

Joni Seppänen

# Kunnonvalvonnan suunnittelu akkukemikaali- tehtaalle

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Syksy 2020



**KAMK • University  
of Applied Sciences**

## **Tiivistelmä**

**Tekijä:** Seppänen Joni

**Työn nimi:** Kunnonvalvonnan suunnittelu akkukemikaalitehtaalle

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), konetekniikka

**Asiasanat:** Kunnonvalvonta, värähtelymittaus

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda toimivat värähtelymittausreitit Terrafamen tulevan akkukemikaalitehtaan laitteille. Opinnäytetyö toimii osana Terrafamen mittaavan kunnossapito-osaston työtehtäviä. Lisääntyvä laitekanta kuormittaa pientä osastoa, joten opinnäytetyöllä pyritään helpottamaan tätä taakkaa.

Tässä työssä käsiteltiin, miten kunnonvalvonnan avulla voidaan seurata laitteiden kuntoa ja huomata viikaantuminen jo hyvissä ajoin, ennen kuin on liian myöhäistä. Värähtelymittausta apuna käyttäen voidaan koneen värähtelystä muodostaa tulkittavaa dataa, jolla voidaan selvittää erilaisten mittausasetuksien kanssa millaisesta ja kuinka vakavasta viasta on kyse. Hyvin suunnitelluilla, jaksottaisilla mittausreiteillä voidaan seurata laitteiden kuntoa kattavasti ja säännöllisesti.

Työn toteutus alkoi akkukemikaalitehtaan laitteiden kokoamisella analysointiohjelman hierarkiaan. Laitteet koottiin järjestelmällisesti osastoittain, jonka jälkeen laitteille voitiin määrittää mittauspisteet. Mittauspisteiden asettamisen jälkeen asetettiin kullekin mittauspisteelle sitä vastaavat laakeritiedot, sekä oikeanlaiset mittausasetukset, jotta analysointi myöhemmin olisi helpompaa oikeanlaisen datan vuoksi. Tämän jälkeen rakennetaan hierarkian kautta mittausreitit tuotantoprosessin kriittisyysluokitusten mukaisesti.

Lopputuloksena syntyi onnistunut kunnonvalvontasuunnitelma, jota voidaan kehittää jatkossa tarpeiden mukaan.

## **Abstract**

**Author(s):** Seppänen Joni

**Title of the Publication:** Condition Monitoring Plan for Battery Chemical Plant

**Degree Title:** Engineering, Mechanical Engineering

**Keywords:** Condition monitoring, Vibration measurements

The aim of this thesis was planning working vibration measurement routes for Terrafame's new battery chemical plant machines. The thesis will be part of the condition monitoring team's job. The increasing number of installed bases will be tough for the team, so this thesis aims to relieve the job.

This thesis addressed how condition monitoring helps to survey the condition of machines and find the fails before it is too late. With the help of vibration measurements, it is possible to create interpreted data and with the help of measurement parameters it is possible to see how bad the damage really is. Correctly planned periodic vibration measurement routes can be used to monitor machine condition regularly.

At the beginning of this thesis the battery chemical plant's machinery was collected into the analysis software. The machinery was set in order section by section and after that the measurement spots were defined. After the spots were set, the next thing was to enter the right bearing information and measurement parameters for each measurement spot for easier monitoring. After this the measurement will be done by following the process in the plant. The more critical the process is, the more often vibration measurements will be done.

Finally, the condition monitoring plan was drawn up and it will be developed if necessary.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Terrafame Oy.....	2
3	Kunnonvalvonta.....	3
3.1	Kunnonvalvonta käsitteenä.....	3
3.2	Värähtelymittaus kunnonvalvontatekniikkana .....	3
3.3	Värähtelyn perusteet .....	5
3.3.1	Värähtely-yksiköt ja parametrit .....	6
3.3.2	Aikataso ja FFT.....	8
3.3.3	Verhokäyrä .....	10
4	Reittimittaus .....	12
4.1	Mittauspisteet .....	12
4.2	Mittalaitteet .....	12
4.3	Mittauspaikkojen merkintä .....	14
4.4	Kehnon datan tunnistaminen.....	15
4.5	Kenttähavainnot.....	16
5	Toteutus.....	17
5.1	Laitteiden kokoaminen hierarkiaan .....	17
5.2	Mittauspisteiden asettaminen .....	19
5.3	Laakeritietojen asettaminen .....	23
5.4	Raja-arvojen määrittely.....	25
5.5	Mittausasetuksien asettaminen.....	26
5.5.1	Sähkömoottorit .....	28
5.5.2	Pumput ja puhaltimet .....	29
5.6	Mittausreitin luonti .....	32
6	Yhteenveto .....	33

## 1 Johdanto

Kunnonvalvonta koneissa ja erityisesti värähtelymittaukset ovat yksi tärkeimpiä tekijöitä teollisuuden kunnossapidossa, sillä kunnonvalvonnalla on havaittu olevan myönteinen vaikutus koneiden käyttöasteeseen ja toimintaan. Nykyaikaiset välineet mahdollistavat sen, että koneiden kuntoa pystytään valvomaan jatkuvasti. Kun vikoja pystytään ennakoimaan, ei ikäviä yllätyksiä pääse sattumaan [1].

Terrafamen kunnossapito-osastossa on olemassa oma kunnonvalvontatiimi, jonka tehtävänä on valvoa lähes kaikkia tuotannossa käytössä olevia pyöriviä laitteita. Koska laitteita on paljon, on tärkeää myös suunnitella kunnonvalvonta huolellisesti. Jaksoittaisesti suunnitellut reittimittaukset sekä oikeanlaiset mittausasetukset takaavat sen, että koneita valvotaan säännöllisesti ja koneista saadaan tarvittavasti tietoa irti mittausten aikana. Kohteista otetut mittaukset analysoidaan myöhemmin ja analysoinnin perusteella tehdään tarvittavat jatkotoimenpiteet laitteille yhdessä muun kunnossapidon ja tuotannon kanssa.

Opinnäytetyön aiheena on kunnonvalvonnan suunnittelu Terrafamen tulevalle akkukemikaalitehtaalalle. Koska kunnonvalvonta itsessään on todella laaja kokonaisuus, keskitytään tässä työssä tekemään oikeanlaiset mittareitit reittimittausta varten sekä määrittämään akkukemikaalitehtaan laitteille oikeanlaiset mittausasetukset.

## 2 Terrafame Oy

Terrafame on suomalainen monimetalliyhtiö, joka sijaitsee Sotkamossa. Terrafame perustettiin elokuussa vuonna 2015, Terrafame Oy:n ostaessa entisen Talvivaara Sotkamo Oy:n liiketoiminnan [2].

Terrafamen kaivos ja metallitehdas tuottaa malmista nikkeliä, sinkkiä, kobolttia ja kuparia, jotka sopivat ruostumattoman teräksen tuotantoon, korroosionsuojaukseen sekä akkujen valmistukseen. Malmi ajetaan avolouhokselta murskaukseen, josta se kasataan bioliuotuskasoille. Metallit malmista saadaan talteen liuotuksen avulla. Vuonna 2019 Terrafamen liikevaihto oli 310,4 miljoonaa euroa [2].

Terrafame työllistää lähes 1500 työntekijää, joista lähes puolet ovat kumppaniyritysten henkilöstöä. Terrafamen henkilöstön keskimääräinen ikä on noin 41 vuotta, ja yli 80 prosenttia alueen työntekijöistä asuu Kainuun alueella [2].

Vuonna 2018 tehtiin päätös investoida akkukemikaalitehtaaseen. Akkukemikaalitehdas tulee käyttämään raaka-aineena metallitehtaan nykyistä päätuotetta, nikkeli-kobolttisulfidia. Akkukemikaalitehtaan avulla pystytään jatkojalostamaan päätuotetta sähköautojen akuissa käytettäväksi nikkelisulfaatiksi. Akkukemikaalitehdas myös luo valmistuttuaan lisää työpaikkoja [2].

### 3 Kunnonvalvonta

Tässä osiossa kerrotaan mitä kunnonvalvonta on, kuinka värähtelymittauksen avulla saadaan laitteen värähtelystä koostettua tulkitsemiskykyistä dataa ja miten eri suureilla voidaan vaikuttaa laitteen kunnon seurantaan. Lisäksi käydään läpi, kuinka signaalia käsittelemällä voidaan saada vikaantumisen kiinni jo varhaisessa vaiheessa.

#### 3.1 Kunnonvalvonta käsitteenä

Kunnonvalvonta on yksi ennakoivan kunnossapidon osa-alueista. Se on prosessi, jossa määritellään käynnissä olevien koneiden kuntoa. Aikaisemmin koneiden kuntoa valvottiin aistien avulla, kuten kuuntelemalla laakerien ääntä tai tunnustelemalla koneiden värinää ja lämpöä. Nämä ovat yksinkertaisia, mutta toimivia ja nopeita keinoja selvittää laitteiden kuntoa. Nykyään kunnonvalvonnassa on käytössä myös erilaisia mittausmenetelmiä, joiden avulla pystytään mittaamaan esimerkiksi koneiden lämpötilaa, värähtelyä ja sähkövirran suuruutta [3, s. 13.]

Kunnonvalvonnan tarkoituksena on tunnistaa vikaantumisen oireet ja vakavuus, jotta kohteiden korjaukset voidaan suunnitella ja toteuttaa hyvissä ajoin ennen vian muuttumista vaurioksi. Toimenpiteisiin kuuluu myös koneiden tai laitteiden nykytilan määrittäminen mittausten avulla sekä mahdolliset ajankohdat vikaantumiselle ja huoltoajankohdille. Pelkällä mittausdatalla ei aina välttämättä saada oikeaa vikadiagnoosia, vaan tarvitaan myös historiatietoa itse koneesta ja sen vaurioista, joiden avulla uusia mittauksia analysoidaan [4].

#### 3.2 Värähtelymittaus kunnonvalvontatekniikkana

Värähtelymittauksia käytetään teollisuudessa yleisesti pyörivien koneiden ja laitteiden kunnonvalvontasovelluksissa. Värähtelyvalvonnan suunnittelu sekä mittausasetusten määrittäminen on prosessina varsin monimutkainen, ja se vaatii monien eri asioiden huomioon ottamista. Käyttökelpoisimmat valvontamenetelmät riippuvat lähinnä itse kohteesta, sen kriittisyydestä tuotannon

kannalta sekä tietysti taloudellisista tekijöistä. Värähtelyvalvonnan pohjaksi täytyy ymmärtää valvottavien laitteiden toimintaperiaatteet, kuinka ne mahdollisesti vikaantuvat sekä prosessi, jossa valvottavat kohteet ovat [5, s. 223]. Värähtelymittauksissa sovelletaan PSK:n ryhmä 57. Standardeja, joiden avulla saadaan mittaukset määritettyä luotettaviksi. Seuraavat asiat vaikuttavat värähtelymittauksien määrittelyyn:

- Kuinka usein värähtelymittauksia tulee tehdä?

- Mikä on laitteen kriittisyys tuotannon kannalta?
- Mitkä ovat todennäköisimpiä vikoja?
- Kuinka nopeasti mahdollinen vika voi kehittyä?

