisen helpommaksi. Laitteissa on näyttö ja näppäimistö mittauksen etenemisen tarkasteluun sekä mahdollisten lisämittausten tekemiseen. Mittalaitteen tasosta riippuen sen ominaisuudet voivat rajoittua yksinkertaiseen tunnuslukuvalvontaan, mutta kalliimmalla laitteella voidaan tehdä myös vianmääritykseen kelpaavia tarkempia mittauksia. Yksinkertaisimmat kannettavat mittalaitteet ovat niin kutsuttuja mittakyniä. Ne ovat hieman kynää suurempia ja sisältävät anturin sekä muut komponentit yksinkertaiseen yhden tai muutaman tunnusluvun seurantaan. Niiden mittaustulokset eivät kuitenkaan riitä vianetsintään.

Puolikiinteä järjestelmä

Puolikiinteään järjestelmään kuuluvat samat tarvikkeet kuin kannettavaankin järjestelmään. Erona tavalliseen kannettavaan järjestelmään kaikkien tarvittavien mittapaikkojen anturit ovat kiinteästi asennettuina koneeseen. Paikoilleen asennetut anturit liitetään usein jakokoteloon, josta kannettavalla mittalaitteella saadaan kaikkien antureiden mittaukset mitattua samasta paikasta. Puolikiinteässä järjestelmässä siis anturointi on kiinteää, mutta mittalaite on kannettava. Puolikiinteää järjestelmää hyödynnetään etenkin, kun kannettava järjestelmä ei kelpaa sellaisenaan. Syynä voi olla esimerkiksi vaarallinen mittapaikka, jolloin on turvallisempaa asentaa anturit kiinteästi ja tuoda niiden kaapelointi mittausten suorittajalle turvalliseen tilaan.

3.5.2 Voiteluaineanalyysi

Koneiden pyörivissä osissa käytetään voiteluainetta muuan muassa kitkan vähentämisen vuoksi. Voiteluaineen suodattaminen ja vaihtaminen ovat taval-
lisia kunnossapidon toimenpiteitä. Kunnonvalvonta keskittyy voiteluaineana-
lyyseyhin. Voiteluaineanalyysi, josta käytetään myös yleisempää nimitystä öljy-
analyysi viittaa nimensä mukaisesti käytettävän voiteluaineen analysointiin.
Heinosen ja muiden mukaan voiteluaineanalyysit ovat merkittävä osa koneen
kunnonvalvontaa ja vianmäärittystä, kun halutaan seurata koneen kulumista ja
siinä tapahtuvia muutoksia. Siten tämä kunnonvalvontakeino ei havaitse vikoja
ennen kuin ne aiheuttavat osien kulumista. Kuitenkin esimerkiksi vaihteistojen
viat voidaan öljyanalyysillä havaita jo varhaisessa vaiheessa. (Heinonen ym.
2009, 429.)

Kuten Heinonen ja muut huomauttavat – etenkin värähtelymittausten ja voite-
luanalyysien mittaustulokset yhdistämällä saadaan laitteelle erittäin tehokas
kunnonvalvonta. Voiteluaineiden kunnonvalvontaa rajoittaa yrityksissä sekä
mittauslaitteistojen hinta että asiantuntijuuden puute. Tähän, kuten muidenkin
erikoisosaamista vaativien tehtävien tekemiseen, on yhtenä ratkaisuna erilais-
ten palveluyritysten käyttö. Vaikka mittaukset ja analysointi tapahtuvat eri ta-
voin, on öljyanalyysien teko samalla tavalla palveluliiketoimintaa kuten väräh-
telymittaukset. Voiteluaineanalyysien rajoittavana tekijänä on myös laitteiden
toimintatapa. Vaihdelaatikoissa ja hydraulisissa laitteissa, jotka käyttävät rei-
lusti öljyä on analyysin hyödyntämiseen hyvät mahdollisuudet. Sen sijaan
useimpien laakereiden voiteluaineeseen ei pääse järkevästi käsiksi ja voitelu-
aineanalyysi on siten toimimaton vaihtoehto. (Heinonen ym. 2009, 429)

3.5.3 Lämpötilamittaus

Lämpötilamittausta käytetään yleisesti teollisuudessa etenkin prosessien val-
vonnassa ja ohjauksessa. Lämpötilan merkitys prosessille on erilainen kuin
sen merkitys koneenosiin, joissa käytännössä yleisin määre on estää lämpöti-

la kohoamasta liian suureksi. Voitelun pettäminen aiheuttaa lisääntyneen kitkan vuoksi voimakkaasti kohoavan lämpötilan nousun koneenosissa. Siten lämpötilan mittausta voi hyvin käyttää tavallisen kunnonvalvonnan tunnuslukumittausten lisäksi laitteen suojausjärjestelmässä, joka sammuttaa laitteen lämpötilan kasvaessa liian suureksi. (Heinon ym. 2009, 439)

Lämpötilan mittaamiseen on koskettavia ja koskemattomia mittaamenetelmiä. Koskemattomat menetelmät, kuten lämpökamera, voivat olla tavallisiin koskettaviin antureihin verrattuna reilusti kalliimpia. Koska lämpötilamittaukset ovat halpoja ja hyödyllisiä, useissa monipuolisemmissä värähtelymittausjärjestelmissä on mahdollisuus käyttää lämpötila-antureita.

4 Työn suoritus

Eri kunnonvalvontamenetelmien soveltuvuuden vertailemiseksi Soininkosken vesivoimalaitoksella tehdään reittimittauksia ja kiinteän järjestelmän mittauksia. Mittaukset tulevat osoittamaan lähinnä kuinka samanlaisia eri mittaamenetelmien tulokset todella ovat. Mittalaitteiden asennuksella ja mittausten suorittamisella saadaan myös käytännön vahvistus erinäisille menetelmien välisille eroille, kuten mittaussyklin tiheydelle. Menetelmien yleisten ominaisuuksien ja työn aikana esille nousevien asioiden pohjalta tulen vertailemaan eri mittaamenetelmiä keskenään. Tarkoituksenani on selvittää miten hyvin eri menetelmät soveltuvat pienten vesivoimaloiden kunnonvalvontaan. Soveltuvuuden arvioinnin jälkeen vertailen menetelmien kustannuksia, jotta saisin selville kustannustehokkaimman tavan pienen vesivoimalan värähtelyvalvontaan. Menetelmien soveltuvuutta ja kustannuksia tulen tarkemmin käsittelemään omissa kappaleissaan.

Voimalassa oli jo tehty WeMaint Oy:n toimesta kaksi reittimittausta edellisenä vuotena. Jotta opinnäytetyöhöni saataisiin riittävästi soveltuvaa vertailumateriaalia, jatketaan mittauksia työn aikana samanlaisena reittimittauksena. Tämän

lisäksi voimalaan asennetaan kiinteä mittausjärjestelmä. Mittausaika ei tule olemaan erityisen pitkä kiinteällä järjestelmällä, mutta se riittää tämän työn tarpeisiin. Työn tarkoituksena ei ole saada syvää selvitystä mittaustulosten tarkkuuseroista vaan menetelmien toimivuudesta ja kustannustehokkuudesta.

4.1 Valitut mittaukset

Tärkeitä mittauskohteita voimalassa ovat akselien laakerit ja vaihdelaatikko. Vaihdelaatikon kuntoa olisi voinut valvoa öljyanalyysillä niin ajoittaisesti kuin kiinteälläkin mittalaitteella. Ylimääräinen valvontakeino ei kuitenkaan muuttaisi tulosta värähtelymittauskeinojen välillä, sillä sen tulokset kertoisivat vain vaihdelaatikon hammaspyörien kunnosta. Öljyanalyysijä ei muutenkaan otettu työhön mukaan, sillä WeMaint Oy:n palvelutarjonta painottuu enemmän värähtelymittauksiin ja -analyysiin.

Tärkeistä mittauskohteista rajattiin pois vain turbiinin liukulaakeri. Laakerin kuntoa ei päästä mittaamaan, koska laakeri on veden imuputkessa. Putken tyhjentämiseksi tarvittavaa seisokkia ei saatu järjestettyä opinnäytetyön ajaksi. Tulen kuitenkin huomioimaan sekä liukulaakerin kunnonvalvonnan erityisvaatimukset että huonon mittauspaikan soveltuvuusvertailussa, koska kyseessä on merkittävä jakaja eri menetelmien välillä.

