

Hermann Sipinen

PUHALTIMEN AKSELI- JA  
MOOTTORILAAKEREIDEN  
VÄRÄHTELYMITTAUKSET

Opinnäytetyö  
Konetekniikka

Maaliskuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  1.3.2012
<b>Tekijä(t)</b>  Hermanni Sipinen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Konetekniikka koulutusohjelma, koneinsinööri	
<b>Nimeke</b>  Puhaltimen akseli- ja moottorilaakereiden värähtelymittaus		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Tässä insinööriyössä oli tarkoituksena tutkia värähtelymittausta ja soveltaa sitä karkaisu-uunin puhaltimen ja moottorin ennakkohuoltoon. Karkaisu-uunin puhaltimet ovat tuotannon kannalta kriittisiä, eli jos ne joudutaan pysäyttämään, joudutaan koko uuni sammuttamaan, mikä taas johtaa tuotannon keskeyttämiseen ja taloudellisiin menetyksiin. Tästä syystä kunnonvalvontaan tulee kiinnittää riittävästi huomiota. Tavoitteena oli siis kehittää värähtelymittalaitteesta mahdollisimman hyvin toimiva kunnonvalvonnan työkalu Lumon Oy:lle.</p> <p>Kunnonvalvonnan osiossa tarkastellaan puhaltimen moottori- ja akselilaakereiden rikkoontumista sekä selvitetään ennakoivan kunnonvalvonnan etuja. Värähtelymittaukset ovat osa nykyaikaista kunnonvalvontaa ja niiden avulla pystytään tarkkailemaan koneiden kuntoa pitkällä aikavälillä. Samalla pystytään tarkkailemaan laitteiden vikatyyppejä ja käyttöikää.</p> <p>Työ toteutettiin Lumon Oy:llä josta sain tarvittavia lähdeaineita työlle ja jossa varsinaiset mittausprosessit suoritettiin. Mittaukset suoritettiin samoilla mittalaitteilla, joita kunnossapidon henkilöstö käyttää. Varsinaiset mittaukset suoritettua analysoitiin tulokset ja tehtiin tarvittavat johtopäätökset.</p> <p>Työ antaa kunnossapidon henkilöille lisätietoa erilaisista laakereiden värähtelyistä ja auttaa selvittämään vikaantumisia eritavoilla. Värähtelymittaukset tulee nähdä tärkeänä osana vikojen ehkäisyssä sekä apuna vian määrittämisessä. Mittaukseen on varattava enemmän resursseja, jotta käytössä olevat laitteet ja työntekijöiden ammattitaito voidaan hyödyntää paremmin.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Värähtelymittaus, laakeri, kunnonvalvonta		
<b>Sivumäärä</b>  52 s.	<b>Kieli</b>  Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Markku Kemppe	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Lumon Oy	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  1.3.2012
<b>Author(s)</b>  Hermanni Sipinen	<b>Degree programme and option</b>  Mechanical engineering, mechanical engineer	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  The blower shaft and motor bearing vibration measurements		
<b>Abstract</b>  The purpose of this thesis was to study the vibration analyses and apply it to the tempering oven blower and the preventive maintenance of the motor. Tempering furnaces are critical items, and for this reason monitoring the condition should receive sufficient attention. My aim was to develop a device to measure the vibration and make the device a working tool for condition monitoring.  The work was made in Lumon Oy and the measurements were carried out there. The measurements were made with devices of the maintenance team. The results of the measurements were analyzed and all the necessary conclusions were made.  The thesis gives more information about bearing vibrations to the people who work in maintenance and helps to clarify breakdowns in different ways. Vibration measurements should be seen as a part of condition monitoring more resources should be given to it.		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Vibration analyses, bearing, condition monitoring		
<b>Pages</b> 52 p.	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Markku Kemppe	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Lumon Oy	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	KUNNONVALVONTA .....	1
2.1	Yleistä kunnonvalvonnasta .....	1
2.2	Kunnonvalvonnan mittaukset .....	3
2.3	Mittausmenetelmät .....	4
2.3.1	Lämpötilamittaukset .....	4
2.3.2	Kulumishiukkasanalyysi .....	5
2.3.3	Hyötysuhdemittaukset .....	6
2.3.4	Epätahtimoottoreiden virta-analyysi .....	7
2.3.5	Värähtelymittaukset .....	8
2.4	Mittautavan valinta (värähtely) .....	10
2.5	Mittausaikaväli .....	11
3	LAAKERITYYPIT JA LAAKERIVAURIOT .....	13
3.1	Laakerityypit .....	13
3.2	Laakerien kestoikä .....	14
3.3	Laakeri vauriot .....	16
3.4	Laakerien voitelu .....	16
3.5	Vierintälaakerien ominaisuudet .....	18
4	VÄRÄHTELYMITTAUS .....	20
4.1	Värähtelymittauksen perusteet .....	20
4.2	Värähtelyn suureet .....	22
4.3	Yleisimmät tärinämittauksen parametrit .....	23
4.4	Värähtelyn esittäminen taajuustasossa eli taajuusspektri .....	24
4.5	Värähtelysuureen valinta .....	27
4.6	Värähtelymittausten anturit .....	27
4.7	Anturin kiinnitys ja mittapisteen valinta .....	29
4.8	Värähtelyvalvonnan tulkinnat ja tekniikat .....	31
4.8.1	Aikatasovalvonta .....	31
4.8.2	Ratakäyrävalvonta .....	33
4.8.3	Spektrivalvonta .....	34
4.8.4	Verhokäyrävalvonta .....	36
4.8.5	Kepstrivalvonta .....	38

5	KARKAISU-UUNIN PUHALTIMEN MOOTTORI- JA AKSELILAAKEREIDEN VÄRÄHTELYMITTAUKSET LUMON OY:LLÄ .....	40
5.1	Valvottavat laitteet .....	41
5.2	FAG Detector II tiedonkeruulaite, Trendline 2.0 analysointiohjelma ja SKF takometri .....	43
5.2.1	Detector II ja kiihdytysanturi .....	43
5.2.2	Trendline 2 .....	45
5.2.3	SKF TMRT 1 takometri.....	46
5.3	Mittaukset .....	47
6	YHTEENVETO .....	50
	LÄHTEET	

## **1 JOHDANTO**

Vuonna 1981 perustettiin Ikkunanikkarit Ky -niminen ikkunalasifirma Kymenlaaksoon. Yritys vakiinnutti nopeasti asemansa vakiintuneena omakoti- ja kerrostalokiinteistöjen ikkunalasisaneeraajana. Laman jälkeen yritys sai uuden mahdollisuuden, ja yrityksen nimeksi tuli Lumon Oy. Lumon parvekelaseista tulikin menestyvä tekijä, jolla suomalaisten kerrostaloparvekkeille ”annettiin uusi elämä”. Nykypäivänä Lumonin parveke- ja terassijulkisivujen lasitukset ovat kansainvälistä toimintaa.

Työn tavoitteena oli selvittää lasin karkaisuun käytettävän uunin puhaltimen moottori- ja akselilaakereiden värähtelyä. Työn alussa käydään läpi kunnonvalvontaa ja sen erimittausmenetelmiä, jonka jälkeen perehdytään laakereiden perusominaisuuksiin. Tämän jälkeen perehdytään tarkemmin värähtelymittauksen perusteisiin, mittausmenetelmiin ja tulosten tulkintaan. Lopuksi tarkastellaan Lumon Oy:llä käytettyjä mittausvälineitä, niiden toimintaa ja tutkimustuloksia.

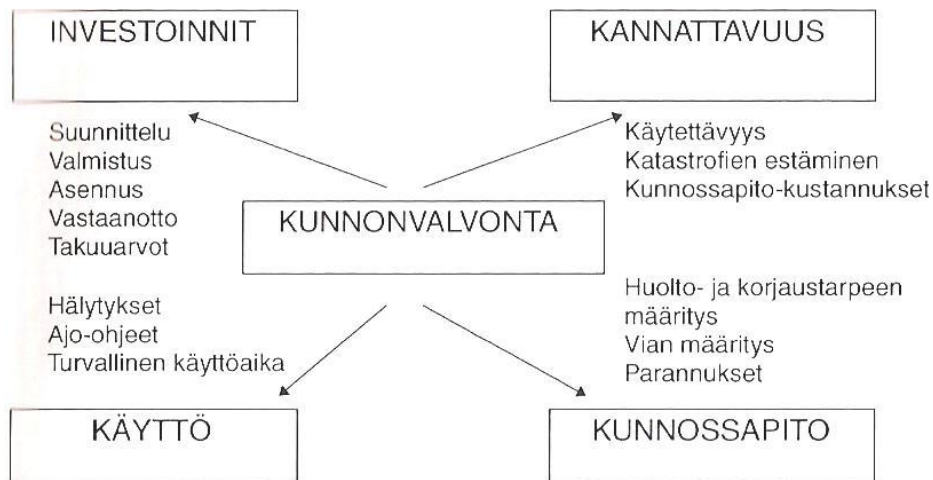
## **2 KUNNONVALVONTA**

### **2.1 Yleistä kunnonvalvonnasta**

Koneiden kunnonvalvonta on tullut yhdeksi tärkeäksi tekijäksi teollisuuden kunnossapidossa. Kunnonvalvonnalla on paljon myönteistä vaikutusta koneiden käyttöasteeseen ja toiminnan kattavuuteen. Erityisesti tietokoneavusteinen kunnonvalvonta on auttanut tätä asiaa. Suuret mittaustietomäärät pystytään käsittelemään ja hallitsemaan helposti tietokoneella siten, että tuotantolaitoksen koneiden kunto on jatkuvasti tiedossa.