- Millaisia vikoja laitteisiin voi tulla?

- Mitä mittausparametrejä ja -suureita tulee käyttää?
- Millä taajuudella mittauksia tulee suorittaa?
- Kuinka monta mittausta tarvitaan?

- Mikä on laitteiden toimintaympäristö?

- Pystytäänkö mittauksia suorittamaan kannettavilla mittalaitteilla?
- Tuleeko ympäristöstä mitään häiritseviä taajuuksia, kuten rakenteiden ominaistaajuuDET?

- Millä laitteilla mittaukset kannattaa suorittaa?

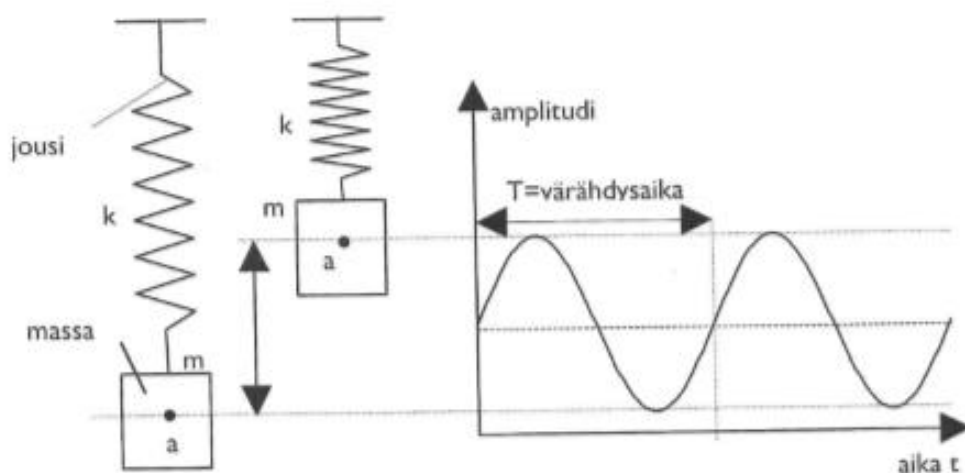
- Voidaanko mittauksilla saavuttaa taloudellista hyötyä, eli kuinka paljon mittauksiin kannattaa investoida?
- Onko poikkeavan tilanteen havaitseminen riittävää vai onko tarve tarkemmalle diagnostiikalle?



### 3.3 Värähtelyn perusteet

Pyörivät laitteet värähtelevät käydessään ja käyttäytyvät kuten jousimassasysteemi (kuva 1). Rakenteen värähtelyn aiheuttamia voimia kutsutaan herätteiksi. Herätteinä toimivat erilaiset dynaamiset voimat, jotka yleensä aiheutuvat laitteen normaalista toiminnasta, asennuksen tai valmistuksen epätarkkuuksista sekä tietenkin vikaantumisesta. Normaalissa käynnissä herätteinä toimivat esimerkiksi liikkeet venttiili- ja kampiakselikoneistoissa sekä muut käyntiin liittyvät vastaavat tekijät. Värähtelyn herätteinä toimivat yleensä epätarkkuudet ja viat, kuten epätasapaino, asennusvirheet sekä kuluneet tai vaurioituneet osat [5, s. 224.]

Värähtelymittausten vianmääritys perustuu herätteiden ja niiden muutosten selvittämiseen. Voimakas värähtely voi johtua koneen suuresta liikkuvuudesta herätevoimataajuudella. Syynä tähän voi olla koneen tukirakenteen liiallinen joustavuus tai keveys [5, s.224.]



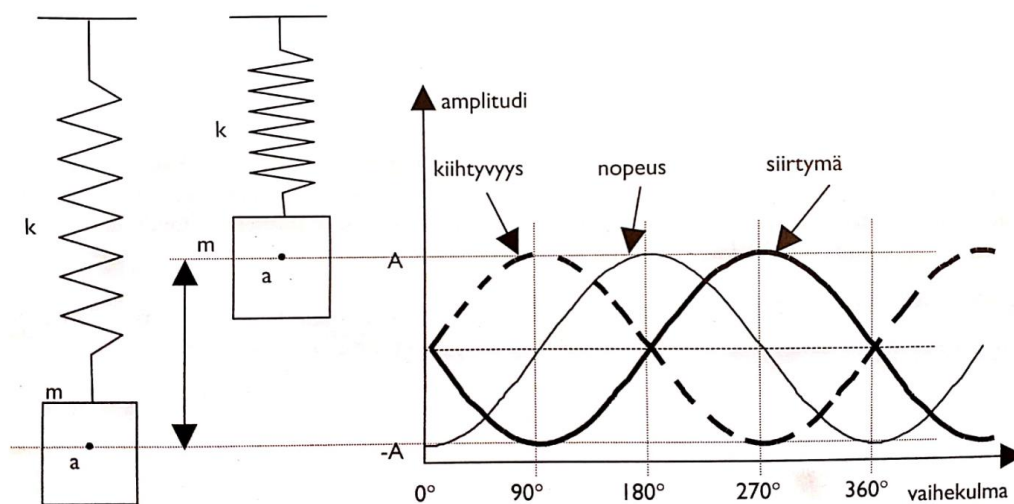
Kuva 1. Systeemissä olevan pisteen a esitys aikatasossa [5, s.226]

Massaa vedetään tasapainoasemastaan ja päästetään irti. Tästä aiheutuu värähtelevä liike siten, että massapiste värähtelee tasapainoasemansa molemmiin puolin, käyden maksimipisteissään positiivisella ja negatiivisella puolella kerran värähtelyliikkeen aikana [5, s. 227]. Massapisteen muodostama käyrä on muodoltaan sinikäyrä, ja värähtelyn aiheuttama amplitudi kertoo, kuinka voimakasta värähtely on. Kuvassa 1 olevasta signaalista käytetään nimitystä aikatasosignaali.

### 3.3.1 Värähtely-yksiköt ja parametrit

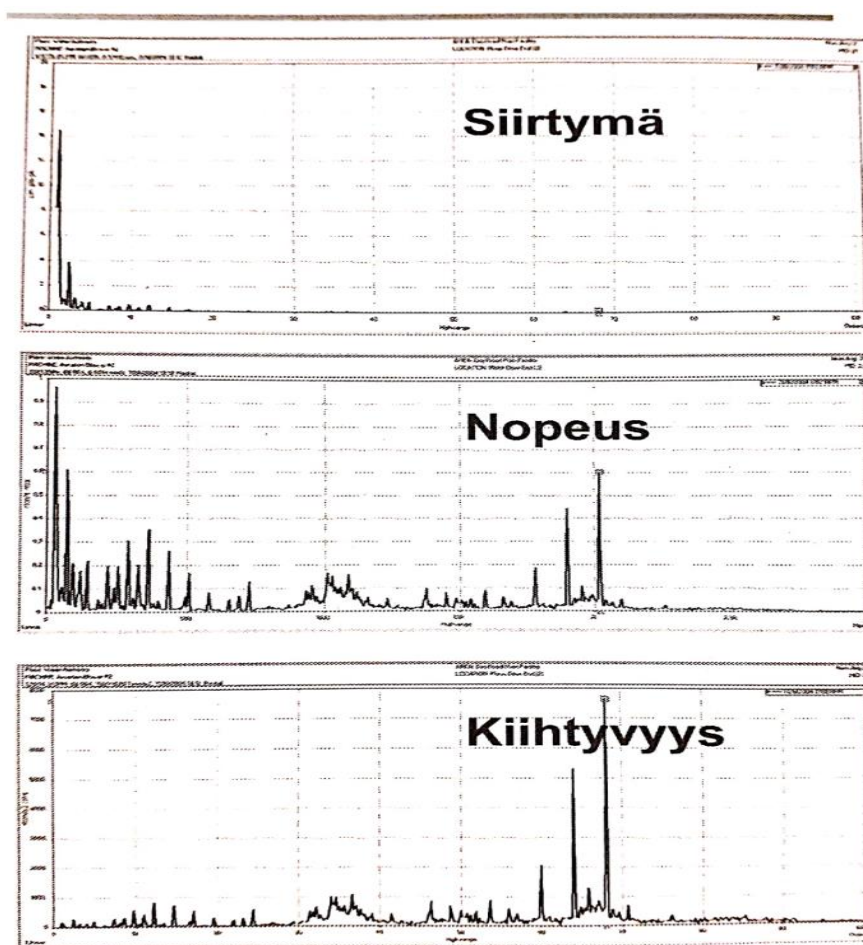
Värähtelyamplitudista puhuttaessa on ilmaistava myös värähtely-yksiköt eli suureet. Suureita ovat siirtymä ( $\mu\text{m}$ ), nopeus ( $\text{mm/s}$ ) ja kiihtyvyys ( $\text{g}$  tai  $\text{mm/s}^2$ ). Nämä kuvaavat värähtelyn kolmea eri ominaisuutta (kuva 2). Kiihtyvyys edeltää nopeutta ja nopeus edeltää siirtymää. Pitää kiihdyttää, että saadaan suurempi nopeus, jotta edettäisiin pitempi siirtymä. Matemaattisesti nopeus saadaan siirtymästä derivoimalla se kerran ajan suhteen ja kiihtyvyys derivoimalla siirtymä kaksi kertaa ajan suhteen [6.]

Värähtelymittaukset



Kuva 2. Värähtelysuureiden ominaisuudet massapisteen a mukaisesti [5. s. 228]

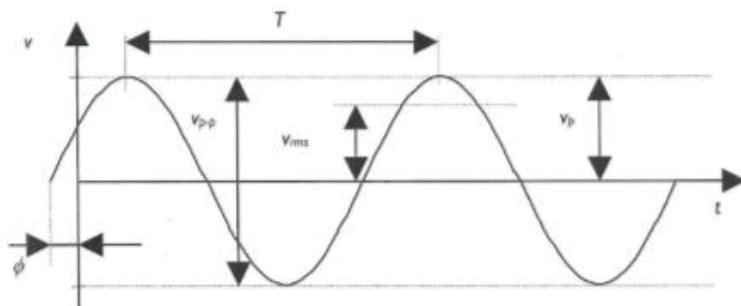
Värähtelymittauksissa siirtymää käytetään yleisesti hitaasti pyörivien laitteiden akselien etäisyyden mittaamiseen, eli kuinka etäälle ja lähelle akseli liikkuu käynnin aikana. Tyypillisesti siirtymää käytetään liukulaakeroiduissa koneissa. Nopeus on yleisimmin käytetty mittaussuure, ja sitä käytetään koneissa, joissa on vierintälaakerit. Nopeutta käytetään värähtelyn ilmaisemiseen, ja se on yleisesti sopiva suure useimmille pyörimisnopeuksille ja taajuuksille. Taajuusalue nopeudella on 2 - 2000 Hz [7]. Kiihtyvyyttä käytetään korkeataajuisissa värähtelyissä eli kohteissa, joissa pyörimisnopeus on suuri. Kiihtyvyys on hyvä alkavien vikojen kehittymisen seuraamista varten, sillä viat alkavat esiintyä ensin korkeilla taajuuksilla ja kehittyessään valuvat matalammille taajuuksille, jolloin ne havaitaan myös nopeusmittauksissa (kuva 3).