Molemmilla mittausmenetelmillä suoritetaan samankaltaiset värähtelymittaukset. Järjestelmien erojen vuoksi mittauksissa on pieniä eroja tarkkuuksissa ja taajuuskaistoissa, mutta mittaukset ovat hyvin samankaltaisia. Yleisten mittauksien eroilla ei ole vaikutusta työn tuloksiin, sillä kummassakin menetelmässä pystytään samoihin toimintoihin ilman, että kumpikaan menetelmä olisi toista huonompi vertailun kannalta. Kiinteällä järjestelmällä tehdään kuitenkin yhteisten värähtelymittausten lisäksi lämpötilamittauksia, pyörimisnopeusmittauksia ja aikakeskiarvoistettuja mittauksia. Tällaisia mittauksia voisi myös suorittaa reittimittalaitteella, mikäli käytössä on tarpeeksi monipuolinen mittalaite.

Tällaiset mittaukset tosin edellyttäisivät kyseisten anturien mukaan ottamista jokaista mittauskertaa varten. Useimmiten reittimittauksissa ei tehdä eri suurten mittauksia, ellei sitten käytössä ole tätä varten omaa mittalaitettaan. Esimerkiksi värähtelymittauksia tehdessä saattaa mittaajalla olla mukanaan myös lämpökamera. Tulen huomioimaan tällaisen laajemman mitattavuuden menetelmien vertailussa.

4.2 Mittausten tiheys

Reittimittauksia on suoritettu neljä kappaletta, joista kaksi mittausta on tehty opinnäytetyön aikana. Reittimittauksien välissä on kulunut aikaa noin vuosi. Mittauksia ei tosin ole suoritettu säännöllisellä aikavälillä. Vikaantumisen havaitsemiseksi mittauksia tulisi tehdä säännöllisin väliajoin, mutta kyseessä ei ole ollut säännöllisesti suoritettava reittimittaus ennen opinnäytetyön aloitusta. Riippuen kohteen kriittisyydestä reittimittauksia suoritetaan yleensä 1–6 kuukauden välein. Kiinteä järjestelmä on määritetty mittaamaan kaikkien kohteiden värähtelyt ja kahden kohteen lämpötila kolmesti vuorokaudessa. Järjestelmä tekee myös kaksi aikakeskiarvoistettua mittausta kerran vuorokaudessa.

Reittimittauksen vaihtelevat välit tuovat hyvää lisäarvoa menetelmien arviointia varten. Välien vaihtelevuus antaa hyvän kuvan koneenosien kunnan kehittymisestä mittausten välisenä aikana. Vaihtelevaa väliä itsessään en kuitenkaan tämän työn puitteissa tule lukemaan negatiiviseksi puoleksi. Reittimittauksen saa suoritettua reilusti alle tunnissa. Aikaa kuluukin reilusti enemmän matkoihin kuin itse mittauksiin ja analysointiin.

5 Koeympäristön esittely

Kuten jo aiemmin mainitsin, saatiin työhön liittyvät mittaukset suorittaa Soininkosken vesivoimalaitoksessa. Voimala on miehittämättömässä ajossa ja sitä voidaan ohjata etänä. Koska laitoksessa ei ole käyttäjiä, käy voimalassa vain huoltohenkilökuntaa. Kuviossa 5 näkyy osa Soininkosken voimalaa sisältä päin kuvattuna. Kuvioista näkyy vesiputki sekä vaihdelaatikko, josta lähtee generaattorin akseli. Vaihdelaatikkoon on kiinnitetty värähtelyantureita kiinteää järjestelmää varten.



Kuvio 5. Soininkosken vesivoimala

5.1 Reittimittaus

Reittimittaukset suoritetaan Prüftechnik:in Vibxpert II -mittalaitteella. Mittalaite kykenee sekä tunnuslukuvalvontaan että vianmääritykseen tarvittaviin mittauksiin. Mittalaitteella pystyisi myös mittaamaan eri suureita, kuten lämpötilaa, mutta tällaisia mittauksia ei ole mukaan reitissä. Reittimittaus pohjautuu ennen opinnäytetyön aloitusta tehtyyn reittimittauspohjaan. Aiemman pohjan hyödyn-

tämisen etuna saadaan työtä varten hyödynnettyä varhaisempia mittauksia ja niiden tuloksia. Tässä mittausreitissä on kuitenkin enemmän mittapisteitä kuin suunnitelluissa kiinteän järjestelmän mittauksissa. Suuremmalla mittapisteiden määrällä ei ole suurta vaikutusta järjestelmien vertailuun hinnassa eikä tulosten laadussa. Koska kaikki mittaukset suoritetaan samalla anturilla, nousevat reittimittauksen kustannukset vain mittausajan kasvamisesta mittapisteiden määrän kasvaessa. Mittausten parempi kattavuus ei myöskään haittaa järjestelmien vertailua, koska tällaisten kattavampien mittausten suoritus lähes samoin kustannuksin on nimenomaan reittimittauksen vahvuuksia.

Reittimittauksessa mitataan useimpien laakereiden pysty- ja vaakasuuntaiset värähtelyt sekä useimmista laakereista vielä aksiaalinenkin värähtely. Tarvemmin mitattavat kohteet ja niiden mittausjärjestys ilmenee taulukosta 1. Mittapisteitä reitissä on kokonaisuudessaan 14 kappaletta ja jokaisesta mitataan samat viisi värähtelymittausta. Värähtelymittaukset ovat niin tunnuslukumittauksia kuin vianmääritykseen kelpaavia monipuolisempia mittauksia.

Taulukko 1. Mittausreitti

Mittapaikka	Mittapisteet
Turbiiniakselin vaihdelaatikon käyttöpään laakeri	Horisontaali-, vertikaali- ja aksiaalisuunnan värähtelyjen mittaukset
Turbiiniakselin vaihdelaatikon vapaan päään laakeri	Horisontaali-, vertikaali- ja aksiaalisuunnan värähtelyjen mittaukset
Generaattorin akselin vaihdelaatikon käyttöpään laakeri	Horisontaali-, vertikaali- ja aksiaalisuunnan värähtelyjen mittaukset
Generaattorin akselin generaattorin käyttöpään laakeri	Horisontaali- ja vertikaalisuunnan värähtelyjen mittaukset
Generaattorin akselin generaattorin vapaan päään laakeri	Horisontaali-, vertikaali- ja aksiaalisuunnan värähtelyjen mittaukset

5.2 Kiinteä mittaus

Kiinteät mittaukset suoritetaan GE Bently Nevadan vbOnline mittalaitteella. Kiinteän mittalaitteen kokoonpano tehdään opinnäytetyötä ja testikäyttöä ajatellen monipuoliseksi mittauskokoonpanoksi, johon kuuluvat tarvittavat lämpötila, pyörimisnopeus- ja värähtelyanturit. Tarkemmin kokoonpanosta kerrotaan liitteessä 1. Kiinteän mittalaitteen laajempaa mittauspotentiaalia hyödynnettiin lisäämällä muiden suureiden mittauksia. Lisättyjä mittauksia ovat kaksi lämpötilamittausta ja generaattoriakselin pyörimisnopeusmittaus. Lämpötilat mitataan generaattorin vapaan pään laakerista ja turbiiniakselin vaihdelaatikon vapaan pään laakerista. Mittaukset tuovat lisää keinoja vikojen vakavuuden ja syiden selvittämiseen. Kuviossa 6 näkyy vaihdelaatikon vapaan pään anturointi. Kuviossa näkyy horisontaalinen ja aksiaalinen kiinteä anturointi, sekä aksiaalisuuntaa mittaava reittimittausanturi. Kuviossa alimpana näkyy vaihdelaatikon lämpötila-anturi.



Kuvio 6. Vaihdelaatikon vapaan pään mittaukset

Kiinteään mittaukseen sisältyvien anturikustannuksien vuoksi on mittapisteidⁿ määrä rajoitettu tärkeimpiin. Yhden mittaussuunnan katsottiin olevan riittävä kunnonvalvonnan suorittamiseen lähes jokaisella laakerilla. Turbiiniakselin aksiaalisen suunnan mittausten katsottiin antavan tärkeää tietoa turbiinin värähtelyistä ja aksiaalista värähtelyä rajoittavan laakerin kunnosta. Mittaustarpeen vuoksi tullaan turbiiniakselin vaihdelaatikon vapaata päätä mittaamaan kahdessa mittaussuunnassa. Taulukossa 2 näkyy tarkemmin mitattavat kohteet ja mittaukset. Värähtelymittaukset ovat muutoin reittimittausta vastaavia, mutta generaattorin laakerille tehdään aikakeskiarvostetut värähtelymittaukset lisäksi.