Kunnonvalvonta vaikuttaa myös yrityksen moniin muihin eri osa-alueisiin. Se vaikuttaa yrityksen kannattavuuteen, investointeihin, käyttöön ja tuottaa kunnossapidon kannalta oleellisia asioita.

Kunnonvalvonnan liityntöjä esitellään kuvassa 1:



**KUVA 1. Kunnonvalvonnan liityntöjä [1, s.11]**

Kunnonvalvonnan vaikutus kannattavuuteen on merkittävä. Sillä saavutetaan tuottavuuden kasvua, kunnossapidon suunnitelmallisuutta, seisokkiaikojen parempaa hyödyntämistä, odottamattomien seisokkien vähenemistä sekä lisätään koneiden käyttöikä ja säilytetään tuotantolaitteistojen käyttöarvo.

Kunnonvalvonnan avulla voidaan eliminoida seisokin keskimääräinen odotusaika, koska siihen liittyvät toimenpiteet voidaan tehdä tuotantoajalla. Näitä ovat esimerkiksi: vian havaitseminen, asiakirjojen haku, varaosien varaaminen ja hankinta. Myös keskimääräinen kunnossapitoaika lyhenee, koska viat eivät pääse kehittymään vaurioiksi asti ja vikojen ollessa jo tiedossa kunnossapitotyöt voidaan suunnitella ennakoon paremmin.

Jotta näihin tuloksiin päästään, kunnossapidon pitää sisältää mm. seuraavia perusasioita:

- Hyvällä ennakkovalmistelulla ja työsuunnittelulla mahdollistetaan oikeiden työtehtävien suorittaminen ja ajoittaminen
- Hyödyntämällä aikaisempaa kokemusta erilaisten järjestelmien avulla esim. rekisteröimällä jokainen häiriö/ongelma. Tällöin näitä tietoja voidaan käyttää hyväksi suunniteltaessa parannuksia ja korjauksia.
- Konstruktio muutoksilla, parantamalla voitelua, lisäämällä kulutusosien kestävyyttä ja käyttämällä sopivia menetelmiä koneiden käynnin aikaisen kunnan tarkkailemiseksi.

Voidaan todeta, että ennakoivaan kunnossapitoon perustuvalla kunnonvalvonnalla parannetaan yrityksen taloudellisten asioiden lisäksi myös työympäristöä. Kunnossapitotoimien kehittyminen luo viihtyisämmän työympäristön, joka parantaa henkilöstön viihtyvyyttä ja vähentää osaltaan työympäristön aiheuttamaa stressiä. [1, s.11–12]

## **2.2 Kunnonvalvonnan mittaukset**

Kunnonvalvonnassa on tarjolla useita eri mittausmenetelmiä, ja eri menetelmien sisäläkin on usean tason mittaustapoja. Ne ovat saaneet tärkeän osan teollisuuden kunnossapidossa ja sen kunnonvalvonnan osana. Mittaustuloksiin perustuvat korjaus- ja huoltotoimenpiteet pelastavat yhä useampia koneita ja laitteita rikkoutumasta. Suhteellisesti ottaen pieni taloudellinen sijoitus mittauslaitteisiin ja niistä saatujen tuloksien analysointiin varmistaa osaltaan häiriötöntä tuotantoa ja mahdollistaa suunnitelmalliset huolto – ja korjaustoimenpiteet. [1, s.17]

Käyttämällä resursseja mittaustoimintaan saadaan huomattavan paljon taloudellista säästöä tuotantolaitoksen kuluista. Oikein suoritettuna kunnonvalvonnan avulla voidaan mm. vähentää suunnittelemattomia seisokkeja, välttää tarpeettomia koneiden avauksia, pienentää varaosavaraa ja lyhentää välttämättömiä, suunniteltuja seisokkeja.

Ennen kunnonvalvontaa suoritettiin lähinnä aistihavaintojen perusteella. Laakereita kuunneltiin puukepin tai ruuvimeisselin avulla, koneenosien lämpöä kokeilemalla ja tunnustelemalla jaloilla tai kädellä laitteen tärinää. Myös lopputuotteita seuraamalla saatiin koneen kunto selville. Nämä menetelmät toimivat vielä tänäkin päivänä, mutta tarkempia ja varhaisempia arvoja saadaan nykypäivän menetelmillä. Erityisesti värähtelymittaukset ovat tärkeä osa nykypäivän kunnonvalvontaa. [1, s.13]

Tärkeimpiä syitä mittaavan kunnonvalvonnan käyttöön:

- Tuotantolinjat toimivat ilman varakoneita. Tällöin yksittäisen koneen hajotessa koko tuotanto on vaarassa.
- Tuotantomäärien nousun takia seisokkituntien hinnat ovat kohonneet.
- Viat kehittyvät nopeammin pyörimisnopeuksien nousun myötä.
- Tärinän valvonta koneen keston kannalta on yhä tärkeämpää koneiden keventyneiden rakenteiden takia.



- Prosessien säädön muuttuessa yhä enemmän kierroslukusäätöiseksi vaihtelee koneiden tärinäkäyttäytyminen huomattavasti eri kierroslukualueilla.
- Aistihavainnoista ei saada kirjattua tunnuslukuja, joiden avulla voitaisiin valvoa koneiden kuntoa.
- Keräilevien mittalaitteiden kehittyminen on helpottanut niiden käyttöönottoa.
- Vaarallinen, meluisa tai muuten epämiellyttävä työympäristö on antanut aiheen siirtä käyttämään mittauksia aistinvaraisten huomioiden sijaan. [1, s.13]

Kunnonvalvonnan osalta on hyvä, että tietokoneet ovat tulleet auttamaan omalta osaltaan prosessia. Tulokset saadaan analysoitua, koneet ja vauriot tallennettua koneen historiaa varten. Tällä varmistetaan diagnosoinnin onnistumista.

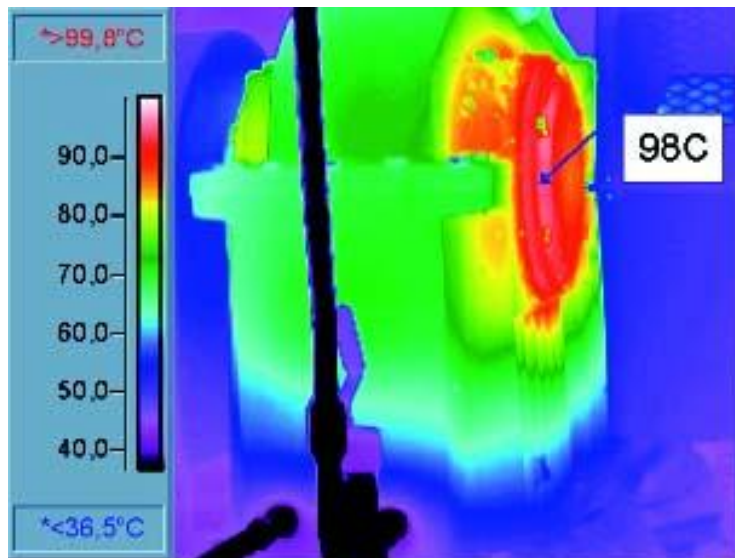
## **2.3 Mittausmenetelmät**

Teollisuudessa koneiden kuntoa valvotaan monilla eri menetelmillä. Tärkeimpinä kunnan mittaamiseen käytettyjä menetelmiä ovat lämpötilamittaukset, kulumishiukkasanalyysit, hyötysuhdemittaukset, virta-analyysit ja värähtelymittaukset. Näistä eniten käytettyjä ovat värähtelymittaukset. Ne ovat useimmissa tapauksissa oikeinkäytettynä paras ennakoivan kunnossapidon mittausmenetelmä, mutta väärinkäytettynä resurssien ja ajan tuhlausta. [1, s. 17.]

### **2.3.1 Lämpötilamittaukset**

Lämpötilamittauksen käyttö on hyvin yleistä kunnonvalvonnassa. Käyttö perustuu siihen, että lähes kaikissa vikakohteissa lämmöntuotto kasvaa vian kehittyessä vaurioksi. Menetelmä oli aikaisemmin suosittu laakerien kunnonvalvonnassa, mutta lämpötilamittausten ongelmana on kykenemättömyys havaita laakerivikoja varhaisessa vaiheessa, jolloin värähtelymittaukset voivat olla parempia alkavan laakerivian ennustamisessa. Tapaa kannattaa kuitenkin hyödyntää täydentävänä mittausmenetelmänä kunnonvalvonnassa sekä erityisesti sähköisten komponenttien kunnonvalvonnassa, joiden vikoja ei voi värähtelymittauksin havaita.