Kuva 3. Suureiden eroavaisuus samassa mittauksessa [7]

Jokaiselle suurelle on olemassa omat mittausanturinsa, mutta yleisesti käytetään kiihtyvyysanturia, sillä sen ominaisuudet sopivat parhaiten kunnonvalvonnan mittauksiin. Kunnonvalvonnan mittalaitteet pystyvät muuntamaan kiihtyvyyden nopeudeksi analogisen sähköisen integraattorin avulla tai digitaalisella laskennalla aikatasosta tai taajuusspektristä [6.]

Jotta mittaustuloksia voidaan tulkita oikein, on suureiden lisäksi ymmärrettävä myös signaalista saatavat parametrit (kuva 4). Värähdysaika eli jakso on käänteisluku taajuudelle,  $1/\text{Hz}$ . Huippuarvolla tarkoitetaan aikatasosignaaliissa itseisarvoltaan korkeimman huipun vertaamista nollatasoon. Huipusta huippuun -arvo on suurimman ja pienimmän arvon erotus, ja se on noin kaksinkertainen huippuarvoon nähden. Tehollisarvo on osa värähtelyn sisältämää energiaa, ja siniaalille tehollisarvo saadaan laskettua  $0,707$  kertaa huippuarvo. Vaihekulma kertoo jaksossa olevan kohdan, johon vertailukohdasta edennyt värähtely on mennyt [5, s. 231.]

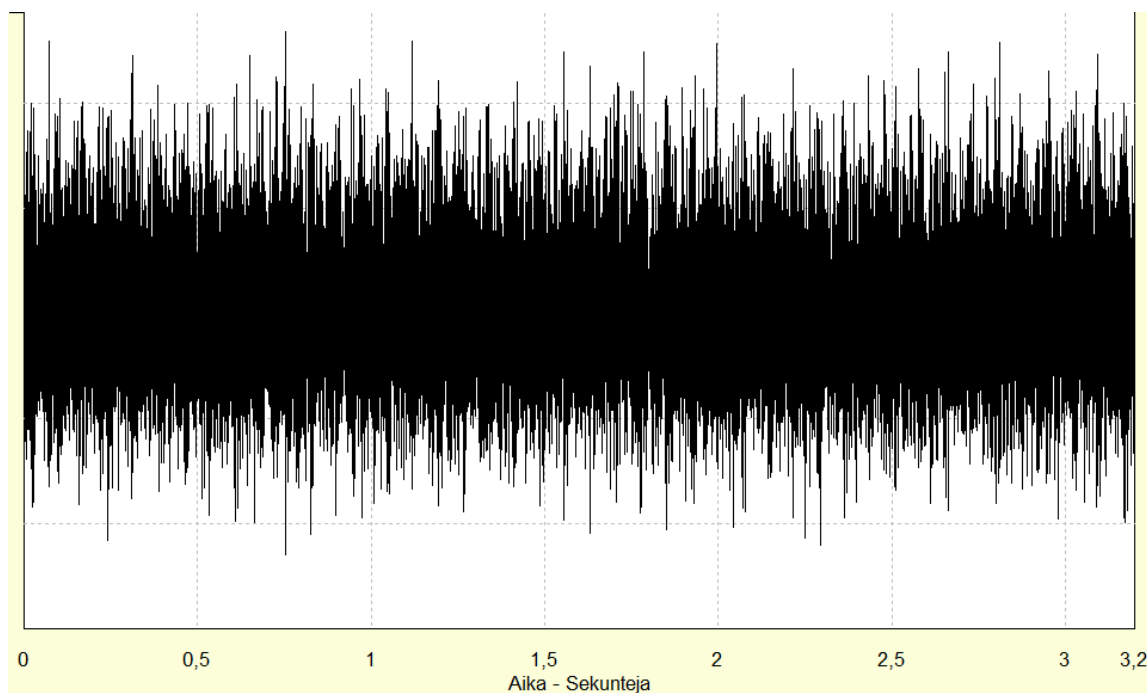


Kuva 4. Eri mittausparametrit [5, s. 231]

- $T$  on jakso eli värähdysaika
- $V_{p-p}$  on huipusta huippuun -arvo
- $V_p$  on huippuarvo
- $V_{rms}$  on tehollisarvo
- $\varphi$  on vaihekulma

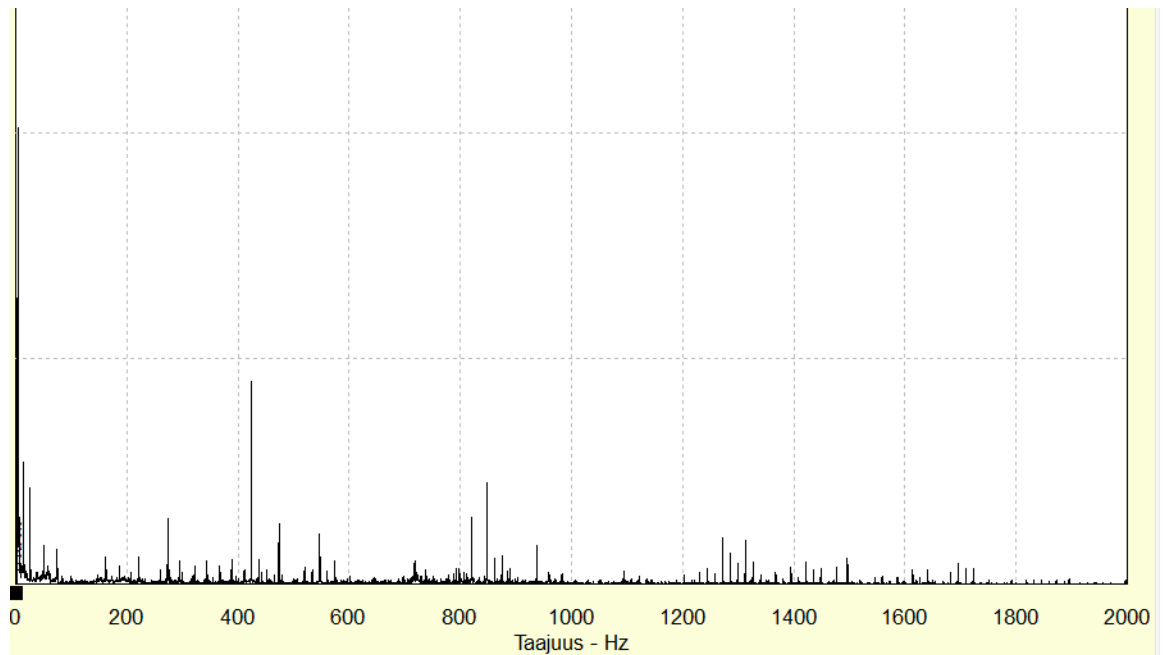
### 3.3.2 Aikataso ja FFT

Värähtelymittauksissa mitataan aina aikatasosignaali (kuva 5). Mittauksen jälkeen mittalaite käsittelee sen erilaisilla menetelmillä. Yleisin menetelmä on FFT eli Fourier-muunnos. Muunnoksen avulla saadaan taajuussisältö signaalista, jonka avulla pystytään selvittämään eri värähtelynlähteitä signaalista, kuten pyörimisnopeuksia ja vikataajuuksia [6.]



Kuva 5. Aikatasosignaali

Signaalissa on kaikki tieto värähtelystä, joko nopeutena, kiihtyvyytenä tai siirtymänä. Kun tämä signaali digitalisoidaan, saadaan yksittäisiä numeroarvoja tietyin aikavälein. Tätä kutsutaan näytteenottotaajuudeksi, jossa näytteiden lukumäärä kasvaa sekunneissa. Tämän tuloksena syntyy sarja numeroarvoja, jota kutsutaan aikatasoksi, jonka tiedonkerääjä tallentaa ja käyttää spektrin muodostamiseksi (kuva 6). FFT toimii parhaiten aikatasoilla, joissa signaalit ovat jaksollisia. FFT muodostaa näistä signaaleista siniaaltoja ja jokainen spektrissä oleva viiva edustaa siniaaltoja [6.]



Kuva 6. FFT:n avulla muodostettu spektri aikatasosignaalista

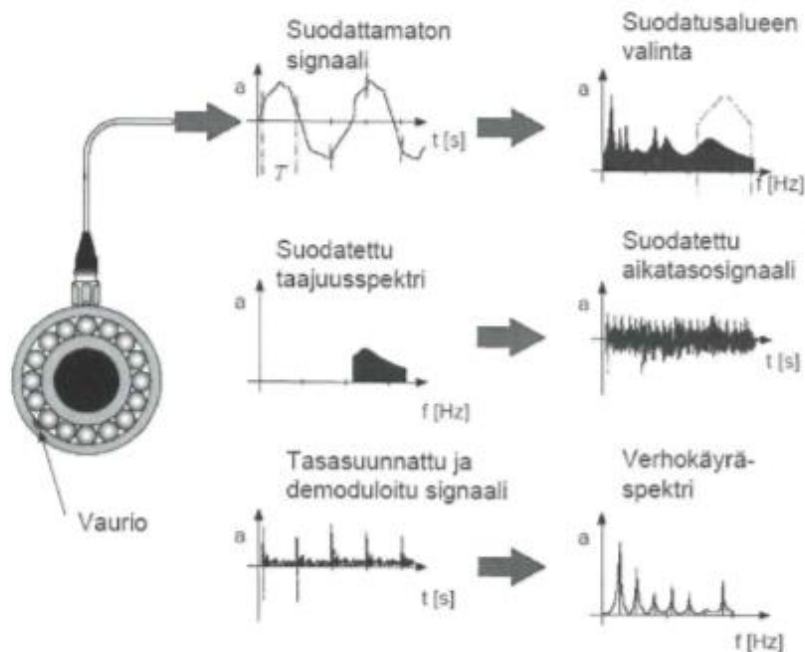
### 3.3.3 Verhokäyrä

Verhokäyräanalyysi on signaalinkäsittelymenetelmä, jolla erotetaan signaalista heikkotehoisia, säännöllisesti toistuvia komponentteja, joita on vaikea havaita tavallisella spektrimittauksella. Menetelmä perustuu amplitudimoduloituneen signaalin suodatus- ja demodulaatiotekniikkaan. Amplitudimodulaatiossa signaali kerrotaan toisella signaalilla, jolloin tuloksena syntyy uusia taajuuskomponentteja, jotka eivät sisälly kumpaankaan kerrottavista signaaleista. Modulaatioilmiön toista taajuutta nimitetään kantotaajuudeksi ja toista moduloivaksi taajuudeksi. Uusia syntyneitä taajuuskomponentteja nimitetään sivunauhoiksi [5, s. 220 – 221.]

Koneiden diagnostiikassa moduloivana taajuutena toimii vikataajuus ja kantotaajuutena korkeataajuinen värähtely, kuten ryntötaajuus tai vierintälaakerin ohitustaajuus. Usein vikataajuus on sidoksissa akselin pyörimistaajuuteen [5, s. 220 – 221.]