Taulukko 2. Kiinteän järjestelmän mittaukset

Mittapaikka	Mittapist ^e et
Turbiiniakselin vaihdelaatikon käyttöpään laakeri	Horisontaalisuunnan värähtelyjen mittaus
Turbiiniakselin vaihdelaatikon vapaan pään laakeri	Horisontaali- ja aksiaalisuunnan värähtelyjen mittaus, lämpötilamittaus
Generaattorin akselin vaihdelaatikon vapaan pään laakeri	Horisontaalisuunnan värähtelyjen mittaus
Generaattorin akselin vaihdelaatikon käyttöpään laakeri	Horisontaalisuunnan värähtelyjen mittaus
Generaattorin akselin generaattorin käyttöpään laakeri	Horisontaalisuunnan värähtelyjen mittaus, kierrosnopeusmittaus
Generaattorin akselin generaattorin vapaan pään laakeri	Horisontaalisuunnan värähtelyjen mittaus ja lämpötilamittaus

6 Mittaustapojen vertailu

Mittaustavoilla on luonnollisesti omat vahvuutensa ja heikkoutensa, jotka juontuvat niiden koonpanoista. Vaikkakin laitteilla on useita valmistajia, joilla saattaa olla vieläpä eri malleja laitteistaan, on eri järjestelmillä selvästi erotettavissa yhteneväisyyksiä ominaisuuksissa. Useat heikkoudet ja vahvuudet saattavat johtua samasta laitteen ominaisuudesta, mutta sen vaikutukset kunnonvalvontaan tai järjestelmän investointiperusteisiin ovat monitahoiset. Selvänä esimerkkinä tästä toimii mittaussyklin tiheys. Tiheämpi sykli on parempi toiminnan kannalta, mutta aiheuttaa jollain tavalla aina suurempia kustannuksia.

Vertailussa olen myös keskittynyt nimenomaan ulkopuolisen palveluntarjoajan tekemään mittaus- ja analysointityöhön. Opinnäytetyöni on palveluntarjoajayritykseltä saatu ja työn tarkoituksena on selvittää soveltuvin kunnonvalvontaratkaisu, jotta tuloksia voitaisiin hyödyntää palveluntarjonnassa. Työn kohteena olevissa pienissä vesivoimaloissa ei myöskään ole tarpeeksi kunnonvalvontatyötä, jotta heidän kannattaisi palkata oma asiantuntijansa. Siksikin on perusteltua jättää sisäisenä toimintona tapahtuva kunnonvalvonta vertailun ulkopuolelle.

6.1 Mittausten asiakkaalle tuoma hyöty

Luovutin opinnäytetyöni aikana Killin voima Oy:n edustajille kyselyn, joka on liitteenä 2. Vastauksessaan Koivula (2014) sanoo vikaantumisten ennakoinnin ja ennaltaehkäisyn ansiosta saatavien kustannussäästöjen sekä käytettävyyden parantamisen olevan tavoitteet, joihin kunnonvalvontajärjestelmällä pyritään. Osamotivaationa järjestelmän hankintaan on muun muassa tuotannon turvaaminen. Investointihalua pohjautuu investoinnin kokoon verrattuna sen tuottamiin säästöihin ja investointiin ollaan valmiita sitoutumaan pidemmälläkin aikavälillä. (Koivula, 2014.)

6.2 Mittaus sykli

Kiinteässä järjestelmässä nousee kunnonvalvonnan näkökulmasta merkittävimmin esille sen hyvin tiheäksi tai jopa jatkuvaksi asetettava mittaus sykli. Kuten aiemmin mainittua on kuvion 3 p–f -käyrä kunnonvalvonnan perusta. Mittaus syklin tiheyden tulisi olla tarpeeksi suuri, jotta vikaantumisen alkaminen voitaisiin todeta mieluusti useammassakin mittauksessa. Toteamisen jälkeen tulisi vian korjaaminen vielä voida suunnitella ja toteuttaa ennen osan hajoamista. Kiinteän järjestelmän tiheällä syklillä saadaan kiinni myös hyvin nopeasti kehittyvät vikaantumiset ja kiinteään järjestelmään voidaankin asentaa suojakatkaisimet. Tällöin liian voimakkaaksi kasvaneet värähtelyt aiheuttavat automaattisesti järjestelmän sammumisen suurempien vahinkojen välttämiseksi.

Reittimittauksen sykliäkin voi toki tihentää hyvin pieneksi. Syklin tihentämisellä on kuitenkin merkittävä taloudellinen vaikutus, joka käsitellään tarkemmin kustannusvertailussa. Koska Soininkoskella ei myöskään ole omaa kunnonvalvontahenkilökuntaa, olisi muutenkin suurta tuhlausta mittauttaa koneen värähtelyt esimerkiksi päivittäin reittimittauksena. Käytännössä kiinteä järjestelmä onkin paras tiheisiin mittausväleihin. Mittausvälit ovat usein lyhyimpiä tärkeimmissä laitteissa, joiden käynnin varmistamiseen ollaan valmiita investoimaan.

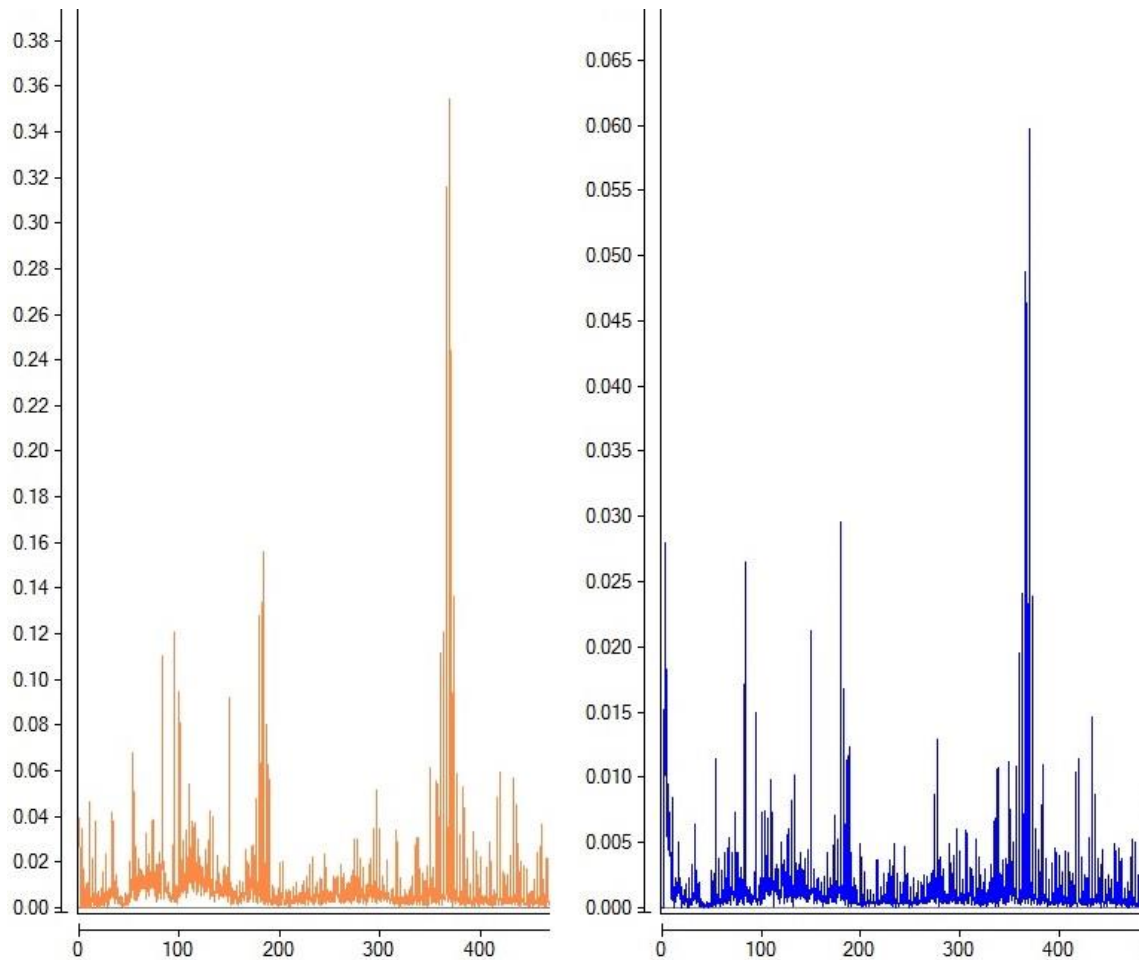
Asiakkaan kannalta syklin tiheys merkitsee varmuutta heidän laitteidensa toimimisesta ja vakavien konerikkojen välttämisestä. Tällöin asiakkaan näkökulmasta suurin mittaus tiheys on toivottavaa. Kustannukset huomioon otettaessa saattaa valinta kuitenkin kääntyä pienempään mittaus sykliin.