Tavallisesti lämpötilamittaukset suoritetaan kosketuksellisilla mittareilla, pistoolityyppisillä infrapunamittalaitteilla tai infrapunakameroilla (kuva 2).



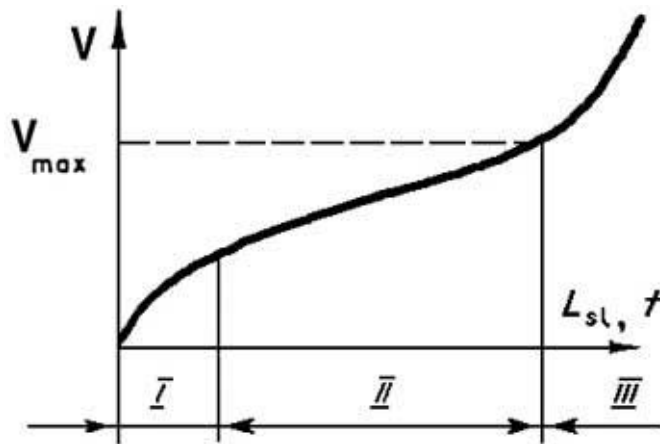
**KUVA 2. Lämpökamerakuva viallisesta laakerista [5]**

Kosketuksellisen menetelmän käyttöä rajoittaa kohteen luoksepäästävyys etenkin käytön aikana sekä antureiden pitkät asetusajat. Kosketuksettomien infrapunamittausten käyttö taas vaatii enemmän tietoa mitattavasta kohteesta, kuten esimerkiksi pintojen heijastuksien vaikutus ja eri materiaalien emissiokertoimet. [1, s. 20–21.]

### 2.3.2 Kulumishiukkasanalyysi

Kulumishiukkasanalyysia eli ferrografiaa kutsutaan myös öljyanalyysiksi. Öljyanalyysin nimitys tulee koneen voiteluöljyn näytteestä, josta kulumishiukkasanalyysi yleensä tehdään. Menetelmä perustuu kulumishiukkasten nopeutuneeseen koon kasvuun ja määrän lisääntymiseen koneen kulumisen edetessä kohti koneen vikaantumista.

Kuvassa 3 näkyy kulumisen kehitys toiminta-ajan funktiona. Tasaisen kulumisen jälkeen seuraa voimakas kuluminen, joka ilmenee kulumishiukkasten määrän lisääntymisenä ja kokojakauman muutoksena. Normaalissa tilanteessa toisiaan vasten liikkuvista pinnoista irtoavien kulumishiukkasten halkaisija on noin 10  $\mu\text{m}$ , mutta kulumisen kasvaessa voimakkaasti hiukkasten koko kasvaa 10–100-kertaiseksi. Samalla myös muuttuu hiukkasten muoto, jolloin hiukkasia mikroskoopin avulla tutkimalla voidaan myös yrittää selvittää kuluvia komponentteja ja niiden mahdollisia kulutusmekanismeja. Menetelmä on usein hyvä öljyvoidellun koneen yleisessä kunnonvalvonnassa, mutta tarkemman vikatiedon selvittäminen sen avulla voi olla usein mahdotonta tai ainakin hankalaa. Analyysille on myös tarjolla kiinteitä valvontajärjestelmiä. [1, s. 22 – 23.]



**KUVA 3. Kuluminen (V) toiminta-ajan funktiona [5]**

Vaiheet:

- I. Sisäänajokuluminen
- II. Tasainen kuluminen
- III. Voimakas (tuhoava) kuluminen

### 2.3.3 Hyötysuhdemittaukset

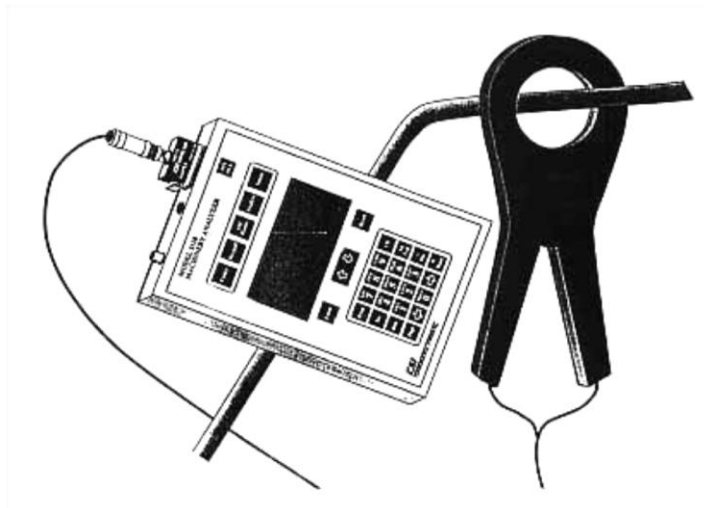
Hyötysuhdemittaukset ovat laitteiden ja prosessin toimintakyvyn selvittämiseksi suoritettavia mittauksia. Ne antavat kunnonvalvonnassa viitteitä vikojen muodostumisesta koneen tai prosessin toiminnan heikkenemisen kautta. Hyötysuhteen heikkeneminen kertoo yleisesti kulumisesta ja vioista laitteessa tai prosessissa, mutta näissä olevien vikojen tarkemmassa paikantamisessa se ei tavallisesti ole erityisen käytännöllinen tieto itsessään.

Hyötysuhdemittausten kohteita voivat olla esimerkiksi kompressorit, turbiinit, lämmönsiirtimet, venttiilit, pumput ja kokonaiset prosessikokonaisuudet.

Mittauksiin voi kuulua esimerkiksi virtausmäärien, lämpötilojen ja paineiden mittaukset tietyissä prosessikohtissa, jolloin mittausdataa voidaan jatkuvasti verrata toimivien laitteiden tai prosessin laskennallisiin tai mitattuihin arvoihin. Myös radioaktiivista merkkiainetta käyttämällä saadaan selville useampia seikkoja prosessin toiminnasta esimerkiksi viipymisaikajakautumia, virtausteknisiä vikoja, sekoittumistehokkuuksia ja prosessin stabiilisuutta. [4, s. 23.]

### 2.3.4 Epätahtimoottoreiden virta-analyysi

Epätahtimoottoreiden sähkövirta-analyysi on tutkimismuoto sähkömoottoreille. Analyysi perustuu moottorille tulevan voimajohdon vaiheen virtamittauksesta tehtävään spektrianalyysiin (kuva 4). Virta-analyysillä voidaan havaita monia sähköisiä ja mekaanisia vikoja, mutta sähkömoottoreiden laakereiden kunnonvalvontaan siitä ei kuitenkaan ole. [1, s.21–22.]



**KUVA 4. Virta-analyysin suoritus [5]**

Menetelmällä voidaan luotettavasti havaita sähkömoottorin mekaanisia kuin sähköisiäkin vikoja:

- rikkoontuneet oikosulkurenkaat
- vaurioituneet roottorisauvat
- korkeavastuksiset liitokset
- vajaat ja murtuneet juotokset häkkikämeissä
- roottorin käämitysongelmat liukurengaskoneissa
- valuhuokokset ja onkalot painevaletuissa roottoreissa
- taipunut akseli.
- dynaaminen ja staattinen epäkeskeisyys.

[1, s.22.]

### 2.3.5 Värähtelymittaukset

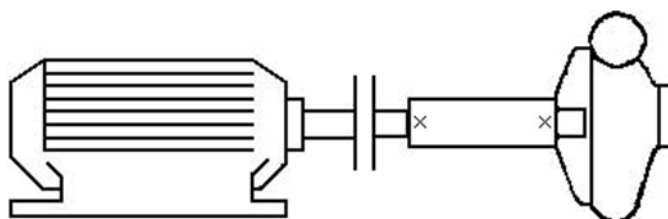
Kuten jo edellä mainittiin, värähtelymittaus on kunnonvalvonnan yleisimmin käytetty mittaussuunnitelma. Se on myös oikein sovellettuna useimmiten paras kunnossapidon mittaussuunnitelma. [1, s.17.]

Yleisemmin kunnonvalvonnan värähtelymittaukset jaetaan karkeasti kahteen luokkaan. Näistä ensimmäiseen kuuluvat yksinkertaiset menetelmät koneiden yleistärinän valvontaan ja koneiden vierintälaakereiden kunnonvalvontaan. Toiseen kuuluvat monimutkaisemmat menetelmät koneiden tärinän yksityiskohtaiseen valvontaan ja laakereiden kunnonvalvontaan.