Verhokäyräanalyysin toimintaperiaate (kuva 7) on suodattamatonta laakerista mitattua aikatasosignaalia, joka sisältää laakerin alkavien vikojen aiheuttamia korkeataajuisia kasoja ohitustaajuudella. Signaalista suodatetaan näiden kasojen sisältämä taajuusalue, jolla sijaitsee laakerin

ominaistaajuus, jossa alkavien vikojen iskut ovat heränneet. Alkavien vikojen aiheuttamat impulssit voidaan mitata asettamalla ylipäästö- tai kaistanpäästösuodatin laakerin ominaistaajuuden ympärille. Suodattimella vahvistetaan alkavien vikojen aiheuttamia impulsseja. Impulssien vika-  
taajuuksien erottamiseksi kantotaajuudesta täytyy signaali tasasuunnata ja demoduloida. Tasa-  
suuntauksessa signaalista otetaan itseisarvo tai se korotetaan toiseen potenssiin ja demodulaatio  
suodattamalla korkeataajuisen värähtely pois signaalista. Tämän jälkeen signaali sisältää enää  
vain vikojen aiheuttamat impulssit. Lopuksi signaalille suoritetaan FFT -analyysi, jolloin saadaan  
laakerin vikataajuuskomponentit esille verhoikärspektriin [5, s. 220 – 221.]

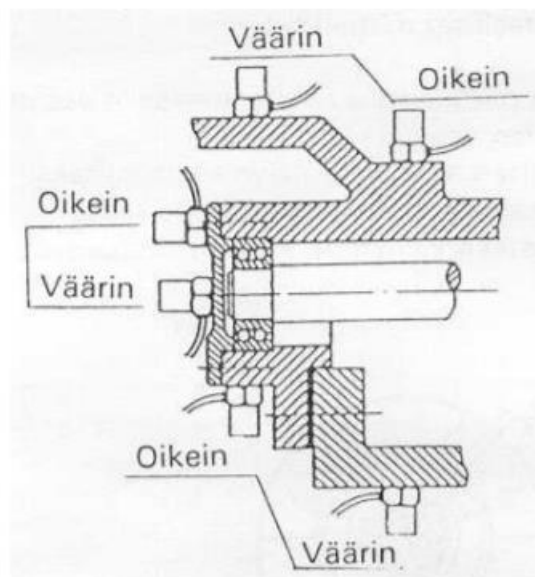


Kuva 7. Verhokäyräanalyysin periaate [5, s. 221]

## 4 Reittimittaus

### 4.1 Mittauspisteet

Mittauspisteet tulee valita siten, että värähtelylähde ja mittausanturi ovat mekaanisesti mahdollisimman lähellä toisiaan. Korkeataajuinen värähtely menettää osan energiastaan kohdatessaan rajapinnan. Tämän vuoksi mittauspiste tulee valita siten, että värähtelylähteen ja anturin välillä on mahdollisimman vähän rajapintoja (kuva 8) [7.] Reittimittauksessa käytetään nopeaa ja helppoa magneettikiinnitteistä anturia. Vaikka magneettikiinnitteinen anturi ei kiinnitykään kohteeseen niin hyvin kuin ruuvikiinnitteinen, saa sillä silti tarvittavasti tietoa laitteen kunnosta, kunhan mittauspiste on kunnollinen. Mikäli anturia ei kiinnitetä kunnolla, tulee mittausdatasta kelvotonta.



Kuva 8. Anturin paikat mitatessa [7]

### 4.2 Mittalaitteet

Värähtelymittalaitteita on kolme eri kategorialla:



- Kiinteät järjestelmät
- Puolikiinteät järjestelmät
- Kannettavat mittalaitteet.

Kiinteät järjestelmät koostuvat koneisiin asennetuista antureista, anturikaapeleista ja mittausyksiköistä. Kiinteää järjestelmää käytetään kohteissa, joissa vikaantumisnopeus ja häiriöherkkyys on suurta. Mittauksia voidaan suorittaa tarpeen tullen sekunnin välein tai muutaman minuutin välein. Mittaustiedot siirtyvät mittausyksiköstä eteenpäin digitaalisena, analogisena tai hälytysviestinä [3, s. 28.]

Puolikiinteät järjestelmät eroavat kiinteästä järjestelmästä siten, että mukaan vaaditaan kannettava mittalaite. Puolikiinteitä antureita asetetaan paikkoihin, joihin ei työturvallisuuden tai luoksepääsemättömyyden vuoksi pääse kannettavalla mittalaitteella. Puolikiinteässä järjestelmässä mittauskohteisiin asetetut kiinteät anturit johdetaan liitäntäyksikköön, johon kannettava mittalaite sitten yhdistetään [3, s. 29.]

Kannettavalla mittalaitteella kerätään mittaustulokset kentältä siirrettävän anturin avulla. Lisäksi sillä pystytään analysoimaan mittauksia suoraan kentällä käyttämällä analysointiin liittyviä työkaluja kuten kursoreita. Värähtelymittauksen lisäksi kannettavissa mittalaitteissa on usein myös lisäominaisuuksia, kuten iskukoe, tasapainotus, monikanavaisuus sekä signaalin nauhoitus [5, s. 260.] Tässä työssä olevat kohteet tullaan mittaamaan kannettavalla mittalaitteella (kuva 9).

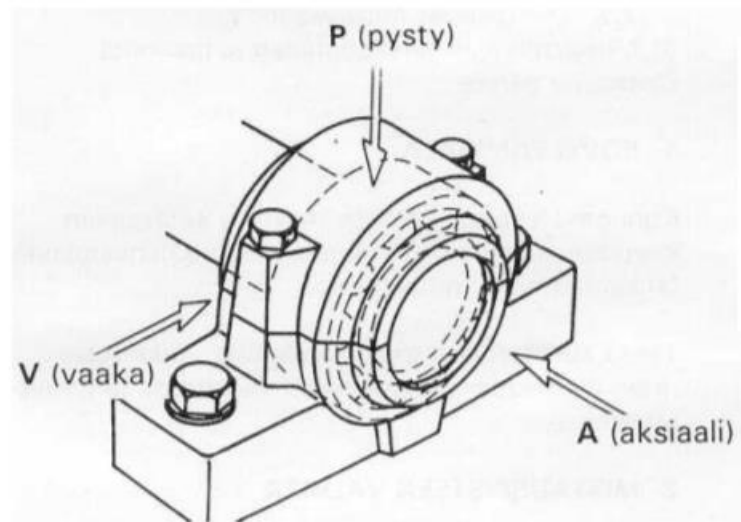


Kuva 9. SKF:n kannettava tiedonkeruulaite

#### 4.3 Mittauspaikkojen merkintä

Laitepaikka tulee varustaa selvällä ja yksinkertaisella tunnistamismenetelmällä. Laitepaikassa olevan koneen mittauspaikat numeroidaan voimansiirron kulkusuunnan mukaisesti [7]. Tämä tarkoittaa sitä, että mittaukset aloitetaan aina moottorin vapaasta päästä edeten moottoriin kytkökissä olevan laitteen loppupäähän. Mittauspaikkojen merkitseminen on tärkeää, sillä jokainen mittaus tulee suorittaa siitä kohti, johon paikka on merkitty. Tällöin mittausdatasta on helppo huomata laitteeseen tulevat poikkeamat. Mittaussuunnat tulee myös merkata mittauspaikkoihin, jotta tiedetään, minkä tyyppistä mittausta laitteelle halutaan suorittaa (kuva 10), sillä jotkin laitteet värähtelevät vain pystysuunnassa ja jotkin laitteet vaakasuunnassa. Aksiaalimittauksia käy-

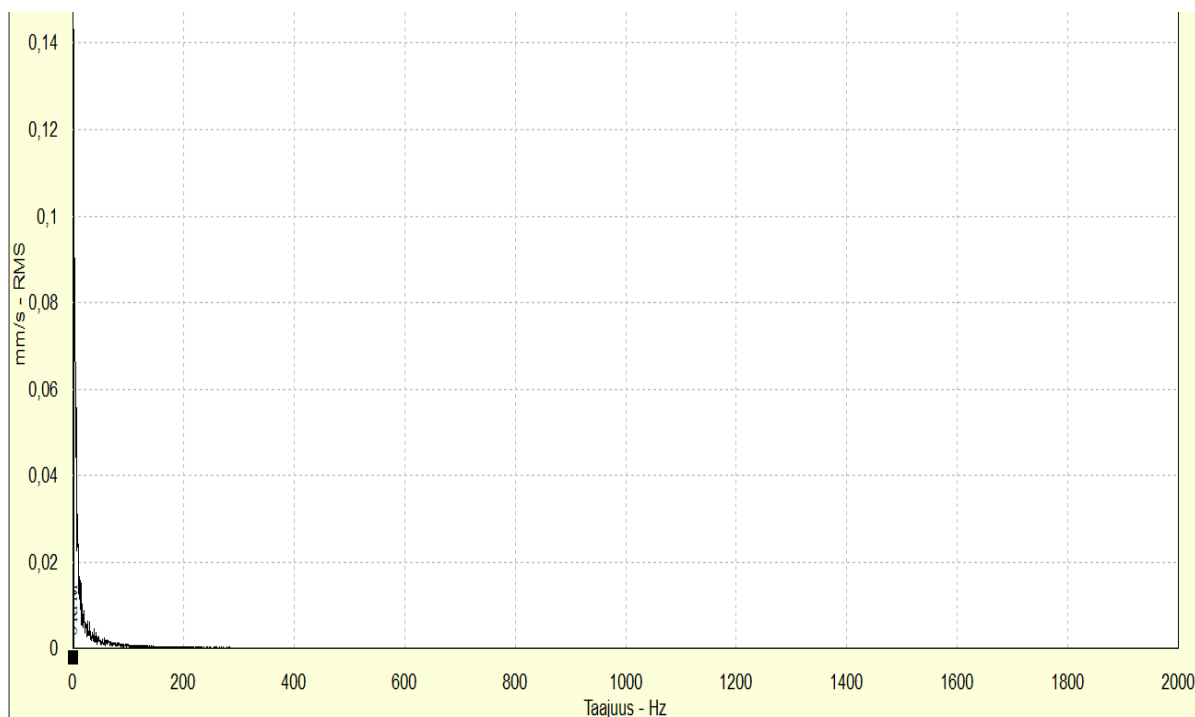
tetään lähinnä linjausvirheiden tarkastukseen. Huomioitavaa on, että kun mittaussuunta mittauspisteessä vaihtuu, tulee se mitata suunnan mukaisesti sille merkitystä paikasta. Tällöin puhutaan useammasta mittauspisteestä.