6.3 Mittaustulokset

Mittaustuloksia tarkastellessa ei havaittu merkittäviä eroja järjestelmien yhteisten mittaustulosten välillä. Kiinteän järjestelmän tuloksista ei lyhyen mittausajan vuoksi saanut kunnon havainnollistusta värähtelyjen muuttumisesta ajan kanssa. Myöskään reittimittausten aikana ei tapahtunut merkittävää vikaantumista, jonka aiheuttamissa värähtelytasojen nousussa kävisi selväksi mittausvälin merkitys. Tulosten samankaltaisuus oli odotettavissakin, sillä samantasoisten eri järjestelmien välillä ei ole merkittävää eroa mittausten laadussa. Molemmat mittalaitteet olivat laadukkaita ja monipuolisia ominaisuuksiltaan.

Eräs esiin nostettava mittaustulos löytyy kuitenkin kahden ensimmäisen ennen opinnäytetyön alkua tehdyn reittimittauksen välillä. Ensimmäisen mittauksen tuloksista selvisi vaihdelaatikon olevan yli vikaantunut. Tulosten seurauksena päädyttiin parantamaan vaihdelaatikon voitelujärjestelmää. Toinen voimalaitoksella suoritettu mittaus paljasti värähtelytasojen laskeneen huomattavasti. Värähtelyjen muuttuminen ilmenee kuvioista 7. Kuviossa on vasemmalla puolella aikaisemman mittauksen kuvaaja ja oikealla puolella uudemman. Eriyisesti pysty akselin skaalaus on merkittävää, sillä se osoittaa kuinka paljon värähtely on laskenut.

Tässä tapauksessa huoltotoimenpide teki tehtävänsä varmistaen osaltaan vaihdelaatikon toiminnan jatkumisen. Mittausten välillä kului aikaa noin puoli vuotta, mikä on pitkä aika toimia ilman varmuutta onnistumisesta. Mikäli voitelun parantaminen ei olisikaan estänyt vaihteen kulumista, olisi vaihde saattanut hajota tai kulua niin pahasti, ettei se olisi kestänyt seuraavaan suunniteltuun seisokkiin. Muutoinkin, mikäli mahdollista, koneiden värähtelyt tulisi mitata aina merkittävien huoltotoimenpiteiden jälkeen. Reittimittausmenetelmässä tällainen vaikuttaa kuitenkin merkittävästi enemmän kustannuksiin kuin kiinteässä järjestelmässä, kuten kappaleessa seitsemän tullaan näkemään.



Kuvio 7. Vaihteen värähtelyjen muuttuminen

Kiinteällä mittausjärjestelmällä saadaan kannettavaa mittalaitetta helpommin ja nopeammin mitattua mahdollisten kunnossapitotoimien vaikutukset koneen värähtelyihin. Tämän lisäksi kiinteän järjestelmän tiheä mittaus sykli tuo enemmän vertailutietoa koneen toiminnasta erilaisissa tilanteissa kuin reittimitauksessa. Soininkoskelle asennettu järjestelmä tekee kolme mittausta päivässä, jolloin se olisi tuottanut noin 150 mittausta kahden viimeisen reittimitauksen välisenä aikana. Tuloksia analysoitaessa on koneen niin sanottu ”normaalitila” helpompi määrittää sadoista kuin muutamista mittauksista. Mittaus tuloksissa itsessään ei ole järjestelmien välillä eroja, jotka puoltaisivat jonkin järjestelmän valintaa.

6.4 Joustavuus ja monipuolisuus

Aiemmissa kappaleissa olen jo viitannut reittimittauksen joustavuuteen. Reittimittauksessa onkin mahdollista muuttaa mittapisteiden määrää eri mittauksissa. Lisämittaukset vievät toki enemmän aikaa mittauksessa ja analysoinnissa eivätkä ole siten ilmaisia. Kiinteässä järjestelmässä täytyy jokaista mittapistettä varten asentaa oma anturinsa. Järjestelmän laajentaminen ei tapahdu hetkessä. Uusien anturien toimituksessa voi kestää helposti ylitse viikon ja niiden asennus voi vaatia seisokin. Olemassa oleviin mittapisteisiin voi kiinteällä järjestelmällä kuitenkin lisämittauksia aivan kuten kannettavallakin laitteella. Kiinteä mittalaite tarkoittaa muutenkin pidempää sitoumusta asiakkaalle. Vuosisopimuksien lisäksi laitteen takaisinmaksu vie oman aikansa.

Kiinteällä järjestelmällä on etunsa hankalissa mittauspaikoissa. Vaaralliset tai hankalasti luokse päästävät mittapaikat, kuten Soininkosken vesiputkessa sijaitseva turbiinin laakeri vaativat kiinteää anturointia. Vaikkakin kiinteä anturointi on kiinteän järjestelmän edellytys, eivät ne ole pois suljettu vaihtoehto kannettavalta laitteeltakaan. Järjestelmät voivat käyttää samanlaista anturointia. Siten kustannuseroja ei muodostu kahden järjestelmän välille, ellei anturointia, kannettavan mittauksen helpottamiseksi, tuoda jakorasiaan.

Mitattaessa etäisyysantureilla liukulaakereiden kuntoa täytyy anturoinnin olla kiinteää vertailukelpoisten tulosten saavuttamiseksi. Tällöin anturoinnin kannalta reittimittaus ja kiinteä mittaus ovat yhdenvertaisia ja kannettavallakin laitteella on mahdollista tehdä liukulaakereiden kunnonvalvonnan kannalta kriittistä ratakäyrävalvontaa. Ratakäyrävalvonnassa on tavallisen vertailudatan saamiseksi tärkeää saada mittaustuloksia hetkiltä, jolloin koneita ajetaan ylös tai alas. Toki reittimittauksen voi sopia tällaiseen ajankohtaan, mutta on paljon helpompaa mitata tällaisia tilanteita kiinteillä järjestelmillä.

Vaikkakin kiinteiden järjestelmien asennus on kankeampaa kuin yksittäisen reitin läpikäyminen, on mittaustapahtuma reilusti helpompi ja nopeampi. Kun laitteet on saatu anturoitua, suorittaa mittalaite määrätyt mittaukset nopeam-

min ja mitattavasta kohteesta riippuen myös laadukkaammin kuin reittimittaaja kannettavalla laitteellaan. Etenkin eri suureiden mittauksessa kiinteästi asennetut anturit tuovat luotettavia ja vertailukelpoisia tuloksia.

6.5 Standardin suositukset

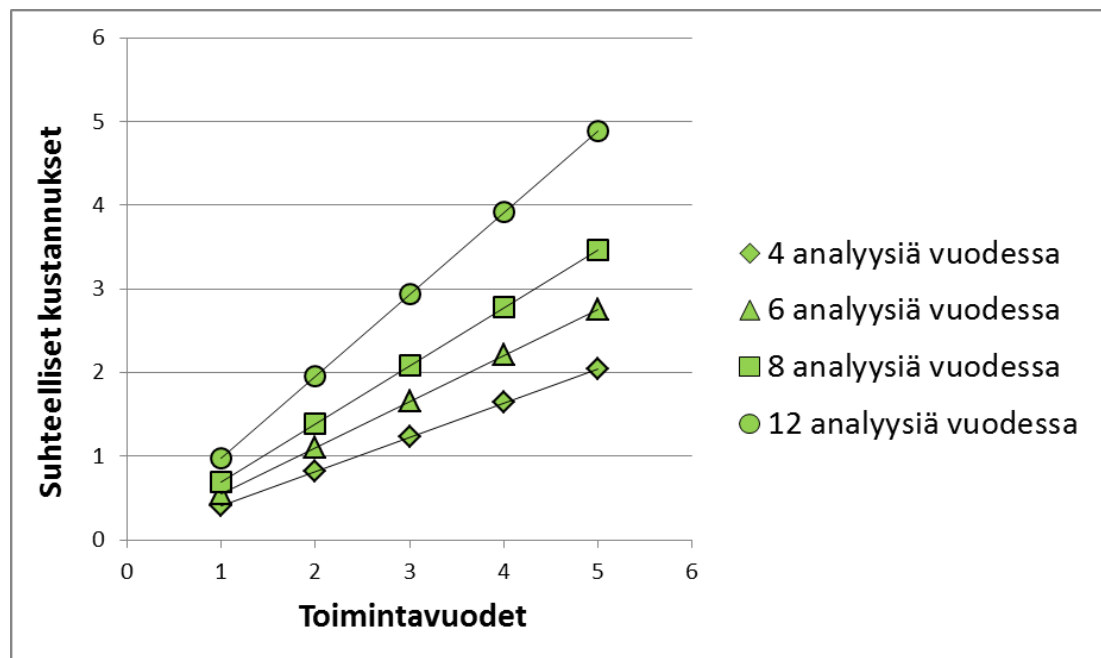
PSK standardi 5705 tarjoaa apua laitoksen kunnonvalvonnan värähtelymittaustoiminnan määrittelyyn. Standardi antaa myös ohjeita siitä, millaisen mittausjärjestelmän eri kohteet vaativat. Kiinteät järjestelmät sopivat käytettäväksi laitteissa, joissa vikaantuminen kehittyy nopeasti viaksi: esimerkiksi turbineissa, kompressoreissa ja generaattoreissa. Kannettavien mittalaitteiden käyttökohteeksi suositellaan helposti mitattavissa olevia kohteita, joiden vikaantuminen on hidasta suhteessa mittausväliin, sekä täydentäviä mittauksia. (PSK 5705, 2006, 7.)