Ensimmäisen luokan valvonnassa tarvitaan yleensä kaksi mittalaitetta tai sitten samasta mittalaitteesta löytyy nämä kaksi selvästi toisistaan poikkeavaa mittasuuretta. Yleistärinää mitataan taajuusalueella 10 Hz – 1000Hz. Mittaus kertoo karkeasti koneen akselin pyörimiseen liittyvien vikojen olemassaolosta, kuten epätasapainosta, linjauksivirheestä ja liitosten löysyydestä.

Toisella mittauksella mitataan yli 2000Hz taajuuksia, jolla suoritetaan pääasiassa vierintälaakereiden kunnonvalvontaa. Korkeataajuisen värähtelyn on havaittu kasvavan selvästi, kun voitelukalvo häviää vierintälaakerista tai jokin laakerivika pääsee syntymään. Samaan luokkaan kuuluvat myös ultraäänimittaukset, joilla voidaan mitata laakereiden kunnan lisäksi samalla myös nesteiden ja kaasujen vuotoja.

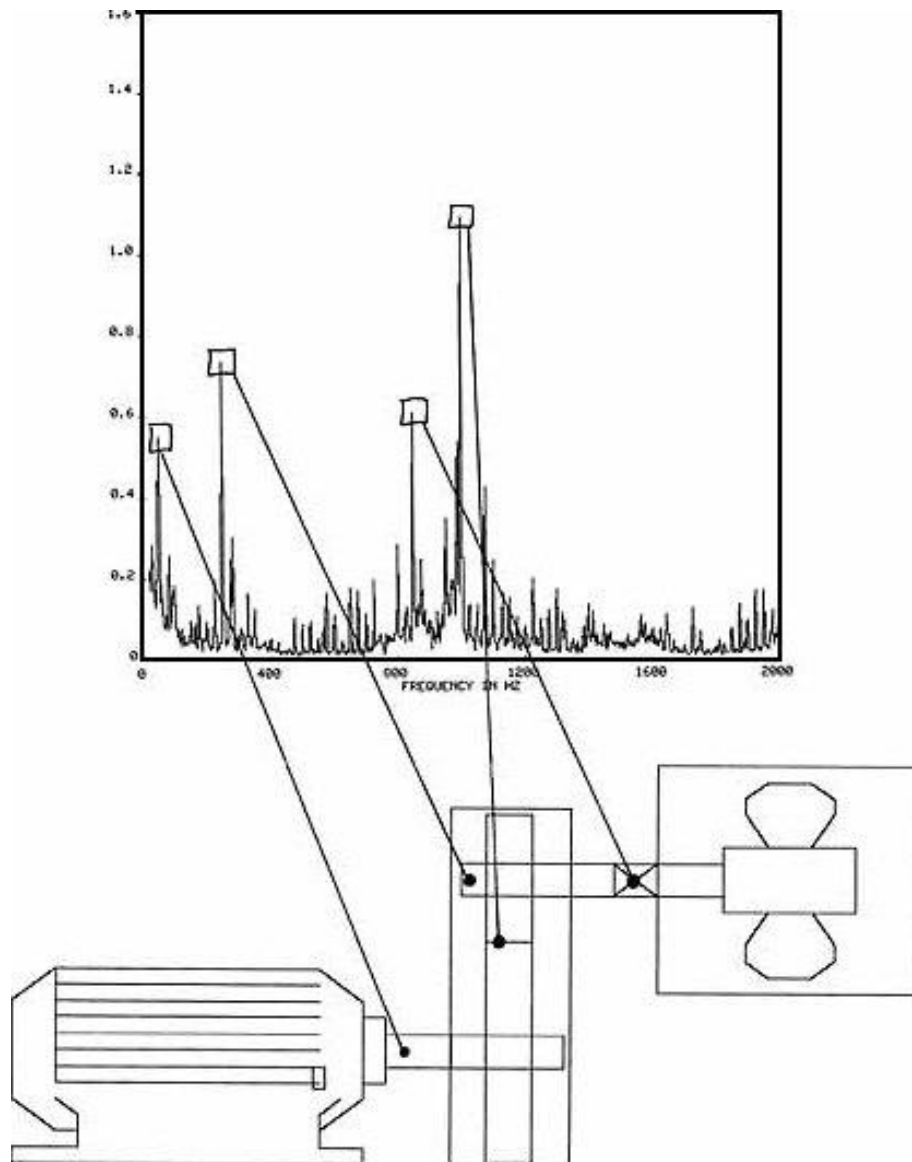
Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat menetelmät voivat olla riittäviä sellaisten koneiden kunnonvalvontaan, missä ei ole useita erillisiä akseleita pyörimässä eri nopeuksilla (kuva 5). Ne ovat kuitenkin aivan liian epäherkkiä valvomaan mutkikkaampia koneita, koska jo normaali kuormitustärinä voi helposti peittää jonkin koneen osan orastavan vian aiheuttaman tärinän alle. [1, s. 18.]



**KUVA 5. Suorakäyttöpumppu [5]**

Niinpä luokan yksi kunnonvalvontalaitteiden käyttö monien vikojen toteamiseksi on liian epäherkkää koneissa, joissa on erinopeuksisia aksleita, ja täten myös voimansiirtolaitteina esimerkiksi hihnakäyttöjä tai hammasvaihteita. Esimerkiksi korkea tärinän kokonaistasoarvo voi johtua suuresta epätasapainosta toisella akselilla, laakeriviasta, linjausvirheestä, rakenteen resonanssista löysästä alustakiinnityksestä tai pumpun kavitaatiosta. Se voi olla myös luonnollista seurausta koneen tekemästä työstä, kuten vaihteistoissa voiman välityksestä akselilta toiselle ja kompressoreissa epätasaisesta puristetun ilman poistumisesta.

Silloin kunnonvalvonta suoritetaan käyttämällä toisen luokan mittalaitteita, jotka ovat yksi- tai monikanavaisia spektrianalysaattoreita. Näiden avulla erotellaan koneen värähtelysignaalin eri osataajuuudet ja niiden suuruudet erotetaan toisistaan (kuva 6).



**KUVA 6. Monimutkaisesta koneesta tulevat eri värinätaajuuudet [5]**

Kun yksittäiset koneenosien värinät ovat tunnistettu, voidaan kohtuullisen luotettavasti seurata eri koneen osien kunnan kehittymistä. Toisen luokan värähtelymittauksiin voi kuulua muutakin signaalinkäsittelyä, kuten esimerkiksi keskiarvostettu aikatasoanalyysi, verhoikäyriäanalyysi, vaihekulma-analyysi ja kepstrianalyysi. [1, s. 18 – 19.]

Standardi PSK 5710 jakaa mittalaitteet signaalin- ja tietojenkäsittelyn ominaisuuksien perusteella neljään eri ryhmään. Tyypin 1 mittalaitteita ovat kokonaistasoa ilmaisevat laitteet, joissa mitattua värähtelyä kuvaa yksi tunnusluku. Tyypin 2 mittalaitteet mittaavat korkeataajuisia, tyypillisesti yli 5 kHz:n värähtelyä, ja mitattua värähtelyä kuvaa korkeintaan kaksi tunnuslukua. Tyypin 3 mittalaitteissa on valittavissa oleva taajuusalue, ja mitattu värähtely voidaan esittää sekä aika että taajuustasossa. Tyypin 4 mittalaite on laitteet ja ohjelmat sisältävä mittausjärjestelmä, joka tekee vianmäärityksen ja mahdollisesti jopa ennusteen koneen jäljellä olevasta käyttöajasta. [2, s. 101.]

#### **2.4 Mittaustavan valinta (värähtely)**

Suurin mahdollinen kattavuus kunnonvalvonnassa saavutettaisiin siten, että mitattaisiin ja analysoitaisiin laitoksen kaikki koneet kaikista mahdollisista mittapisteistä ja kaikilla mahdollisilla mittausmenetelmillä kaiken aikaa. Koska tämä ei ole yrityksen talouden kannalta järkevää, täytyy mittaustarve määritellä konekohtaisesti. Näin ollen suoritetaan mittaukset säännöllisesti ainoastaan valituille koneille, niille sopivilla mittausmenetelmillä ja muille ainoastaan tarpeen vaatiessa.

Säännölliset (värähtely-) mittaukset suoritetaan kunnonvalvonnassa seuraavanlaisilla laitteilla:

- automaattinen kiinteä järjestelmä
- puolikiinteä järjestelmä
- kannettava mittalaite.

Kiinteä järjestelmä koostuu laitteeseen asennetuista antureista, anturikaapeleista ja mittayksiköstä. Siitä eteenpäin mittausviesti johdatetaan eteenpäin digitaalisena (esim. spektrit), analogisena (mA) tai hälytysviestinä (rele). Kiinteä järjestelmä asennetaan koneille, jotka ovat määritelty esim. PSK 5705 standardin mukaan ylimpään ryhmään. Eli koneille, jotka tarvitsevat jatkuvaa valvontaa. [1, s.28.]