Kuva 10. Mittaussuunnat mittauspaikoissa [7]

#### 4.4 Kehnon datan tunnistaminen

Reittiä mitatessa kannettavalla tiedonkeruulaitteella on tärkeää osata tunnistaa kelvollinen data kelvottomasta datasta. Kelvoton data ilmenee mitatessa joko epämääräisenä aikatasosignaalinä tai hiihtorinneilmionä (kuva 11). Näitä ilmiöitä tavataan usein puolikiinteiden mittausten yhteydessä. Anturi on mahdollisesti jäänyt laittamatta takaisin paikalleen seisakin jälkeen, tai anturi on muuten vain ajan saatossa päässyt löystymään, aiheuttaen ylimääräistä tärinää. Kehnoa dataa esiintyy myös silloin, kun anturi asetetaan mittauspaikkaan. Antureilla on asettumisaika, ja mikäli asettumisaikaa ei odoteta loppuun, voi mittausdata näyttää mitä sattuu.



Kuva 11. Kehnon datan muodostama hiihtorinneilmiö

#### 4.5 Kenttähavainnot

Kenttähavainnointi on yksi tärkeimpiä asioita reittiä mitatessa. Havainnointia suoritetaan aistinvaraisin menetelmin, kuten tunnustelemalla ja kuuntelemalla. Ilman mitään poikkeavaa käytöstä ei laitteesta kannata ruveta etsimään vikoja analysoidessa, vaan vian pitää joko kuulua, näkyä tai tuntua. Mikäli laite käyttäytyy normaalista poikkeavalla tavalla, tulee mittaukset analysoida siinä tapauksessa tarkemmin ja selvittää, mistä vikaisuus johtuu. Esimerkiksi hitaasti pyörivissä laitteissa, kuten kuljettimien rummuissa, ulkokehäviat ovat yleisimpiä oireita vikaantumiselle. Koska rummut pyörivät yleensä noin 1 Hz luokkaa, voi ulkokehävian naputuksen tuntea selvästi. Mikäli mittauksissa havaitaan ulkokehävika, mutta sitä ei kädellä vielä pysty tuntemaan, ei kyseessä silloin ole vasta kuin alkava vika. Mikäli naputus muuttuu läpi-iskevän tuntuiseksi, alkaa laakeri olla vaihtokuntoinen.

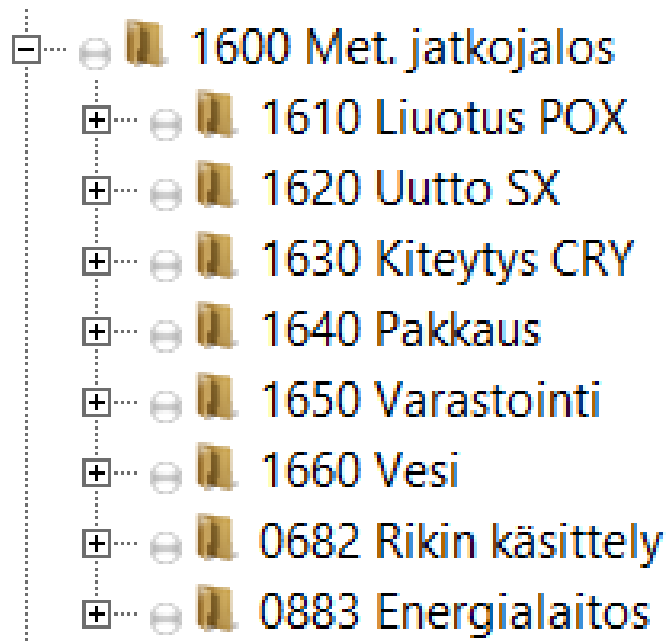
## 5 Toteutus

Tässä osiossa kerrotaan Terrafamelle tulevan akkukemikaalitehtaan laitekannan kunnonvalvonnasta. Koska tehdas on vielä rakenteilla, voidaan laitteisiin luoda mittaasetukset jo etukäteen valmiiksi tehtaan ylösajoa varten. Kunnonvalvonnan piiriin tulevia laitteita on satoja, ja joka ikinen näistä laitteista tullaan kirjaamaan analysointijärjestelmään. Tässä työssä olevat laitteet ovat sekoittimia, kuljettimia, puhaltimia ja pumppuja. Suurin osa laitteista on pumppuja tai puhaltimia, joten mittaasetuksia ja laakeritietoja voidaan kopioida samoille laitteille ajan säästämistä varten. Akkukemikaalitehdas koostuu kolmesta eri hallista, joissa kussakin on oma tuotantoprosessinsa. Nämä hallit ovat liuotus, uutto ja kiteytys. Tässä vaiheessa jokaisesta laitteesta ei ole olemassa vielä tarvittavia tietoja, joten tähän on koottu ne laitteet, joista on tiedot saatavissa.

Työ alkaa laitteiden lisäämisellä hierarkiaan. Laitteet nimetään ja niille annetaan tuotantoprosessiin liittyvät kuvaukset, sillä hierarkiassa täytyy olla laitteet mitta-valmiina, vaikka ne eivät mittareille tulisikaan. Tämän jälkeen, kun laitteet on luotu hierarkiaan, määritetään laitetietojen avulla mittapisteiden määrä, jonka jälkeen voidaan määrittää oikeat laakeritiedot mittapisteille. Laakeritiedot auttavat analysoinnissa selvittämään mahdolliset laakeriviat. Kun laakeritiedot on lisätty, lisätään nopeusmittauksille raja-arvot standardin mukaisesti turvallista käyttöä varten, jonka jälkeen mittapisteille asetaan mittaasetukset standardien mukaisesti, oikeiden mittaus-tuloksien saamista varten. Lopuksi kun kaikki laitteet ovat asetuksiltaan kunnossa, voidaan luoda laitteista mitta-reitit, jotka mitataan myöhemmin kannettavalla mittalaitteella. Lisäksi tässä työssä verhoikäyrästä käytetään nimitystä env. (envelope), mittaavan kunnossapito-osaston käytännön mukaisesti.

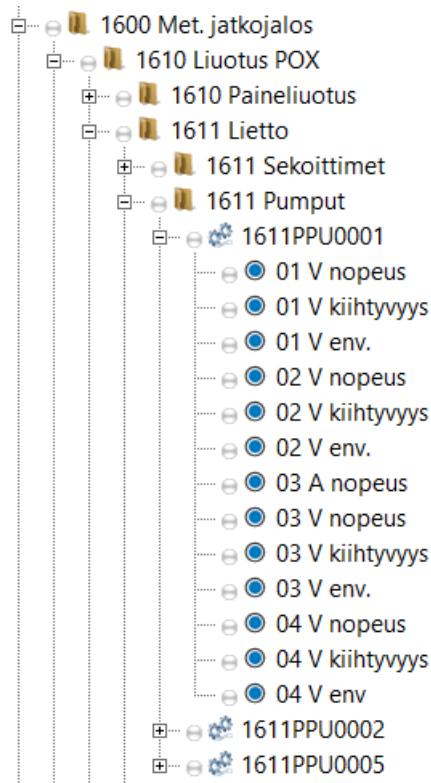
### 5.1 Laitteiden kokoaminen hierarkiaan

Kunnonvalvontasuunnitelman tekeminen aloitettiin lisäämällä metallien jatkojalostusosasto analysointijärjestelmän hierarkiaan. Hierarkia on pohja, johon kerätään kaikki alueen osastot ja siellä olevat mitattavat kohteet. Alueet on merkitty numeroilla, joten järjestelmällinen nimeämiskäytäntö oli helppo toteuttaa (kuva 12). Kun alueet oli asetettu, voitiin alueiden alle asettaa alueosastot. Alueosastojen alle asetettiin niille kuuluvat laitteet.



Kuva 12. Akkukemikaalitehtaan alueen osastot

Laitteiden nimeämiseen käytettiin yksinkertaista tapaa (kuva 13). Numerointi alussa kertoo osaston, jossa laite sijaitsee. Kirjainlyhenne kertoo, mikä laite on kyseessä, ja lopussa oleva numerointi kertoo laitteen sijainnin tuotannossa. Lopussa olevan numeroinnin ensimmäinen numero kertoo, millä linjalla laite sijaitsee, mikäli samaa tuotetta ajetaan useammalla linjalla. Esimerkiksi 1002 tarkoittaa ykköslinjan kakkospumppua.



Kuva 13. Osastoissa olevat laitteet

## 5.2 Mittauspisteiden asettaminen

Kun laitteet mittauskohteineen oli saatu laitettua hierarkiaan, oli sen jälkeen vuorossa mittauspisteiden asettaminen. Nämä asetettiin siten, että laitteet saataisiin mitattua mahdollisimman kattavasti, jotta vikoihin päästään paremmin kiinni. Kokonaisuutena mittauskohteet sisälsivät moottorin, joko puhaltimen tai pumpun laakerointiyksikön tai sekoittimen tai kuljettimen vaihdelaatikon.

Pumpuille mittauspisteitä asetettiin koosta tai mallista riippuen neljä tai viisi, moottorille kaksi ja laakerointiyksikölle kolme. Pienimpien pumpppujen laakerointiyksikölle ei tarvinnut asettaa juoksupyörän laakerille mittauspistettä, sillä kytkimen puoleisesta laakerista saadaan mitattua koko laakerointiyksikkö kattavasti. Moottorin ja pumpun välissä voi olla myös vaihdelaatikko, jolloin mittauspisteet määräytyvät vaihdelaatikon mukaisesti. Jokaiselle mittauspisteelle annettiin kuvaus, joka kertoo mittauspaikan kohdan, josta mittaus tullaan suorittamaan (kuva 14).

Nimi /	Kuvaus	Hälytykset	Sijai...
01 V kiihtyvyys	Moottori N-pää vaaka kiiht.	Hyvä	2
01 V nopeus	Moottori N-pää vaaka nopeus	Hyvä	1
02 V env.	Moottori D-pää vaaka env.	Hyvä	5
02 V kiihtyvyys	Moottori D-pää vaaka kiiht.	Hyvä	4
02 V nopeus	Moottori D-pää vaaka nopeus	Hyvä	3
03 A nopeus	Pumppu kytkin puoli aks. nopeus	Hyvä	6
03 V env.	Pumppu kytkin puoli vaaka env.	Hyvä	9
03 V kiihtyvyys	Pumppu kytkin puoli vaaka kiiht.	Hyvä	8
03 V nopeus	Pumppu kytkin puoli vaaka nop.	Hyvä	7
04 V env	Juoksupyörän pää vaaka env.	Hyvä	12
04 V kiihtyvyys	Juoksupyörän pää vaaka kiiht.	Hyvä	11
04 V nopeus	Juoksupyörän pää vaaka nopeus	Hyvä	10

Kuva 14. Pumpun mittauspisteet ja niiden kuvaukset

Puhaltimille asetettiin mittauspisteitä kolme tai kuusi riippuen siitä, tuliko puhaltimen siipipyörä moottorille suoraan vaiko laakerointiyksiköllä. Laakerointiyksiköllä varustetuille puhaltimille asetettiin puhaltimen kytkinpään laakerille vielä kiihtyvyys- ja verhoikämittaukset, johtuen puhaltimien suurista pyörimisnopeuksista (kuva 15).