7 Mittaustapojen kustannusvertailu

Tekemäni kustannusvertailu sisältää vain WeMaint Oy:n palvelukustannukset ja kahden kiinteän järjestelmän laitteiden hinnat. Toisen kiinteän järjestelmän olen ottanut vertailuun, koska opinnäytetyössäni tehty testimittalaite on järeäkö ja kalliimpi kuin kenties olisi tarpeellista vesiturbiinin kunnonvalvontaan. En katsonut tarpeelliseksi selvittää eri palveluntarjoajien hintatarjouksia tai tehdä syvällisempää vertailua eri kiinteiden järjestelmien kesken, sillä työssäni on tärkeämpää selvittää kustannusten vaikutus järjestelmän soveltuvuuteen kuin saada selville halvimman järjestelmän tarjoaja.

Kun tarkastellaan palveluna ostettua reittimittausta, muodostuvat kustannukset mittaukseen käytetystä ajasta, etäkuluista, sekä analysointiin ja raportointiin käytetystä ajasta. Analysointiin kuuluu koneen kunnan määrittäminen,

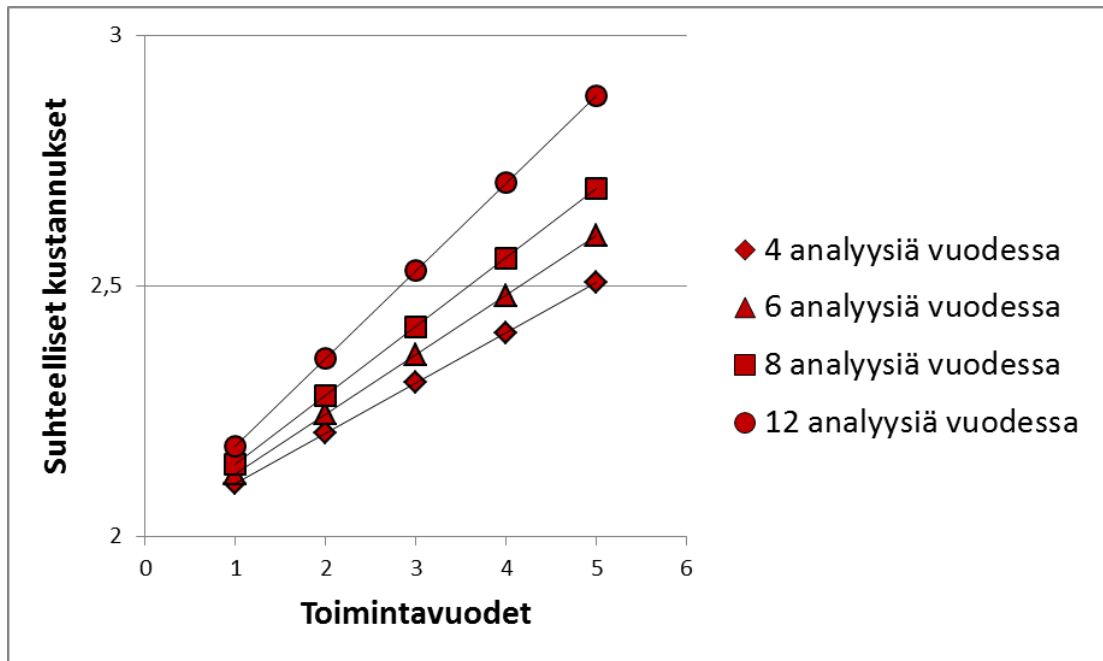
mahdollisen vian diagnosoiminen ja diagnoosin mukaisten toimenpidesuosittelusten laatiminen. Etenkin mittausajan ja etäkulujen vuoksi reittimittauksissa kustannukset kasvavat reilusti raportointijaksojen lukumäärän mukaan. Kuviossa 8 on esitetty reittimittauksen kustannusten suhde toisiinsa eri raportointimäärillä vuodessa viiden vuoden ajanjaksolla. Etäkulut ovat laskettu WeMaint Oy:n hinnastolla ja vastaavat opinnäytetyön tapausta, jossa Jyväskylästä mennään mittaamaan Soidinkoskella olevaa reittiä. Etäkulut vaihtelevat luonnollisesti eri toimijoiden välillä.



Kuvio 8. Reittimittauksen suhteelliset kustannukset

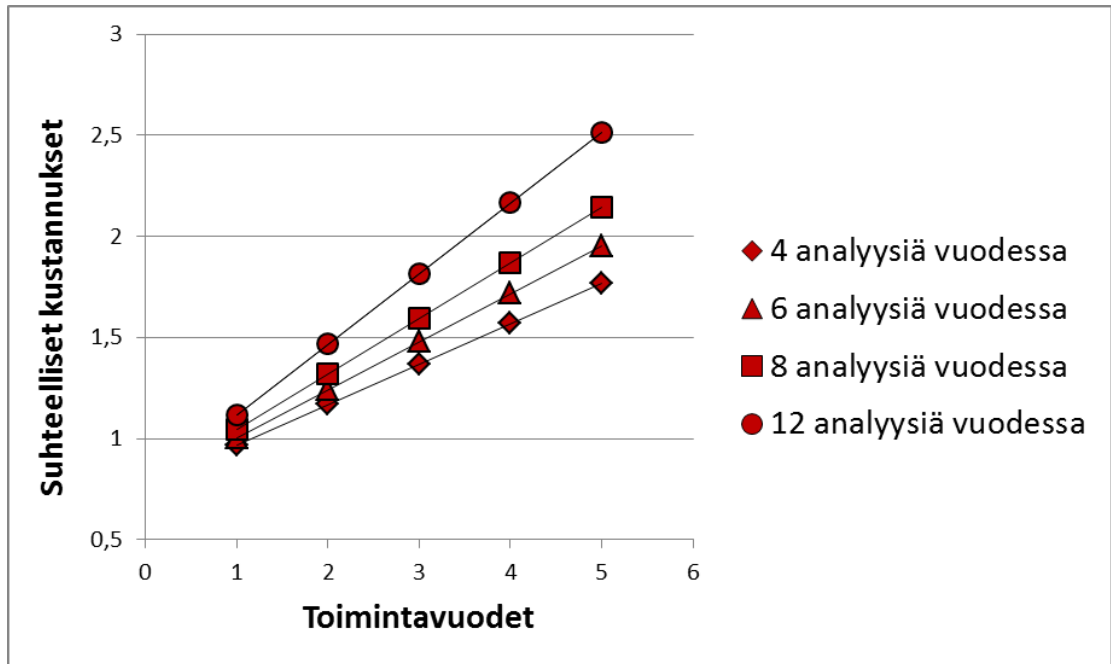
Kiinteän järjestelmän kustannukset muodostuvat kiinteän järjestelmän mittalaitteesta ja muusta mittauksiin tarvittavasta välineistöstä, laitteiston asennuksesta, analysoinnista sekä raportoinnista. Välineistössä hintaa kasvattavat etenkin anturit ja lisenssit. Mittauslaitteistoon investoiminen tuo kiinteille järjestelmille merkittävät alkukustannukset, mutta etäkulujen ja mittausajan poistuminen tuo merkittäviä säästöjä pidemmällä aikavälillä. Kuten kuviosta 9 huomaa ei raportointimäärien nousu kasvata sopimuksen kustannuksia yhtä

voimakkaasti kuin reittimittauksessa. Suhteelliset kustannukset ovat keskenään vertailukelpoisia kiinteiden mittausten ja reittimittauksen kuvioissa kuvioiden skaalauksesta huolimatta. Kuvio 9 esittää opinnäytetyössä käytettyä laajaa kiinteää järjestelmää.