Puolikiinteä järjestelmä koostuu koneeseen asennetuista antureista, anturikaapeleista ja liitäntäyksiköstä, johon anturikaapelit on johdettu. Mittaus suoritetaan kannettavalla mittalaitteella, joka liitetään anturikaapeleihin. Tätä mittausta käytetään kohteissa joiden luokse on vaikea, mahdoton tai vaarallista mennä.[1, s.29.]

Kannettavaa mittalaitetta käytetään taas niihin laitteisiin, jotka on määritelty säännöllisen mittaustoiminnan piiriin, mutta joita tarkkaillaan vain määrääjoin. Lähes kaikkiin kannettaviin mittalaitteisiin kuuluu nykypäivänä sisäinen muisti, johon kentältä kerätyt tiedot voidaan tallentaa, ja tietokoneohjelmisto, joka kanssa mittalaitte toimii. Ohjelmalla luodaan mittaustietokanta, jossa on mittauspisteet ja -reitit. Kierrokselta/kentältä mitatut tulokset tallennetaan tietokantaan, josta saadaan erilaisia hälytysraportteja ja jossa mittauservojen kehittymistä voidaan tarkastella graafisesti.[1, s.29.]

Mittalaitteen ja koneiden selvityksessä tulee konekohtaisesti selvittää tyypilliset ja todennäköisimmät vikaantumismekanismit. Tämän jälkeen tulee valita koneisiin oikeat menetelmät ja analysointitavat, joilla tärkeimmät vikaantumiset saadaan tunnistettua riittävän ajoissa. Ei samanlaisia menetelmiä ja analysointitapoja kaikille koneille eikä liian useita menetelmiä yhden koneen valvontaan. Jos näin toimitaan saattaa jotkin viat jäädä havaitsematta tai sitten tehdään aivan liikaa työtä.[1, s.29.]

Sopivia mittaus- ja analysointitapoja [1, s.29]:

- puhallin: värähtelyn kokonaistaso
- vierintälaakeri: iskusysäysmittaus
- hitaasti pyörivät laakerit: verhoikäyräanalyysi
- sähkömoottori: spektrianalyysi.

## 2.5 Mittausaikaväli

Mittausväliä määrittäessä tulee huomioida koneen häiriöherkkyys ja vaurioiden kehittymisnopeus, ettei mittausaikavälistä tule liian pitkä. Aikavälin tulee olla niin lyhyt, etteivät ennakoituvat viat pääse kehittymään vaurioiksi mittausten välillä.



Kunnonvalvonnan aloitusvaiheessa tai uuden koneen käyttöönotossa tulee mittausvälin olla tarpeeksi lyhyt, yleensä 2-4 viikkoa. Kokemuksen lisääntyessä voidaan myöhemmin mittausaikaväliä konekohtaisesti lyhentää tai pidentää. Yleinen mittausaikaväli teollisuudessa on noin 4 viikkoa. Vikaantumisen merkkejä ilmetessä tulee mittausaikaväliä lyhentää, jotta vikaantumista voidaan seurata tarkemmin. Tällöin voidaan ottaa käyttöön myös muita mittausmenetelmiä, kuten lämpötilamittaus. [1, s.29–30.]

Jos mittausaikaväliksi arvioidaan alle viikko, on sen perusteella syytä harkita taloudellisuussyistä kiinteää mittausjärjestelmää. Jos taas aikaväliksi asetetaan pitempi kuin kaksi kuukautta, muuttuu ennakoiva kunnonvalvonta kuntomittaukseksi. Tällä ajalla myös monet viat voivat kehittyä vaurioiksi. Kuntomittauksella voidaan määrittää huoltotoimenpiteitä ennen seisokkia. Seisokin jälkeen voidaan varmistaa, että huolto-työt ja koneen kokoaminen on tapahtunut oikein.[1, s.30]

Jos mitattavaa on paljon, on kannattavaa tehdä mittaukset itse. On kuitenkin syytä välttää seuraavia seikkoja:

- Mittauksia suoritetaan liian tiheästi, jolloin mittaajat turhautuvat työhönsä. Myöskään mittauksella saavutettavat hyödyt eivät kata mittauskustannuksia.
- mittauksia suoritetaan liian harvoin, jolloin ne helposti unohtuvat kokonaan. Tällöin ei myöskään päästä ennakoimaan vikaantumisia eikä opita tuntemaan koneiden käynnin vaikutusta mittausarvojen vaihteluun.
- Mittauksiin ja tulosten tarkasteluun ei anneta riittävästi aikaa, jolloin mittaus-toimintaa ei pystytä suorittamaan kunnolla.
- Hankitaan liian monimutkainen mittalaite, jota ei opita käyttämään.
- Mittaustekniikan hallitsee yrityksessä vain yksi henkilö. Kun hän vaihtaa työpaikkaa tai -tehtävää, loppuu mittaus-toiminta yrityksessä.
- Alussa tehdään väärinä tutkintoja koneissa olevista vioista, jolloin luottamus mittaus-toimintaan murenee varsin nopeasti. [1, s.32]

Järkevää voi myös olla, että itse tehdään osa mittauksista ja ulkopuolinen toimittaja tekee mittaukset, joihin itsellä ei ole aikaa tai resursseja.

PSK standardi 5705:ssa on ohje uuden koneen käyttöönotto tarkastusta varten ja esimerkkitaulukko vanhojen koneiden mittausvälejä varten. [2, s.51–52]

### 3 LAAKERITYYPIT JA LAAKERIVAURIOT

#### 3.1 Laakerityypit

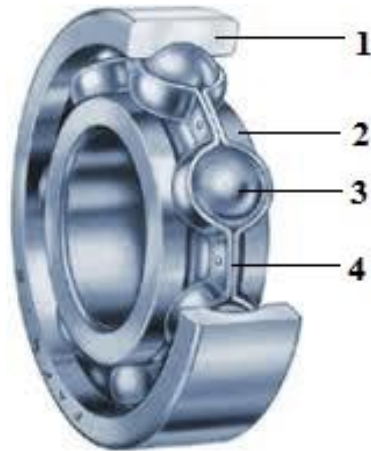
Yleensä laakerit jaetaan liuku- ja vierintälaakereihin. Laakereiden tehtävänä on pienentää pyörimisestä johtuvia kitkahäviöitä ja kantaa niihin kohdistuvaa akselikuormaa. Liukulaakereissa ei ole vierintäelimiä toisin kuin vierintälaakereissa. Vierintälaakereissa vierintäeliminä toimivat tavallisesti rullat tai kuulat, jotka välittävät voimat laakerin kehältä toiselle. Rullalaakereita suositellaan käytettäväksi suuriin kuormituksiin ja kuulalaakereita pieniin ja keskisuuriin kuormituksiin. Vierintäelimiä tarkoitus on vähentää vierintäkitkaa suhteessa liukukitkaan. Hitaiden liikkeiden laakeroinnissa vierintäelimet eivät tarvitse pidintä, mutta muuten ne ovat tarpeellisia, jotta vierintäelimet pysyisivät erillään, oikeassa asennossa ja tasajaollisina. [3, s.10.]

Vierintälaakereihin kuuluvat myös säteis- ja painelaakerit, jotka on suunniteltu kestämään sekä säteis- että aksiaalikuormituksia. Säteiskuormitus on kuormitus, joka vaikuttaa suorassa kulmassa akseliin nähden, kun taas aksiaali- tai painekuormitus vaikuttaa akselin suuntaisesti. Yhdistetty kuormitus koostuu yhtä aikaa vaikuttavista aksiaali- ja säteiskuormituksesta.[3, s.11.]

Useimmiten laakerointi kannattaa toteuttaa isostaattisesti kahdella säteislaakerilla. Näistä toinen on vapaa ja toinen ohjaava. Vapaa ottaa vastaan vain säteisvoimia ja ohjaava säteis- ja aksiaalivoimia. Tästäkin johtuen samalla akselilla käytetään keskenään erilaisia laakerityyppejä. Suuri osa valmistetuista laakereista on vakio-ohjelmaan kuuluvia, ja niiden mitat ovat ISO-standardoituja. Tämä helpottaa kunnossapidon toteutusta, koska se vähentää riippuvuutta yhteen varaosavalmistajaan. [3 s.10–15]

Kuvassa 7 vierintälaakerin osat:

1. ulkorengas, 2. sisärengas, 3. vierintäelimet, 4. pidin



**KUVA 7. Vierintälaakerin osat [10]**

### 3.2 Laakerien kestoikä

Vierintälaakerin kestoikällä tarkoitetaan sitä kierrosmäärää, jonka laakeri voi pyöriä ennen kuin vierintäratoihin tai vierintäelimiin ilmaantuu väsymisen merkkejä.

Tietyntilaisissa käyttöolosuhteissa ja kuormitusten ollessa pieniä, voivat laakerit saavuttaa huomattavasti pidemmän käyttöiän kuin standardisoidulla kestoian laskentamenetelmällä saavutetaan. Tällaiset olosuhteet saavutetaan, kun laakerin likaantumisen johtuva pintojen vahingoittuminen on estetty ja vierintäpinnat ovat tehokkaasti erotettu toisistaan. Ihanne käyttöolosuhteissa laakeri voi kestää lähes ikuisesti.