Nimi /	Kuvaus	Hälytykset	Sijai...
01 V kiihtyvyys	Moottori N-pää vaaka kiiht.	Hyvä	2
01 V nopeus	Moottori N-pää vaaka nopeus	Hyvä	1
02 A nopeus	Moottori D-pää aks. nopeus	Hyvä	6
02 V env.	Moottori D-pää vaaka env.	Hyvä	5
02 V kiihtyvyys	Moottori D-pää vaaka kiiht.	Hyvä	4
02 V nopeus	Moottori D-pää vaaka nopeus	Hyvä	3
03 A env	Puhallin kytkinpää aks. env.	Hyvä	12
03 A kiihtyvyys	Puhallin kytkinpää aks.kiiht.	Hyvä	11
03 A nopeus	Puhallin kytkinpää aks. nopeus	Hyvä	10
03 V env	Puhallin kytkinpää vaaka env.	Hyvä	9
03 V kiihtyvyys	Puhallin kytkinpää vaaka kiiht.	Hyvä	8
03 V nopeus	Puhallin kytkinpää vaaka nop.	Hyvä	7
04 V env	Puhallin siivenpää vaaka env.	Hyvä	15
04 V kiihtyvyys	Puhallin siivenpää vaaka kiiht.	Hyvä	14
04 V nopeus	Puhallin siivenpää vaaka nopeus	Hyvä	13

Kuva 15. Laakerointiyksiköllä olevan puhaltimen mittapisteet ja niiden kuvaukset

Sekoittimien ja kuljettimien vaihdelaatikoille asetettiin kahdeksan mittapistettä, sillä periaate mittauksissa on näillä sama. Vaihdelaatikon mittauspisteiden määrä riippui vaihdelaatikossa olevien väliakselien määrästä. Vaihdelaatikot mitataan väliakselien välistä siten, että mittaus tapahtuu jokaisen rynnön kohdalla. Näin pystytään paikantamaan mahdolliset vauriot hammas-  
tuksessa (kuva 16).

Nimi	Kuvaus	Hälytykset
01 V env.	Moottori N-pää	Hyvä
01 V kiihtyvyys	Moottori N-pää	Hyvä
01 V nopeus	Moottori N-pää	Hyvä
02 A nopeus	Moottori D-pää	Hyvä
02 V env.	Moottori D-pää	Hyvä
02 V kiihtyvyys	Moottori D-pää	Hyvä
02 V nopeus	Moottori D-pää	Hyvä
03 A nopeus	Vaihde ensiö	Hyvä
03 V env.	Vaihde ensiö	Hyvä
03 V kiihtyvyys	Vaihde ensiö	Hyvä
03 V nopeus	Vaihde ensiö	Hyvä
04 A env.	Vaihde ensiö/1va	Hyvä
04 A kiihtyvyys	Vaihde ensiö/1va	Hyvä
04 A nopeus	Vaihde ensiö/1va	Hyvä
06 A env.	Vaihde 1va/2va	Hyvä
06 A kiihtyvyys	Vaihde 1va/2va	Hyvä
06 A nopeus	Vaihde 1va/2va	Hyvä
08 A env	Vaihde 2va/toisio	Hyvä
08 A kiihtyvyys	Vaihde 2va/toisio	Hyvä

Kuva 16. Vaihdelaatikon mittauspisteet ja niiden kuvaukset mittausreitillä

Hierarkiaan luotiin myös vaihdelaatikoiden toiselle puolelle mittauspisteet 05, 07 ja 09. Nämä asetettiin sillä tarkoituksella, jos vaihdelaatikoita täytyy mitata joskus tarkemmin. Reittimittauksen aikana ei vaihdelaatikkoa mitata kuin toiselta puolen, johtuen luoksepääsemättömyydestä sekä työturvallisuusasioista (kuva 17).



Kuva 17. Moottorin ja vaihdelaatikon mittapisteiden mittapaikat

### 5.3 Laakeritietojen asettaminen

Kun mittapisteeet oli asetettu, täytyi sen jälkeen jokaiselle mittapisteelle asettaa omat laakeritietonsa. Laakeritietojen lisääminen aloitettiin luomalla laitteille eli moottoreille, laakerointiyksiköille ja vaihdelaatikoille omat taajuusryhmänsä. Taajuusryhmällä tarkoitetaan ryhmää, joka sisältää mitattavan laitteen laakeritiedot, kuten esimerkiksi vaihdelaatikossa kaikkien väliakselien laakeritiedot. Ryhmät nimettiin laitteiden valmistajien sekä koon mukaisesti. Taajuusryhmän nimeämisen jälkeen täytyi valita laakerien valmistaja, joka tässä työssä oli yleensä SKF. Laitetiedoista etsittiin laakerin malli, joka syötettiin Etsi laakeri- kenttään. Sen jälkeen lisättiin oikeat laakerit taajuusryhmään (kuva 18). Taajuusryhmä tallennettiin tämän jälkeen, jolloin se voitiin valita suoraan samanlaiselle laitteelle.

Taajuusryhmien editori

Yleinen Laakerit Muut

Valmistaja: SKF

Etsi laakeri: Etsi

Ryhmään sisällytetyt laakerit

7308BECBM (SKF)
NU307E (SKF)

Saatavilla olevia laakereit (Malli #):

.1
.2
.3
.4
0000\example
02800
1/2X351571
10401
10401FTN9

Jätä pois >> <<Sisällytä

Perusteet:

BPFO:	BSF:
BPFI:	FTF:

Lisää... Muokkaa... Poista

OK Peruuta Ohje

Kuva 18. Laakereiden valitsemista

Jokaisella laakerityypillä on omat ulko- ja sisäkehän, rullan ja pitimen ohitustaajuudet (kuva 19). Siksi olikin tärkeää, että kohteille valittiin oikeanlaiset laakerit, sillä ohitustaajuuksien näkyminen spektreissä on suoraan verrannollinen pumpun pyörimisnopeuteen. Esimerkiksi jos kuvan 19 laakeritiedoilla olevassa pumpussa olisi ulkokehävika kytkimen puoleisella laakerilla ja pumpun pyörimisnopeus olisi 25 Hz, näkyisi ulkokehän ohitustaajuuden ensimmäinen piikki noin 111 Hz taajuudella ( $25 \text{ Hz} \times 4,46$ ).

Taajuusryhmä:

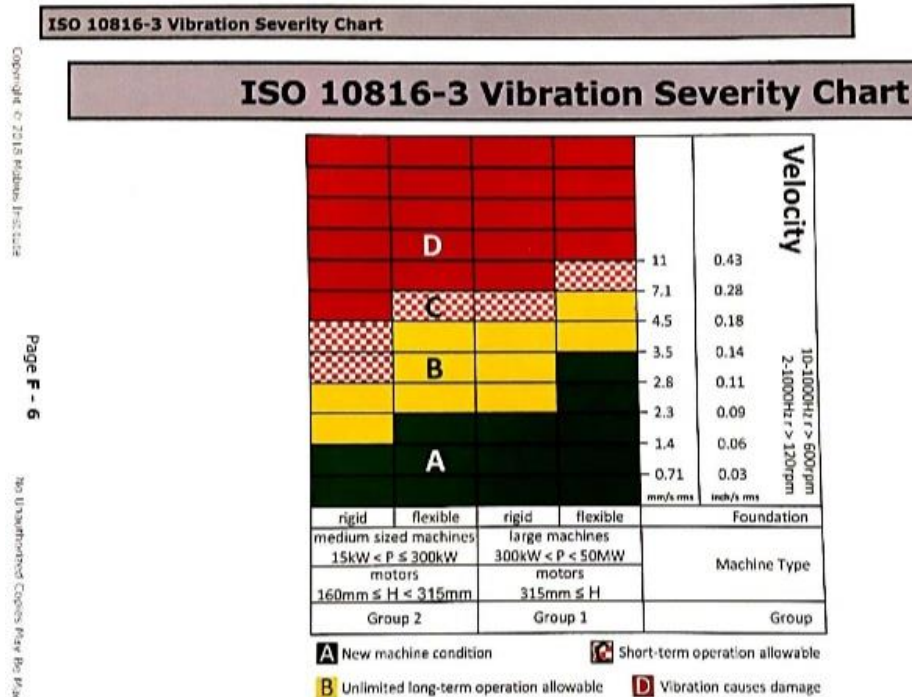
Sisällytetyt taajuudet:

Nimi /	Tyyppi	Yksityiskohdat
7310BECBM (...)	Laakeri	BPFO 4,461605, BPFI 6,538395, BSF 1,956416, FTF 0,4056
NU309E (SKF)	Laakeri	BPFO 5,173469, BPFI 7,826531, BSF 2,347959, FTF 0,397959

Kuva 19. Taajuusryhmä sisältäen laakereiden ohitustaajuuksien kerrannaiset

#### 5.4 Raja-arvojen määrittely

Värähtelyiden raja-arvot määritettiin laitteille niiden kunnossa tapahtuvien muutosten vuoksi, sillä mikään laite ei kestä liiallista värähtelyä. Jokaiselle nopeusmittaukselle asetettiin kaksi hälytysrajaa, varoitusraja (keltainen) ja vaurioraja (punainen). Varoitusrajan ylittyessä täytyy kunnonvalvontaa tehostaa ja selvittää, mistä liiallinen värähtely johtuu. Vauriorajan ylittyessä alkavat laitteet vaurioitumaan ja niiden korjaaminen täytyy aloittaa niin pian kuin mahdollista. Hälytysrajat määritettiin laitteen koon sekä joustavan tai jäykän kytkimen mukaisesti (kuva 20). Hälytysrajat voivat kuitenkin muuttua, kun laitteita päästään mittaamaan, jolloin saadaan seurantatrendiin värähtelyarvoja. Näistä arvoista lasketaan keskiarvot ja niiden mukaan asetetaan mahdollisesti uudet hälytysrajat, sillä jotkin laitteet kestävät yli laitettujen arvojen verran värähtelyä, jos laitevalmistaja on niin ilmoittanut.



Kuva 20. ISO 10816-3 -standardi värähtelyjen raja-arvoille [9]

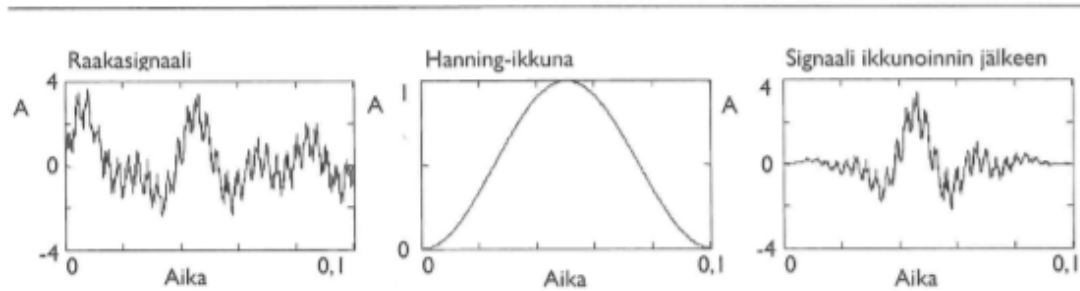
### 5.5 Mittausasetuksien asettaminen

Jotta mittaukset olisivat analysointikelpoisia, täytyi mittausasetukset asettaa oikein. Mittausasetukset ovat edellytys sille, että mittausdata on luotettavaa ja vikoja voidaan havaita mittauksista. Väärät mittausasetukset voivat johtaa virheellisiin johtopäätöksiin. Oikeita mittausasetuksia varten vaihteille käytettiin PSK 5719- standardia. Spektriviivojen käytettävä lukumäärä analysointiohjelmassa on vakio, alkaen 100 viivasta ja loppuen 25600 viivaan. Integraali erottaa aikatasosignaalia kaikkii taajuuksilla pyörivät komponentit, ja mittalaitteissa näistä signaaleista erotettuja taajuuksia kutsutaan spektriviivoiksi [5, s. 193]. Viivamäärää käytettiin resoluution parantamiseksi, ja ne ovat verrannollisia aikatason pituuteen. Mitä enemmän viivoja, sitä pidempi aikataso.