Kuvio 9. Laajan kiinteän mittajärjestelmän suhteelliset kustannukset

Vertailuksi työssä käytetylle kiinteälle järjestelmälle otettiin samalta valmistajalta hieman rajoitetumpi mittalaite. Tämän mallin mittalaitteita täytyisi käyttää kahta kappaletta, jotta järjestelmä vastaisi opinnäytetyön järjestelmää. Vaikka tällä suppeammalla laitemallilla rakentaisi työssä käytettyä kiinteää järjestelmää vastaavan kokonanon, kustannukset olisivat silti pienemmät kuin työssä käytetyllä mittalaitteella. Järjestelmän suhteelliset kustannukset ovat esitetynä kuviossa 10. Kuvioista käy selväksi kuinka suuri merkitys kiinteän järjestelmän alkukustannuksilla on. Tarpeeksi pienellä kiinteän järjestelmän kokoonpanolla voi asiakas säästää järjestelmän alkukustannukset yllättävän nopeasti. Kustannusten kasvu kiinteissä järjestelmissä on vuosien kuluessa hyvin pientä kaikilla raportointimäärillä verrattuna reittimittaukseen.



Kuvio 10. Kevyemmän kiinteän järjestelmän suhteelliset kustannukset

Kuvioista 8, 9 ja 10 käy selväksi, että reittimittauksen kustannukset nousevat pitkällä aikavälillä. Etenkin suuremmilla raportointimäärillä vuodessa voivat reittimittauksen kustannukset kasvaa kiinteää mittausta kalliimmaksi jo yhdeksässä vuodessa. Tästä syystä onkin tärkeää saada selville miten pitkä mittausväli olisi soveltavin vesivoimalan koneistolle. PSK standardi 5705 sanoo mittausvälin perustuvan kohteen kriittisyyteen, häiriöherkkyyteen, vikojen kehittymisnopeuteen ja kunnossapidon historiatietoon. Samassa standardissa myös annetaan suosituksia värähtelyn mittausväleistä sekä todetaan, että kunnonvalvontatoiminnan alussa tulisi valita lyhyempi mittausväli, jota voidaan kokemuksen karttuessa pidentää. (PSK 5707, 2006, 7.)

Tarkemmin mittausvälejä näytetään taulukossa 3, joka on PSK standardista 5705 (PSK 5705, 2006, 9). Vaikkei taulukossa ole vaihdetta lukuun ottamatta Soidenkosken voimalassa olevia laitteita, on selvää, että mittausta tulisi suorittaa usein etenkin kriittisillä laitteilla. Soininkosken vesivoimalassa, kuten to-

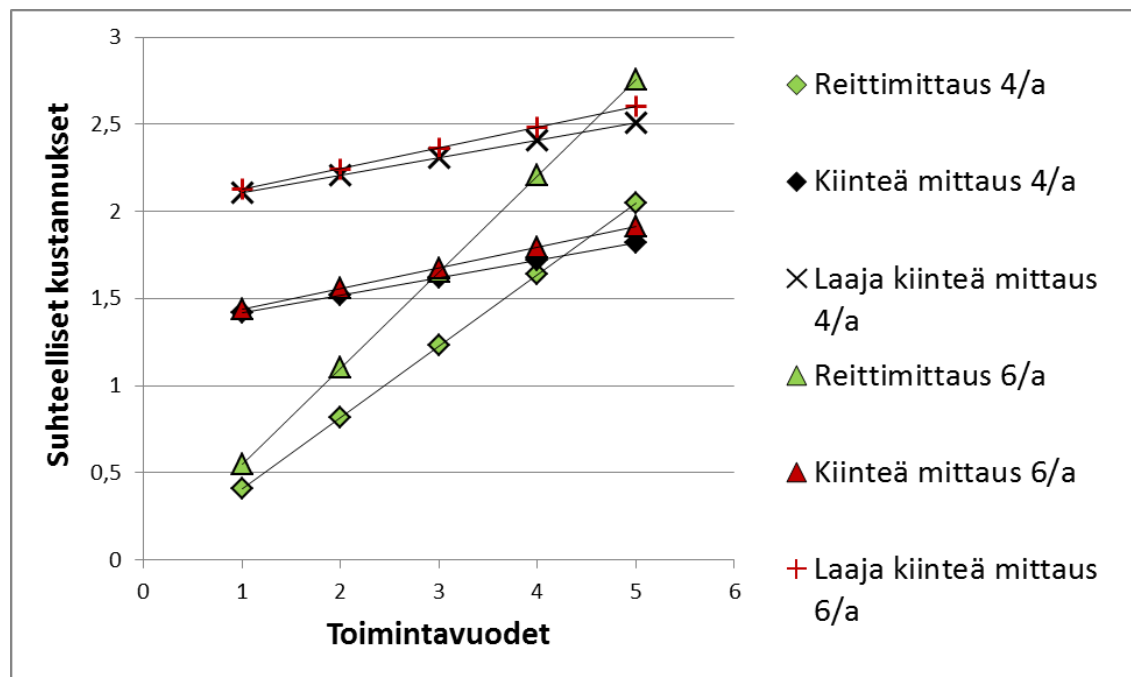
dennäköisesti kaikissa vesivoimaloissa, on turbiinigeneraattoreiden yhteydessä vain kriittisiä laitteita, joiden hajoaminen aiheuttaisi tuotantokatkon.

Taulukko 3. PSK 5705:n suosituksia värähtelyn mittausväleiksi

Taulukko 1 Suositeltavia värähtelyn mittausvälejä jatkuvatoimisille laitteille.			Table 1. Recommended vibration intervals for machines in contin				
Konetyyppi Machine type	Kriittisyys Criticality	Rasitus Stress	Suositeltava mittausväli Recommended measurement in				
			Jaksottainen kunnonvalvontamittaus				
			kiinteä on-line	2 vko 2 weeks	4 vko 4 weeks	2 kk 2 months	4 kk 4 months
Pumppu ja puhallin Pump and fan / blower	kriittinen critical	kova heavy	X				
	kriittinen critical	kevyt light	X				
	ei kriittinen non critical	kova heavy					
	ei kriittinen non critical	kevyt light					
Turbogeneraattori Turbo generator	kriittinen critical	kaikki all	X				
Ruuvikompressori Screw compressor	kriittinen critical	kova heavy	X				
	kriittinen critical	kevyt light	X				
	ei kriittinen non critical	kova heavy					
	ei kriittinen non critical	kevyt light					
Vaihteisto Gear	kriittinen critical	kova heavy	X				
	kriittinen critical	kevyt light	X				
	ei kriittinen non critical	kova heavy					
	ei kriittinen non critical	kevyt light					

Taulukko 3:n pohjalta käy selväksi, että kriittisiä koneita tulisi valvoa hyvin tiheästi ja aina kiinteällä mittalaitteella. Taulukon ulkopuolelle on jäänyt seuraava lause: ”kiinteä järjestelmä on ensisijainen kriittisille koneille, toteutus määritellään taloudellisilla perusteilla” (PSK 5705, 2006, 9). Taulukon suositukset eivät ole erityisen soveltuvia ulkoistetun mittauspalvelun verroiksi, sillä tällainen raportointitiheys nostaisi kustannuksia merkittävästi. Sisäisenä toimintonaakin taulukon lyhyet mittausvälit viittaavat karkeampaan tunnuslukuvalvontaan, jota täydennetään vianmäärityksen edellyttämällä syvällisemmällä analysoinnilla tarvittaessa.