Sekä käytännössä että laboratoriokokeissa on kuitenkin voitu todeta, että kaksi täysin samanlaista ja yhtäläisissä käyttöoloissa toimivaa laakeria ovat kestoältään erilaisia. Sen takia laakereiden dynaamisen kantokyvyn tiedot perustuvat nimelliskestoikään.

[ 3 s.16.]

Nimelliskestoian kaava:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^P \quad L_h = \frac{16666}{n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^P$$

(1)

$L$  = nimelliskestoikä, miljoonaa kierrosta

$C$  = laakerin dynaaminen kantavuusluku, N

$P$  = laakerin dynaaminen ekvivalenttikuormitus, N

$p$  = eksponentti, jonka arvo kuulalaakereille on 3 ja rullalaakereille on 10/3

$L_h$  = nimelliskestoikä, käyttötuntia

$n$  = pyörimisnopeus, r/min. [3, s.16.]

Laakerien tarvittavan nimelliskestoian  $L_{10}$  ohjearvot eri konelajeja varten:

**Taulukko 1. Laakerien nimelliskestoian  $L_{10}$  tyypillisiä vaatimuksia. [3, s.17.]**

Konelaji	$L_{10}h$ käyttötuntia
Kotitalouskoneet, maatalouskoneet, kojeet, lääketieteelliset laitteet	300 ... 3 000
Lyhytaikaisesti tai ajoittain käyvät koneet, sähkökäyttöiset käsi-työkalut, konepajanosturit, rakennuskoneet	3 000 ... 8 000
Lyhytaikaisesti tai ajoittain käyvät koneet, joilta vaaditaan suuri käyttövarmuus: hissit, kappaletavarano- sturit	8 000 ... 12 000
8 tunnin käytön koneet, joita ei aina käytetä täydellä teholla: yleiskäyttöiset hammasvaihteet, kiinteät sähkömoottorit, murskaimet	10 000 ... 25 000
8 tunnin käytön koneet, joita käytetään täydellä teholla, työstökoneet, puuntyöstökoneet, konepajateollisuuden koneet, kappaletavarano- sturit, ilmanvaihtopuhaltimet, hihnakuljettimet, kirjanpainokoneet, separaattorit, lingot	20 000 ... 30 000
24 tunnin jatkuvan käytön koneet: valssaimien vaihteet, keskiko- koiset sähkökoneet, kompressorit, kaivos-hissit, pumput, tekstiili- koneet	40 000 ... 50 000
Vesilaitosten koneet, pyörivät uunit, kaapelinkertauskoneet, val- tamerialusten käyttökoneet	60 000 ... 100 000
Isot sähkökoneet, voimaloiden koneet, kaivosten pumput ja il- manvaihtopuhaltimet, valtamerialusten laakerit	100 000

Taulukon 1 perusteella voidaan arvioida moottorin ja puhaltimen akselilaakereiden kestävän nimellisesti 10 000 – 30 000 tuntia, mikäli oletetaan moottori ja puhallin valmistajien noudattavan tässä esitettyä ohjeistusta omassa mitoituksessaan.

### 3.3 Laakerivauriot

Normaalissa käytössä vain murto-osa laakereista vaurioituu, ja suurin osa kestää kauemmin kuin koneet tai laitteet. Laakerin hajoaminen voi johtua monesta eri tekijästä, ennakoitua suuremmasta kuormituksesta, tehottomista tiivisteistä tai sovitteista, jotka ovat liian tiukkoja ja aiheuttavat tällöin liian pienen laakerivälilyksen jne. Jokainen näistä tekijöistä jättää oman leimansa laakeriin ja tämän selvittämällä on useimmiten mahdollista selvittää vahingon aiheuttaja. Tämän perusteella voidaan ryhtyä toimenpiteisiin vahingon toistumisen ehkäisemiseksi.

Noin kolmannes laakerien vaurioitumisista johtuu aineen vanhenemisesta eli laakerin pintojen väsymisestä. Väsyminen on seurausta jaksottaisista leikkausjännityksistä, jotka muodostuvat välittömästi kuormituspinnan alle. Jonkin ajan kuluttua nämä jännitykset aiheuttavat halkeamia, jotka asteittain suurenevat ulottuen lopulta pintaan asti. Kun vierintäelimet vierivät halkeamien yli, niiden reunat murtuvat ja palasia irtoaa. Tätä kutsutaan kuoriutumaksi. Kuoriutunut kohta suurenee jatkuvasti ja johtaa lopulta laakerin täydelliseen rikkoutumiseen. Toinen kolmannes laakerien vaurioitumisesta aiheutuu huonosta voitelusta. Loput vaurioituvat pääasiassa laakeriin päässeiden epäpuhtauksien, käsittelyvaurioiden tai virheellisen asennuksen seurauksena. [3, 18–19.]

### 3.4 Laakerien voitelu

Laakerien voitelua suoritetaan kitkan vähentämiseksi. Se suojaa myös kulumiselta ja ruostumiselta sekä estää kiinteiden ja nestemäisten epäpuhtauksien pääsyn laakeriin. Oikein voidellulla laakerilla on parhaat mahdollisuudet saavuttaa maksimi käyttöikä.

Voiteluaineen päätehtävänä on muodostaa kalvo, joka vähentää kitkaa, kulumista ja erottaa liikkuvat osat toisistaan. Voiteluaineen tärkeimpiä ominaisuuksia on myös viskositeetti, kalvonmuodostuskyky ja kiinteys (rasvalla). Rasva on yleisin voiteluaine laakereille (yli 90 %), kun laakeria käytetään normaaleilla nopeuksilla normaalissa käyttölämpötilassa. Se tuo voiteluaineen useita etuja öljyyn verrattuna; yksinkertai-

semman ja halvemman sovellusjärjestelmän, paremman pysyvyyden ja suojan käyttöympäristön kosteutta ja epäpuhtauksia vastaan. Öljy taas on oikea voiteluaine, kun rasvaa ei voida käyttää nopeuden tai käyttöolosuhteiden vuoksi tai kun lämpöä on johdettava laakerista. Usein öljyä käytetään muiden komponenttien, kuten esimerkiksi tiivistimien, vaihteiden, liukulaakereiden ym. vuoksi. [8.]

Laakerien voitelua voidaan tarkastella rajavoitelun, hydrodynaamisen, osittaisen hydrodynaamisen ja elasto-hydrodynaamisen voitelun kannalta.

Rajavoitelussa voitelukalvon paksuus ei ole riittävä erottamaan kosketuspintoja. Syyinä tähän voi olla riittämätön voiteluaineen määrä, tai kahden pinnan välinen liike on riittämätön kehittämään voiteluainekalvoa. Myös voiteluaineen liian alhainen viskositeetti johtuen liian korkeasta lämpötilasta tai alun perin liian ohuesta voiteluaineesta. Tällaisissa voiteluolosuhteissa tapahtuu kosketuspintojen metallikosketuksia, jotka aiheuttavat paikallisia pintakerroksien hitsautumisia. Tämä lisää lopulta kitkaa, kulumista ja pinnan väsymistä. [3, s.204–206.]

Hydrodynaamista voitelua kutsutaan myös täydelliseksi voiteluksi, koska voitelukalvo erottaa liikkuvat pinnat täysin toisistaan. Kitka on huomattavasti pienempi kuin rajavoitelussa ja liikkuvien pintojen välillä ei ole metallisia kosketuksia.

Osittainen hydrodynaaminen voitelu esiintyy rajavoitelun ja hydrodynaamisen voitelun välissä. [3, s.206.]

Elasto-hydrodynaamista voitelua on sekä osittaisessa hydrodynaamisessa voitelussa sekä hydrodynaamisessa voitelussa. Elasto-hydrodynaamista voitelua esiintyy, kun raskaasti kuormitettu vierintäelin vierii vierintäradalla ja kosketuspisteessä paine kasvaa aiheuttaen mikroskooppisen pieniä painaumuksia. Painautuneet pinnat puristuvat hetkeksi yhteen ja tasoittuvat hieman (elastinen muodonmuutos). Voidaan ajatella, että voiteluaine pakenee kosketuspisteestä ja että pinnat ovat kosketuksessa toisiinsa. Näin ei kuitenkaan ole. Sen sijaan viskositeetti kasvaa huomattavasti. Kun vierintäelimet vierivät edelleen, pinnat palautuvat alkuperäiseen muotoonsa ja viskositeetti palaa alkuperäiseen tilaansa. [3, s.204–207.]