Hanning ikkunointia käytettiin resoluution laskemista varten, koska FFT -laskenta olettaa aikamuodon olevan päättymätön. Ikkunoinnilla muutettiin aikataallenteiden muotoa pakottaen niiden

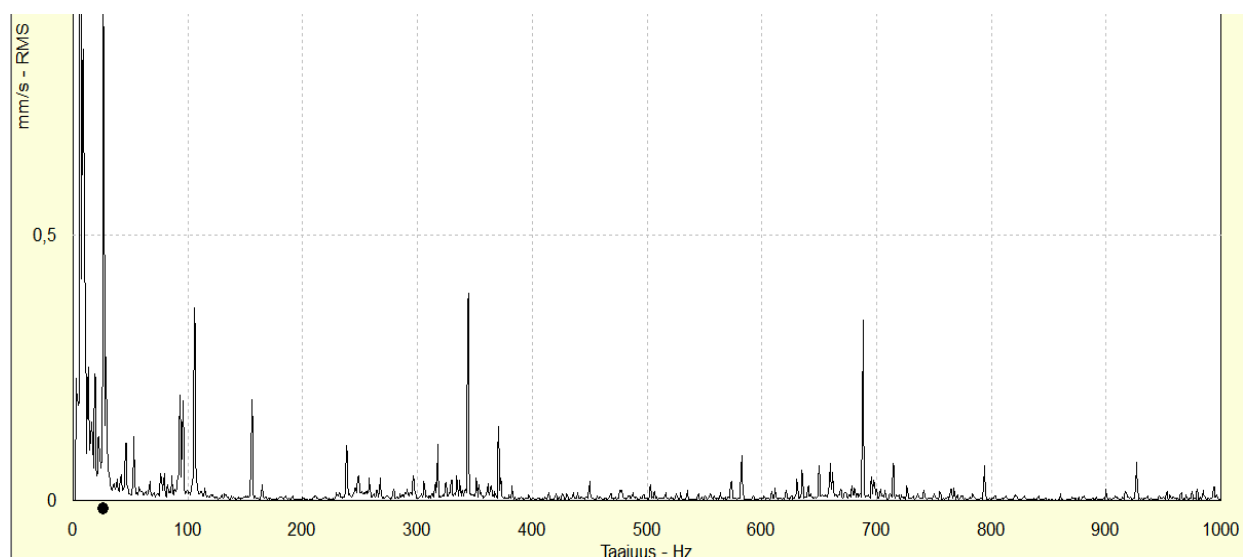


alku- ja loppuosat nolaksi (kuva 21) [5, 271]. Tämä on yleisin mittaasetuksissa käytetty ikkunointi. Ikkunointi kuitenkin vaikutti heikentävästi erotuskykyyn, sillä Hanning ikkunan kerroin on 1,5.

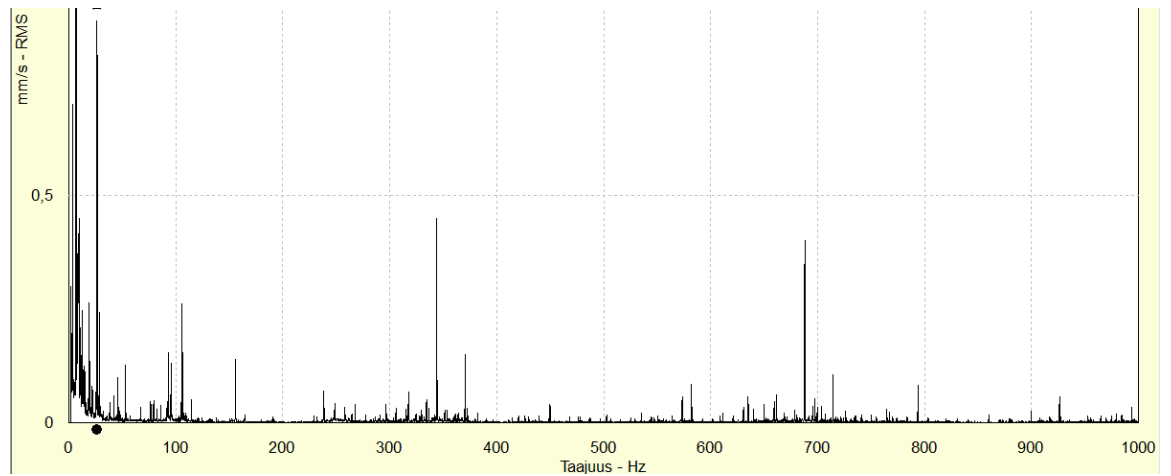


Kuva 21. Hanning ikkunan vaikutus aikatasossa [5, s. 272]

Resoluutiolla tarkoitetaan spektrin tarkkuutta eli sitä, mikä on spektriviivojen välinen etäisyys spektrissä. Resoluution tarkkuus laskettiin ylärajataajuus jaettuna viivamäärällä kertaa ikkunointikerroin 1,5. Aikaisemmin Terrafamella käytettiin spektreissä vähimmäisvaatimusten mukaisia viivamääriä (kuva 22). Tietotaidon lisääntyessä alettiin resoluutioita spektreissä tarkentaa lisäämällä viivamääriä (kuva 23). Näistä huomattiin ero välittömästi, sillä esimerkiksi vaihdelaatikon hammastuksen kulumisen näkyy spektrissä ryntötaajuuden sivunauhoina. Mikäli resoluutio on suurempi kuin väliakselin pyörimisnopeus, jää sivunauhat pois kokonaan tai osittain.



Kuva 22. Spektri 1600 viivalla



Kuva 23. Spektri 6400 viivalla

#### 5.5.1 Sähkömoottorit

Sähkömoottoreiden mittausasetukset (taulukko 1) asetettiin 1200 - 2400 rpm pyörimisnopeuden perusteella, lisäten spektriviivojen lukumääriä nopeudelle (mm/s) 6400, kiihtyvyydelle (g) 12800 ja verhokäyrälle (gE3) 6400.

Konetyyppi ja pyörimisnopeus	Yksikkö	Alku-taajuus [Hz]	Alaraja-taajuus [Hz]	Loppu-taajuus [Hz]	Tallennus	Keski-arvojen lkm	Spektri-viivojen lkm	Ilmaisu
SÄHKÖMOOTTORIT 300-1200 RPM	mm/s	0	2	1000	FFT&Aika	4	1600	RMS
	g	0	2	3000	FFT&Aika	2	3200	RMS
	gE3	0	0	1000	FFT&Aika	1	1600	Huippu
SÄHKÖMOOTTORIT 1200-2400 RPM	mm/s	0	2	1000	FFT&Aika	4	1600	RMS
	g	0	5	5000	FFT&Aika	2	6400	RMS
	gE3	0	0	1000	FFT&Aika	1	1600	Huippu
SÄHKÖMOOTTORIT YLI 2400 RPM	mm/s	0	10	2000	FFT&Aika	4	3200	RMS
	g	0	10	5000	FFT&Aika	2	6400	RMS
	gE3/gE4	0	0	2000	FFT&Aika	1	3200	Huippu

Taulukko 1. Sähkömoottorien mittausasetukset [10]



### 5.5.2 Pumput ja puhaltimet

Pumppujen ja puhaltimien mittaussasetukset (taulukko 2) asetettiin samalla tavalla kuin sähkömoottoreille, sillä tämän työn puhaltimissa ja pumpuissa on välissä vain kytkin, jolloin pyörimisnopeus ei muutu koko aikana.

Konetyyppi ja pyörimisnopeus	Yksikkö	Alku-taajuus [Hz]	Alaraja-taajuus [Hz]	Loppu-taajuus [Hz]	Tallennus	Keski-arvojen lkm	Spektri-viivojen lkm	Ilmaisu
PUHALTIMET, PUMPUT JA KOMPRESSORIT 300-1200 RPM	mm/s	0	2	1000	FFT&Aika	4	1600	RMS
	g	0	2	3000	FFT&Aika	2	3200	RMS
	gE3	0	0	1000	FFT&Aika	1	1600	Huippu
PUHALTIMET, PUMPUT JA KOMPRESSORIT 1200-2400 RPM	mm/s	0	5	1000	FFT&Aika	4	1600	RMS
	g	0	5	3000	FFT&Aika	2	3200	RMS
	gE3	0	0	1000	FFT&Aika	1	1600	Huippu
PUHALTIMET, PUMPUT JA KOMPRESSORIT YLI 2400 RPM	mm/s	0	10	2000	FFT&Aika	4	3200	RMS
	g	0	10	*) 5000	FFT&Aika	2	*)6400	RMS
	gE3 /gE4	0	0	2000	FFT&Aika	1	3200	Huippu

Taulukko 2. Pumppujen ja puhaltimien mittaussasetukset [10]

#### Sekoittimien ja kuljettimien vaihteet

Vaihdelaatikoiden mittaussasetuksissa tuli ottaa huomioon väliakselien eri pyörimisnopeudet. Pyörimisnopeudet laskettiin vaihteen hammastuksen mukaisesti (taulukko 3). Pyörimisnopeuksien laskemisen jälkeen täytyi joka portaalle laskea niiden ryntötaajuudet sekä kierrosajan pituudet. Ryntötaajuutta käytettiin lopputaajuuden ( $F_{\max}$ ) laskemista varten ja kierrosajan pituutta käytettiin aikatazon pituuden laskemista varten.