Ottaen huomioon, että työni sisältää vuoden aikana tehdyt neljä reittimittausta, on tämä raportointimäärä hyvä ottaa tarkempaan vertailuun. Taulukon 3 pohjalta otin myös hieman tiheämmän raportointivälin tarkempaan vertailuun. Vertailu reittimittauksen ja kahden kiinteän järjestelmän välillä näkyy kuviossa 11. Kuvioista ilmenee selvästi kuinka edullisinkin reittimittaus käy jo neljän vuoden jälkeen kevyempää kiinteää järjestelmää kalliimmaksi. Tiheämmät raportointivälit, jotka olisivat kriittisille laitteilla soveltuvampia, nostavat reittimittauksen kustannukset tätäkin nopeammin kiinteiden järjestelmien ohitse. Merkillepantavaa on myös kuinka kalliimpikin kiinteä järjestelmä käy ajan kanssa halvemmaksi verrattuna reittimittaukseen.



Kuvio 11. Eri järjestelmien kustannuskehitys

Kunnonvalvonnan tavoitteena on tuoda kustannussäästöjä vikaantumisten ennustamisella. Tästä näkökulmasta tarkasteltuna täytyy järjestelmän säästää tuottamallaan tiedolla enemmän kuin järjestelmään ja analysointiin kuluu rahaa. Järjestelmien kustannukset ja yksittäisten vikaantumisten aiheuttamat kustannukset vaihtelevat suuresti, mutta kustannusrakenteen voi olettaa ole-

van sama. Oli tarvittava mittausväli kuinka harva tahansa, tulee kiinteä järjestelmä halvemmaksi tarpeeksi pitkän ajan kuluessa. Jos järjestelmää valvotaan tiheästi suuremman varmuuden saavuttamiseksi, käy kiinteä järjestelmä taloudellisemmaksi nopeammin.

8 Soveltuvin kunnonvalvontaratkaisu

Koivulan (2014) mukaan tuotannon turvaaminen on merkittävä, mutta ei ainoa, syy kunnonvalvontajärjestelmään investoimiseen. Kiinteä mittaus ja reittimittaus ovat kumpikin toimivia menetelmiä Soininkoskella olevia laitteiden kunnonvalvontaan. Kiinteä mittaus tarjoaa kuitenkin mahdollisuuden tiheämpään valvontaan, mikä lisää toiminnan varmuutta. Myös PSK-standardi (PSK 5705, 2006, 7) suosittelee kriittisten kohteiden valvontaan käytettäväksi kiinteää mittausjärjestelmää. Kiinteä järjestelmä vastaisi siis ainakin omassa opinäytetyössäni esiintyneen ”asiakkaan” kunnonvalvontajärjestelmälle esittämiä vaatimuksia. Oletan myös, että muiden pienvesivoimaloiden kohdalla kunnonvalvontajärjestelmän tärkein ominaisuus on myös toimintavarmuuden kasvattamiseen ja siten laitteiden käytettävyyden kasvattaminen. Tämän ominaisuuden täytyessä aletaan vasta tarkastella investoinnin kustannuksia.

Kustannusvertailussa kävi selväksi, että tuotannon varmuuden kannalta tärkeä mittauksen tiheys kasvattaa reittimittauksen kustannuksia merkittävästi. Reittimittausta ei siten kannata käyttää tiheää mittaussykliä vaativilla laitteilla, mikäli mittaustoimintaa aikoo jatkaa pidemmällä aikavälillä. Kiinteä mittausjärjestelmä on kunnonvalvontaan tehokkain menetelmä ja kustannusvertailuiden perusteella myös kustannustehokas. Sen lisäksi, että kiinteä järjestelmä tuottaa enemmän tietoa valvottavasta kohteesta, on kiinteä järjestelmä halvempi keino tiheässä tai pitkäkestoisessa kunnonvalvonnassa. Tiheän syklin tuottamat paremmat mittaustulokset ovat omalta osaltaan suosiollisia kunnonvalvonnan palveluyritykselle. Tulosten tarkastelu on helpompaa suuremmalla mittausmäärällä, jolloin analysointityö nopeutuu ja tulosten luotettavuus para-

nee. Palvelufirman kannalta on myös mielekkäämpää etäkäyttää kiinteää järjestelmää kuin matkustaa reittimittauksia tehdäkseen, sillä työntekijän aika käytetään paremmin varsinaiseen palvelutoimintaan.

Reittimittauksen kustannuksissa merkittävään osaan kohoavat etäkulut riippuvat palveluntarjoajasta ja asiakkaasta. Vaikka etäkulut eivät välttämättä ole merkittäviä joidenkin toimijoiden välillä, ovat ne useimmissa tapauksissa olemassa. Pienetkin etäkulut kasvavat suuriksi kuluiksi, kun mittaus toiminta toistuu tarpeeksi usein. Kunnonvalvonta on luonteeltaan jatkuvaa toimintaa ja siten voinkin todeta järjestelmien vertailujen, Killin Voima Oy:n vastausten sekä kustannusvertailun pohjalta kiinteän järjestelmän olevan soveltuvampi menetelmä pienvesivoimalan kunnonvalvontaan. Järjestelmien ja voimaloiden välisen suurien erojen vuoksi en voi yleispätevästi sanoa minkälainen kiinteä järjestelmä olisi soveltuvimmin. Nykyisellä laitetarjonnalla on mahdollista saada kohtuullisin kustannuksin järjestelmä vain kriittisimmille kohteille tai tarvittaessa koko voimalallekin.

9 Tulosten oikeellisuus ja keinojen tarkastelu

Työni on melkoisen rajattu, sillä se käsittelee vain kiinteän mittauksen ja reittimittauksen välisiä eroja yleisellä tasolla. Nykyaikainen palvelutarjonta mahdollistaa monenlaisia välimuotoja kunnonvalvonnan suorittamiseen. Kuitenkin kiinteä mittaus ja reittimittaus ovat kaksi helposti havainnollistettavaa ja yleisesti käytössä olevaa palvelumuotoa, joten rajaus on perusteltua. Opinnäytetyön tavoitteena oli muutoinkin saada yleistettävissä oleva tulos soveltuvimmasta keinosta, joten yksittäisen asiakas—palveluyritys -tapauksen optimaalimmalla mittausmenetelmällä määrittäminen olisi jättänyt työn tavoitteen saavuttamatta.

Työni sisälsi sekä yksittäisten reittimittauksien tutkimista että kiinteän järjestelmän mittausdatan tarkastelua. Kustannusvertailut puolestaan perustuvat to-

dellisiin kustannuksiin. Etenkin kiinteän järjestelmän mittausjakso jäi lyhyeksi ollakseen vertailukelpoinen reittimittausjakson kanssa. Parhaimmassa tapauksessa kiinteältä järjestelmältä olisi saatu mittaustuloksia koko työn ajalta ja olisin voinut havainnollistaa niillä mittausvälin merkittävyyden. Mittauksia ei kuitenkaan suoritettu menetelmien toimivuuden todistamiseksi, joten tarkastelujakson lyhyys ei haittaa työn tuloksia suuresti. Mittausvälin merkitystä voi nimittäin arvioida ilman testimittauksiakin, joten työn vertailuosio ei mielestäni ole kärsinyt tästä. Kustannusvertailu sisältää melkoisen rajatun otannan kustannuksista, mutta se osoittaa kuitenkin kiinteän järjestelmän alkukustannusten ja reittimittausten työn kustannusten vaikutukset, mitkä ovat mielestäni tärkeimmät soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät. Siksi myös kustannusvertailu on mielestäni kelvollinen työn kannalta.

Vaikka olenkin sitä mieltä, että työni pitää sisällään tarpeeksi kokeellista tietoa tulosten perustelemiseen, olisi lisätieto ollut hyödyllistä työni kannalta. Yleissovelliaan ratkaisun löytämisen tueksi olisi ollut tarpeellista testata useampia kannettavia järjestelmiä ja kiinteitä järjestelmiä sekä tehdä mittauksia useammassa mittauskohteessa. Tällainen työmäärä olisi kuitenkin ollut mahdotonta tehdä yhden opinnäytetyön aikana näillä resursseilla. Uskon kuitenkin saamieni tulosten olevan yleistettävissä eri voimaloihin, sillä vesivoimaloiden laitekanta on hyvin samankaltainen. Tällöin mittausmenetelmien vahvuudet ja heikkoudet tuottavat samanlaiset tulokset eri tilanteissa.