### 3.5 Vierintälaakerien ominaisuudet

Vierintälaakeri toimii itsessään rakenteellisena elementtinä, jolla on tietyt värähtelyominaisuudet. Se aiheuttaa pyöriessään myös herätteitä, jotka saavat systeemin värähtelemään. Laakerin vaurioituessa herätteiden voimakkuus kasvaa, mikä näkyy värähtelytason muutoksena. Aina kun vierintäelin vierii vaurion yli, syntyy värähtelysignaalissa huippu. Näiden huippujen toistaminen riippuu vaurion sijainnista (sisärenkas, ulkorenkas, vierintäelimet, jne.), laakerin rakenteesta ja pyörimisnopeudesta. Laakerien taajuuksille on olemassa laskentakaavat ja valmiita laskureita. Laskureita löytyy laakerivalmistajien verkkosivuilta esimerkiksi [www.skf.com](http://www.skf.com) (bearing calculations (kuva 8)) ja kuvassa 9 on kuva laakerista sekä sen vikataajuuksien laskentakaavoista.

**SKF**

---

**Bearing frequencies**

Every care has been taken to ensure the accuracy of this calculation but no liability can be accepted for any loss or damage whether direct, indirect or consequential arising out of the use of the calculation.

<p>Bearing <span style="color: #0056b3;">Select bearing</span></p> <p>d [mm] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p>D [mm] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p> </p> <p><math>n_i</math> [r/min] <input type="text"/></p> <p><math>n_e</math> [r/min] <input type="text"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calculate"/></p>	<p>Bearing data of own choice</p> <p>P [mm] <input type="text"/></p> <p><math>D_w</math> [mm] <input type="text"/></p> <p>z <input type="text"/></p> <p><math>\alpha</math> [degrees] <input type="text"/></p> <p><math>n_i</math> [r/min] <input type="text"/></p> <p><math>n_e</math> [r/min] <input type="text"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calculate"/></p>	<p><math>f_i</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_e</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_c</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_r</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p>Frequencies from potential damages</p> <p><math>f_{ip}</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_{ep}</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_{rp}</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p>	<p><math>f_i</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_e</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_c</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_r</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_{ip}</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_{ep}</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p> <p><math>f_{rp}</math> [Hz] <input style="background-color: #ccc;" type="text"/></p>
---	--	--	--

- $d$  = bearing bore diameter [mm]  
 $D$  = bearing outside diameter [mm]  
 $P$  = pitch diameter of rolling element assembly [mm]  
 $D_w$  = rolling element diameter [mm]  
 $z$  = number of rolling elements per row  
 $\alpha$  = angle [degree]  
 $n_i$  = rotational speed of inner ring [r/min]  
 $n_e$  = rotational speed of outer ring [r/min]  
 $f_i$  = rotational frequency of inner ring [Hz]  
 $f_e$  = rotational frequency of outer ring [Hz]  
 $f_c$  = rotational frequency of rolling element assembly [Hz]  
 $f_r$  = rotational frequency of a rolling element [Hz]  
 $f_{ip}$  = over-rolling frequency of one point on inner ring [Hz]  
 (frequency when one point on inner raceway is damaged )  
 $f_{ep}$  = over-rolling frequency of one point on outer ring [Hz]  
 (frequency when one point on outer raceway is damaged )  
 $f_{rp}$  = over-rolling frequency of one point on rolling element [Hz]  
 (frequency when one point on a rolling element is damaged.  
 A ball may change its rotational axis and thus not always be overrolled at the same point)

### KUVA 8. SKF:n värähtely laskentaohjelma [8.]

$N$  on vierintäelinten lukumäärä  
 $n$  on akselin pyörimistaajuus

Ulkokehän ohitustaajuus:  

$$f_u = BPF O = \frac{N}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta\right) \cdot n$$

Sisäkehän ohitustaajuus:  

$$f_s = BPF I = \frac{N}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \beta\right) \cdot n$$

Vierintäelimen vikataajuus:  

$$f_v = BSF = \frac{D}{2d} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos \beta\right)^2\right] \cdot n$$

Pitimen vikataajuus:  

$$f_p = FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta\right) \cdot n$$

### KUVA 9. Esimerkki laakerin vikataajuuksien laskukaavoista [3, s.51.]

Värähtelyn signaalit voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan: matalataajuiset 0-2kHz, korkeataajuiset 2-50kHz ja erittäin korkeataajuiset yli 50kHz.

Matalataajuiset värähtelyt aiheutuvat rakenteellisista värähtelyistä, kuten yhdensuuntaisesta, epätasapainosta ja väljästä sovitteesta sekä pienehköjen laakerivaurioiden aiheuttamasta värähtelystä vierintäelinten vierieissä niiden yli.



Korkeataajuiset värinät aiheutuvat vierintäelinten vieriessä laakerivaurion yli. Tällöin syntyvät pienet impulssit kuljettavat energiaa laakeripesään, joiden aiheuttamat värinät vahvistuvat ja näkyvät hyvin laakeripesän ominaistajuuksilla.

Erittäin korkeataajuiset värähtelyt ovat alueella, jota kutsutaan akustiseksi emissioksi. Alueella yli 50kHz saadaan laakerista selvä signaali johtuen voitelukalvon katkeamisesta, jolloin syntyy metallinen kosketus.

Säännöllinen mittaaminen auttaa laakerivaurion huomaamisessa jo varhaisessa vaiheessa. Näin ollen tietyin aikaväleihin mitattuja taajuusspektrejä vertaamalla voidaan havaita resonanssitajuuksien tehollisarvon kasvu, joka viittaa laakerivikaan.

[3, s.50–51.]

## **4 VÄRÄHTELYMITTAUS**

### **4.1 Värähtelymittauksen perusteet**

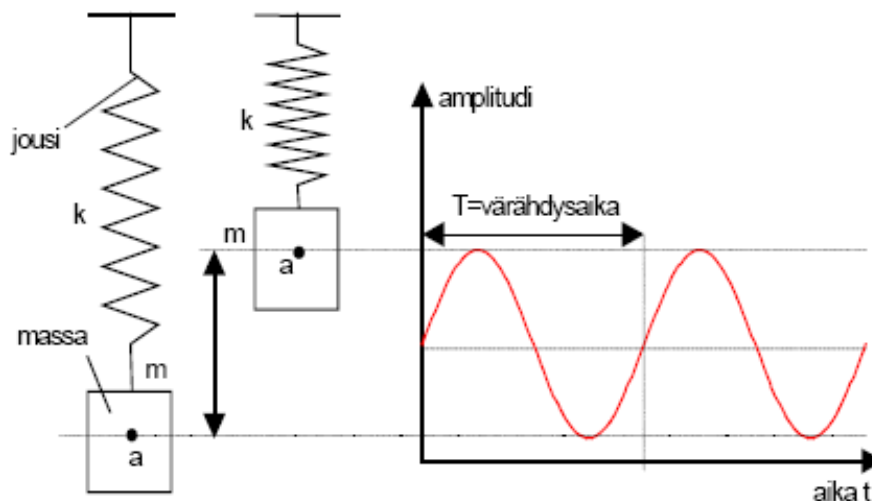
Käydessään kaikki koneet värähtelevät. Se aiheutuu yleensä valmistus- tai asennusvirheestä, epätasapainosta, vaurioituneista osista tai kulumisesta. Värähtelyn vaikutukset koneeseen ovat yleensä haitallisia, jos niitä ei ole tarkoituksella aiheutettu, kuten joissain seuloissa ja tiivistimissä on tehty. Haitallisuus ilmenee yleensä:

- väsymismurtumina
- liitostenlöystymisenä
- meluna
- käyttöiän alenemisena
- käynnin epävarmuutena
- energiahäviönä
- lopputuotteen laadun heikkenemisenä
- lisääntyneinä jännityksinä
- häiriöinä muille koneille lähistöllä

Kunnonvalvonnassa värähtelymittaukset ovat erittäin tärkeitä. Jos mittaukset tehdään luotettavasti, pystytään koneenosien kuntoa tarkastelemaan erittäin tarkasti. [1, s.40.]

Värähtelyä mitataan rungosta, mutta yleensä roottori tai akseli on se osa joka värähtelee tai aiheuttaa värähtelyä. Paras mittauspaiikka on lähimpänä laakeripesää, koska yleensä värähtely kulkeutuu laitteen runkoon juuri laakereiden kautta. Käytännön tärinämittausten tulokset tulkitaan pääasiassa eri taajuusalueilla mitattujen spektrien ja niitä vastaavien tärinän kokonaisarvojen perusteella.

Periaatteessa kaikki värähtelevät laitteet ovat jousi-massasysteemejä, koska mikään laite ei ole täysin jäykkä. Yksinkertainen esimerkki (yhden vapausasteen) värähtelevästä systeemistä on jousi-massasysteemi, joka esitetään kuvassa 10. (Yleensä yhden vapausasteen värähtelijät ovat todella harvinaisia ja yleensä koneella onkin vähintään 6 vapausastetta.) [1, s.40.]