Porras	Hammasluvut z	Pyörimisnopeus Hz	Ryntötaajuus Hz	Kierrosaika s
Ensiöakseli	37/18	25 Hz	25 Hz x 18 z = 450 Hz	1 / 25 Hz = 0,04s
1. väliakseli	90/20	450 Hz / 37 z = 12,16 Hz	12,16 Hz x 20 z = 243,2 Hz	1 / 12,16 Hz = 0,08s
2. väliakseli	73/19	243,2 Hz / 90 z = 2,7 Hz	2,7 Hz x 19 z = 51,3 Hz	1 / 2,7 Hz = 0,37s
Toisioakseli		51,3 Hz / 73 z = 0,7 Hz		1 / 0,7 Hz = 1,4s

Taulukko 3. Vaihdelaatikon väliakselien nopeuksien laskeminen

Kun vaihteen akselin nopeudet oli saatu laskettua, voitiin mittausasetuksien laskeminen aloittaa. Jokainen mittaussuure täytyi laskea omalla tavallaan (taulukko 4). Tätä varten tarvittiin tiedot ryntötaajuuksista, sillä ryntötaajuuden tulee näkyä nopeusmittauksissa vähintään kolme kertaa ylärajataajuutta laskiessa. Tämän vuoksi käytettiin standardin mukaista 3,25- kerrannaista. Kiihtyvyyssmittausten asetukset asetettiin nopeusmittauksien arvot kertaa kaksi. Verhokäyrän ylärajataajuus laskettiin pyörimisnopeus kertaa 50 [11]. Näistä saadut arvot eli ylärajataajuuden vähimmäismäärät ( $F_{\min}$ ) pyöristettiin lähimpään tasalukuun ( $F_{\max}$ ). Tämän jälkeen asetettiin keskiarvot, alarajataajuudet ja verhokäyrien suodattimet standardien mukaisesti. Huomioitava oli, että aikatazon pituus tuli laskea hitaamman väliakselin pyörimisnopeuden mukaisesti ja ylärajataajuudet nopeamman väliakselin mukaisesti.

Kun kaikkien suureiden ylärajataajuudet oli saatu laskettua, oli vuorossa viivamäärien asettaminen. Tätä varten tarvittiin akseleiden kierrosajat, jotka kertoivat kuinka pitkä aikatazon pitää olla. Tämä laskettiin kertomalla kierrosaika viidellä. Tuloksena oli vähimmäispituus mittauksen kestolle. Sopivat viivojen lukumäärät saatiin kokeilemalla. Koska viivojen lukumäärät analysointiohjelmassa olivat jo valmiina, voitiin laskemalla hakea viivojen vähimmäismäärä. Laskennallisesti 400 viivaa jaettiin ylärajataajuudella eli 1500 Hz, jolloin tulokseksi saatiin 0,26 s aikatazon kestolle, mikä olisi tässä tapauksessa riittävä viivamäärä. Mutta koska haluttiin parempi resoluutio spektrille, asetetaan viivojen lukumääräksi 6400, jolloin aikatazon pituudeksi tuli noin 4,3 s. Tätä menetelmää käyttäen asetettiin mittausasetukset lopuillekin väliakseleille.

			Laskennalliset vaatimukset						Asetettavat mittausasetukset
Suure	Porras	Aikatason pituus	Fmin	Fmax	Viivojen lukumäärä	Keskiarvostus	Alarajataajuus	Suodatin	Viivojen lukumäärä
Nopeus	Ensiöakseli	5 x 0,04s = 0,2s	3,25 x 450 Hz = 1462,5 Hz	1500	400	4	2		6400
Kiihtyvyys			2 x 1462,5 Hz = 2925 Hz	3000	800	2	2		12800
Verhokäyrä			50 x 25 Hz = 1250 Hz	1300	400	1	0	3	6400
Nopeus	1. Väliakseli	5 x 0,08s = 0,4s	3,25 x 243,2 Hz = 790,4 Hz	800	400	4	2		3200
Kiihtyvyys			2 x 790,4 Hz = 1580,8 Hz	1600	800	2	2		6400
Verhokäyrä			50 x 12,16 Hz = 608 Hz	700	400	1	0	3	3200
Nopeus	2. Väliakseli	5 x 0,37 Hz = 1,9s	3,25 x 51,3 Hz = 166,8 Hz	200	400	4	2		1600
Kiihtyvyys			2 x 166,8 Hz = 333,6 Hz	400	800	2	2		3200
Verhokäyrä			50 x 2,7 Hz = 135 Hz	200	400	1	0	3	1600
Nopeus	Toisioakseli	5 x 1,4 Hz = 7,1s	166,8 Hz	200	1600	4	2		1600
Kiihtyvyys			333,6 Hz	400	3200	2	2		3200
Verhokäyrä			50 x 0,7 Hz = 35 Hz	100	800	1	0	3	800

Taulukko 4. Mittausasetukset eri vaihdelaatikon väliakseleille

Lopuksi kun kaikkien laitteiden mittausasetukset oli saatu laskettua mittaussuureille, asetettiin ne jokaista mittaussuuretta edustavalle mittapisteelle (kuva 24).

Täysnäyttö:  mm/s
Ilmaisu:

Herk. mV/EU: 
☒ Ota ICP käyttöön

Taajuustyyppi: 
Viivoja:

Tallenna tiedot: 
Ikkuna:

Alkutaajuus:  Hz
Tallennusehto:

Lopputaajuus:  Hz
Nopeus:  RPM

Alarajataajuus:  Hz
Keskiarvot:

Pulssia/Rev: 
Keskiarvotus:

Lin. kerroin: 
Lin. nop.yksikkö:

Nopeusreferenssi merkki

Piste:  Valitse...

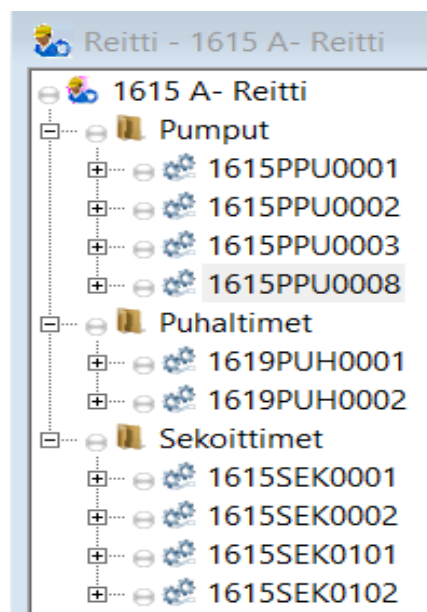
Suhde:

Kuva 24. Mittausasetuksien asetus analysointiohjelmaan

## 5.6 Mittausreitit luonti

Mittausreitit luominen akkukemikaalitehtaalle suunnitellaan tuotantoprosessia ajatellen jokaiselle mitattavalle kohteelle. Reitit suunnitellaan siten, ettei eri hallien välillä tarvitse liikkua kohteiden perässä, vaan joka hallille luodaan omat reitit. Halleissa olevan prosessin perusteella voidaan kartoittaa kohteiden kriittisyys tuotannon sekä häiriöherkkyyden kannalta. Kohteet, joissa on kiinteä valvontajärjestelmä, eivät myöskään tarvitse niin tiheää mittausväliä kuin laitteet, jotka mitataan kannettavalla mittalaitteella, vaikka ne olisivatkin tuotannon kannalta yhtä kriittisiä kohteita.

Hallien reitit jaetaan kirjaimin A, B ja mahdollisesti C reitteihin, A:n ollessa kriittisin. Näin mittausvälit pystytään jaksottamaan siten, ettei päällekkäisyyksiä tapahdu ja jokainen laite saadaan mitattua säännöllisin väliajoin. Kun laitteet on saatu luokiteltua kriittisyysluokkiinsa, on vuorossa sen jälkeen reitin järjestyksen tekeminen. Reitit järjestys suunnitellaan siten, että reitti ehditään mitata sekä analysoinnit pystytään suorittamaan samana päivänä. Koska akkukemikaalitehdas on tällä hetkellä vielä rakenteilla, havainnollistettiin mittausreitti kuvaan 25. Reitti tulee sisältämään sekoittimia, kuljettimia, puhaltimia ja pumppuja. Koska sekoittimet sijaitsevat reaktoreissa, tulee myös samalla mitata reaktoreille kuuluvat pumput, sillä nämä ovat tuotannon kannalta yhtä kriittisiä.



Kuva 25. Esimerkki mittausreitistä

## 6 Yhteenveto

Kunnonvalvonta on tärkeä osa kunnossapitoa. Kunnonvalvonnan avulla valvotaan laitteiden kuntoa säännöllisesti ja voidaan määrittää vikaantuneille laitteille huoltoajankohdat seisakkeja ajatellen. Terrafamen kokoisessa tuotantolaitoksessa kunnonvalvonnan alla on paljon laitteita, ja jos kunnonvalvonta ei kohdeyrityksessä toimisi, saatettaisiin laitteilla ajaa viasta huolimatta niin kauan, kunnes laite särkyy. Tämä aiheuttaisi rikkoutuessaan pahimmillaan yllättävän tuotantokatkon, johon ei ole osattu varautua. Korjauksiin voi mennä useampi päivä, ja Terrafamen kokoisessa tuotantolaitoksessa se kävisi erittäin kalliiksi.

Tämän työn tarkoituksena oli luoda toimiva kunnonvalvontasuunnitelma Terrafamen tulevan akkukemikaalitehtaan laitteille. Koska tässä vaiheessa työtä käsiteltiin vain osa laitteiden todellisesta määrästä, tulen jatkamaan tämän suunnitelman loppuun viemistä opinnäytetyön jälkeen. Ennen opinnäytetyön aloittamista olin toiminut itse kunnonvalvontamittaajana noin kaksi vuotta, joten aihe ei sinänsä ollut kokonaan uutta. Opinnäytetyön aikana kuitenkin opin rakentamaan laitekantaa hierarkiaan sekä määrittämään mittaasetuksia, sillä ennen opinnäytetyön aloittamista olin tehnyt vain reittimittauksia ja analysoinut mittaustuloksia.

Opinnäytetyön tekemiseen sain vapaat kädet, joten on mielenkiintoista sitten nähdä, kuinka suunnitelma tulee toimimaan sitten, kun akkukemikaalitehtaalla aloitetaan koeajot.

## Lähteet

- 1 Kunnossapito – menestystekijä. 1. Johdanto kunnonvalvontaan. Opetushallitus. Viitattu 4.5.2020. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_k1\\_johdanto\\_kunnonvalvontaan.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html)
- 2 Terrafame Oy. Terrafamen nettisivut. Viitattu 4.5.2020. <https://www.terrafame.fi/terrafame-oy.html>
- 3 Nohynek, P. & Lumme, V. E. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. täydennetty painos. Rajamäki: KP-Media Oy.
- 4 ABB:n TTT-käsikirja. 2000. luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto. ABB Oy, 2000. Viitattu 5.5.2020
- 5 Mikkonen Henry. Kuntoon perustuva kunnossapito. KP-Media; 2009.
- 6 Mobius Institute. Värähtelyanalysoijien päteväntä – taso 2. Viitattu 7.5.2020
- 7 PSK 5702. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Mittauspisteen valinta ja tunnistaminen. 3. painos. 4 s. 2007. Viitattu 10.5.2020. <https://www.psk-standardisointi.fi/Standard/Ryhma57/PSK5702-3.p.pdf>
- 8 PSK 5719. Kunnonvalvonta. Värähtelymittaus. Vaihteet. 9 s. 2011. Viitattu 12.5.2020. <https://www.psk-standardisointi.fi/Standard/Ryhma57/psk5719.pdf>
- 9 ISO 10816-3 Vibration Severity Chart. Viitattu 13.5.2020
- 10 SKF. Sähkömoottoreiden kunnonvalvonta. Vaihekulmamittaukset. 1.-2.3.2016. Juhani Hotakainen. Viitattu 13.5.2020