10 Tavoitteiden saavuttaminen ja työni merkitys

Sain vastauksen pienille vesivoimaloille soveltuvimpaan värähtelykunnonvalvontamenetelmään, joten tämän tavoitteen voi sanoa olevan saavutettu. Tavoite oli rajattu hyvin tarkkaan, mutta sen saavuttaminen vaati silti yllättävän paljon tietoa ja tietojen tulkintaa. Henkilökohtaisista tavoitteistani olen saavuttanut osan. Olen saanut paljon käytännön näkemystä kiinteän järjestelmän toivottuihin ominaisuuksiin ja hankintaan työni aikana. En kuitenkaan saanut

niin syvää näkemystä palvelun ostajan näkökulmaan kuin olisin toivonut. Järjestelmien ja niiden kustannuksien vertailu on silti antanut minulle näkemystä sopimuksen molempiin osapuoliin.

Työni tulokset ovat yleistettävissä muillekin pienvesivoimaloille ja voivat siten tarjota pohjan kunnonvalvonnan käyttöönotolle. Näkisin työni hyödyttävän etenkin pienvesivoimaloita, jotka ovat kiinnostuneita kunnonvalvonnan ostamisesta palveluna, mutta eivät osaa määritellä heille soveltuvaa palvelutasoa. Työn tuloksia yleistettäessä täytyy kuitenkin muistaa, että työni oli tarkkaan rajattu. Siten työni ei ota kantaa muihin kunnonvalvontakeinoihin kuin värähtelyanalyysiin eikä se kerro minkälainen kiinteä järjestelmä yrityksen tulisi hankkia. Työni tulokset kertovat vain reittimittauksen ja kiinteän mittauksen välisistä eroista ja soveltuvuudesta. On siis hyvä muistaa, että kunnonvalvontaa voi toteuttaa monella tavalla ja yksittäisissä tapauksissa optimaalinen ratkaisu ei välttämättä ole sama kuin mitä työni tuloksista voisi päätellä.

Lähteet

An Engineers's Guide to Shaft Alignment, Vibration Ananlysis, Dynamic Balancing & Wear Debris Analysis. 2002. Versio 8.011. Prüftechnik Ltd:n julkaisema opas hyvään linjauksen, värähtelyanalysoinnin ja dynaamisen tasapainotuksen toteutukseen. Viitattu 20.5.2014.

http://www2.pruftechnik.com/fileadmin/user_upload/COM/Machinery_Service/PDFs/EngineersGuide2012.pdf

Heinonen, K., Jantunen, E., Kautto, J., Kokko, V., Komonen, K., Lakka, S., Leinonen, P., Lumme, V., Miettinen, J., Mikkonen, H., Mäkeläinen, R., Riutta, E. & Sulo, P. P. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media.

Nohynek, P., Lumme, V. E. 1996. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. Rajamäki: KP-Tieto

Moubray, J. 1997. Reliability-Centered Maintenance. 2. p. Oxford: Butterworth-Heinemann

How does Francis turbine work ?. N.d. Artikkeeli tärkeimmistä ominaisuuksista ja suunnittelussa huomioitavista seikoista. Viitattu 1.4.2014.

<http://www.learnengineering.org/2014/01/how-does-francis-turbine-work.html>

Kaplan Turbine - A Mammoth in Hydroelectric Power Generation. N.d. Artikkeeli tärkeimmistä ominaisuuksista ja suunnittelussa huomioitavista seikoista. Viitattu 1.4.2014. <http://www.learnengineering.org/2013/08/kaplan-turbine-hydroelectric-power-gneration.html>

Keep It Running – Industrial Asset Management. 1998. Scandinavian Center for Maintenance Management. Loviisa: Painoyhtymä.

Koillis-Satakunnan Sähkö Oy. N.d. Viitattu 4.3.2014.

<http://www.ksat.fi/fi/etusivu>

Koivula, J. 2014 Sähköpostiviesti 5.5.2014. Vastaanottaja T. Häkkinen. Vastaukset liitteen 2 kyselyyn.

PSK 5705. 2006. Kunnonvalvonta. Värähtelymittaus. Mittaustoiminnan suunnittelu. 5. painos. PSK standardisointiyhdistys ry. Viitattu 6.5.2014.

http://www.psk-standardisointi.fi.ezproxy.jamk.fi:2048/Standard/Ryhma57/PSK5705_5p.pdf

PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. painos. PSK standardoimisyhdistys. Viitattu 8.5.2014. <http://www.psk-standardisointi.fi.ezproxy.jamk.fi:2048/Standard/Ryhma62/psk6201.pdf>

Smith, A. & Hinchcliffe, G. 2003. RCM – Gateway To World Class Maintenance. Burlington, MA, USA: Burlington-Heineman. Viitattu 20.3.2014. <http://site.ebrary.com.ezproxy.jamk.fi:2048/lib/jypoly/docDetail.action?docID=10169844>

Use and Capacity of Global Hydropower Increases, 2013. Worldwatch-instituutti. Viitattu 18.3.2014. <http://www.worldwatch.org/node/9527>

Vesivoima. N.d. Energiateollisuus. Viitattu 18.3.2014. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/vesivoima>

Vesivoimatuotannon määrä ja lisäämismahdollisuudet Suomessa, 2005. Energiateollisuus ry:n toteuttama selvitys kauppa- ja teollisuusministeriölle. Viitattu 20.3.2014. <http://www.motiva.fi/files/700/vesivoimatuotannon-maara-ja-lisaamismahdollisuudet-suomessa.pdf>

Weele, A.J.V. 2010. Purchasing and Supply Chain Management. 5. p., Kiina: RR Donnelley.

Liitteet

Liite 1. Kiinteän mittalaitteen kokoonpano ja konfiguraatio

Järjestelmän kokoonpano

Kiinteä järjestelmä on opinnäytetyötä varten kokoonpantu testisalkku, jota voi käyttää muissakin mittauspaikeissa. Mittalaitteena toimii GE Bently Nevadan vbOnline. Laitteessa on 16 yleismittauskanavaa, kaksi pyörimisnopeuden mittauskanavaa ja kaksi releiden ohjausta. Testisalkku sisältää 16 värähtelyanturin kiinnityspaikkaa, yhden pyörimisnopeusmittarin kiinnityspaikan ja kaksi lämpötila-anturin kiinnityspaikkaa. Laitteen käyttöä varten on testisalkussa teollisuus-pc, joka on yhteydessä internetiin Soininkoskelle tuodun 3G-modeemin WLAN:illa.

Järjestelmän konfiguraatio

Seitsemän mittalaitteen yleismittauskanavaa on konfiguroitu suorittamaan värähtelymittauksia ja kaksi yleismittauskanavista on konfiguroitu mittaamaan lämpötilaa. Pyörimisnopeuden mittaus tapahtuu toisella siihen tarkoitetuista kanavista. Järjestelmä on määritetty suorittamaan mittauksia kolmesti vuorokaudessa. Pyörimisnopeuden mittausta hyödynnettiin myös käyntivaatimuksessa eli mittauksia suoritetaan vain aikoina, jolloin turbiiniakseli pyörii. Järjestelmän etäkäyttöä ajatellen teollisuus-pc:hen asennettiin Splashtop-ohjelma. Ohjelman tarkoituksena on mahdollistaa helppo ja nopea etäyhteyden muodostaminen tietokoneesta toiseen internetin välityksellä. Splashtop:illa muodostettu yhteys toimi kuitenkin huonommin Soininkoskelle kuin palvelua testatessa, joten järjestelmän konfiguraatio tulee muuttumaan. Etäyhteyttä varten on käytössä olevaan internet-liittymään hankittu lisäpalveluna kiinteä IP-osoite, jonka avulla etäyhteys tullaan muodostamaan.

Liite 2. Killin Voima Oy:n edustajille luovuttamani kyselyn kysymykset

Opinnäytteeseeni liittyviä kiinnostuksenkohteita

Tavoitteet

Mihin kunnonvalvontajärjestelmällä pyritään?

Onko selkeitä numerollisia tavoitteita vai pyritäänkö vain esimerkiksi toimintavarmuuden parantamiseen?

Motivaatio

Mikä sai aikaiseksi kiinnostuksen kunnonvalvonnan toteutukseen? Liittyykö järjestelmä muuttuneisiin kunnossapitostrategioihin vai onko kyseessä esimerkiksi käytettävyyden turvaaminen?

Investointihalua

Kuinka paljon järjestelmään ollaan valmiita investoimaan kertaostona ja jatkuvana toimintona?

Tarve

Kuinka paljon suunnittelemaan seisokkitunti maksaa vesivoimalassa? Onko koneenosien kunnosta herännyt epäilyksiä?

Tiedon omistajuus

Miten tärkeäksi koette tiedon omistajuuden ja hallussapidon?

Onko mittausdataan tarvetta päästä käsiksi itse vai riittääkö tiedon saaminen välikäden kautta sitä tarvittaessa?