**KUVA 10. Jousi-massasysteemin pisteen a värähtelyn esittäminen aikatasossa [3, s.9.]**

Kun massa  $m$  saatetaan liikkumaan, liikkuu se tasapainoaseman molemmiin puolin käyden maksimissa sekä positiivisella että negatiivisella puolella kerran värähdysliikkeen aikana. Yhden värähdysliikkeen aikana massa palaa takaisin lähtöasemaansa. Kuvassa 10 nähdään myös yhteen värähdysliikkeeseen käytettävä aika, jota merkitään kirjaimella T. Pisteen a piirtämän käyrän muoto on sinikäyrä. [4, s.7.]

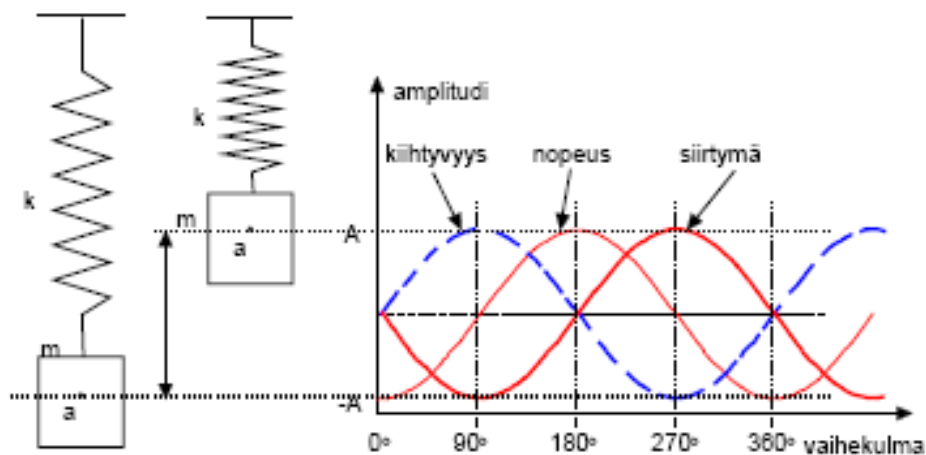
Kuvan 10 signaalista käytetään nimitystä aikatasosignaali. Vaaka-akselilla on siis aika ja pystyakselilla pisteen siirtymä eli liikkeen amplitudi. Värähdysaikaa  $T$  vastaa vaihekulma

$$\varnothing = 360 \text{ eli } \varnothing = 2\pi. \quad (2)$$

[4, s.7.]

## 4.2 Värähtelyn suureet

Edellä esitetyn siirtymän lisäksi yleisesti tarkastellaan nopeutta tai kiihtyvyyttä. Matemaattisesti nopeus saadaan derivoimalla siirtymä kertaalleen ajan suhteen ja kiihtyvyys joko derivoimalla siirtymä kahteen kertaan ajan suhteen tai nopeus kertaalleen.



**KUVA 11. Jousi-massasysteemin pisteen  $a$  siirtymä, värähtelynopeus ja – kiihtyvyys [4, s.8.]**

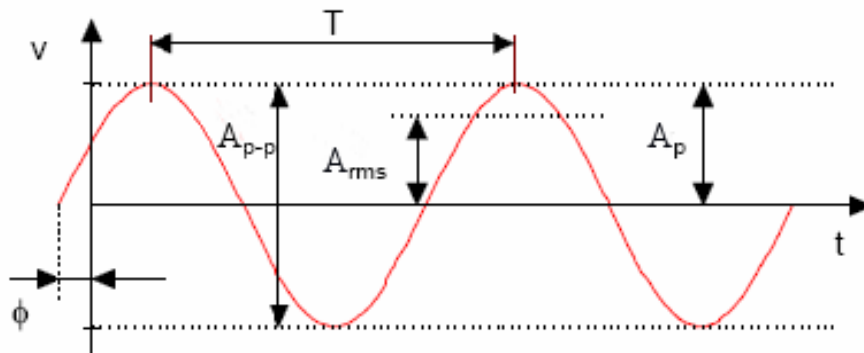
Kuvasta 11 nähdään, että siirtymällä nopeudella ja kiihtyvyydellä on sama muoto, mutta vaihekulma poikkeaa  $90$  astetta siten, että kiihtyvyys on  $90$  astetta nopeutta edellä, joka taas on vastaavasti  $90$  astetta siirtymää edellä. Kuvassa kaikkien käyrien amplitudit on piirretty samankorkuisiksi, mutta on huomattava, että niiden yksiköt eivät vastaa toisiaan. Yleensä Euroopassa käytetään taulukossa 2 esitettäviä yksiköitä. [4, s.8.]

**Taulukko 2. Euroopassa yleensä käytettävät värinämittaukseen liittyvät suuret ja yksiköt.[4, s.8.]**

Mitattava suure	Käytettävä lyhenne	Yksikkö
Siirtymä	$s$	$\mu m (= 1 / 1000 \text{ mm})$
Nopeus	$v$	mm/s
Kiihtyvyys	$a$	$m / s^2$ tai $g = 9,81 \text{ m} / s^2$
Vaihekulma	$\phi$	aste ( $^{\circ}$ ) tai radiaani ( $360^{\circ} = 2\pi \text{ rad}$ )

### 4.3 Yleisimmät värinämittauksen parametrit

Kuvassa 12 on esitetty edellä mainittuihin suureisiin liittyvät parametrit. Samoja parametreja käytetään myös nopeudelle, siirtymälle ja kiihtyvyydelle.



**KUVA 12. Yleisimmät värähtelysignaaliin liittyvät parametrit [4, s.8]**

$T$  = värähdysaika eli jakso

$A_{p-p}$  = huipusta-huippuun arvo

$A_p$  = huippuarvo

$A_{rms}$  = tehollisarvo

$\phi$  = vaihekulma

– Huippuarvo (peak) on yleinen tapa ilmoittaa värähtelysignaalin suuruus. Huippuarvo kertoo aikatasosignaalin itseisarvoltaan suurimman arvon mittaushetkellä.

– Huipusta – huippuun (p-p) arvo kertoo suurimman ja pienimmän arvon erotuksen.

Sinimuotoisessa värähtelyssä saadaan eri arvojen välille seuraavat yhtälöt:

$$A_{p-p} = 2 \times A_p \quad (3)$$

$$A_{rms} = 0.7 \times A_p$$

- Tehollisarvolla on yhteys tärinän sisältämään tehoon. Se on myös yleinen tapa ilmoittaa värähtelysignaalin suuruus. Siniaallolle tehollisarvo on huippuarvo jaettuna luvulla  $\sqrt{2}$  eli 0.707 kertaa huippuarvo. Signaalin muodon poiketessa sinistä, ei suhdeluku ole enää sama.
- Vaihekulma kertoo jakson kohdan, johon värähtely on edennyt vertailukohdasta. [1, s.52.]

Edellä mainituista yleisimmin käytössä on tehollisarvon mittaaminen. Nopeuden sallittuja tehollisarvoja käsittelee standardi PSK 5704, joka perustuu standardiin SFS-ISO 2372. Lähitulevaisuudessa edellä mainitut standardit korvataan ISO 10816-sarjalla. Vaikka tehollisarvo on yleisemmin käytössä, täytyy mittaustuloksia vertaillessa muistaa tarkistaa, että mittaukset on tehty samoilla asetuksilla, jos tulokset poikkeavat huomattavasti toisistaan. [4 s.9.]

#### 4.4 Värähtelyn esittäminen taajuustasossa eli taajuusspektri

Värähtelyn taajuus kertoo, kuinka monta värähdysliikettä sekunnissa tapahtuu. Taajuuden lyhenne on  $f$ , ja sen yksikkö on Hz (Hertsi) = 1 / s. Taajuuden määrittämiseksi aikatasosignaalista käytetään seuraavia kaavoja:

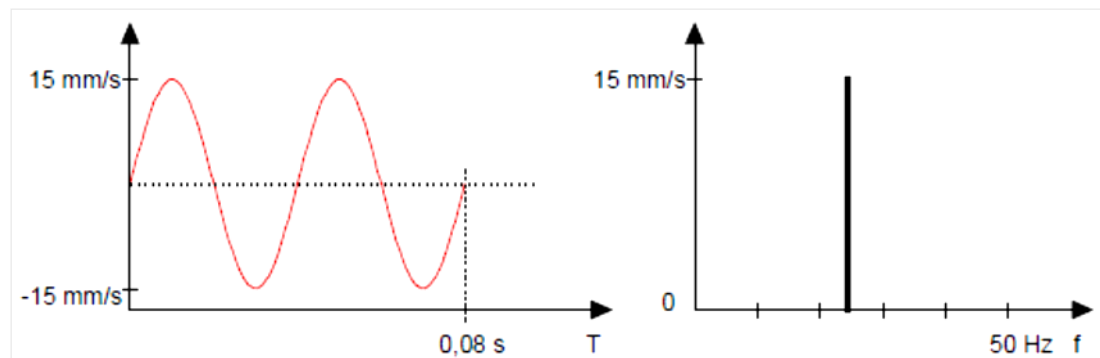
$$f = \frac{1}{T} \text{ jossa } f \text{ on taajuus ja } T \text{ on värähdysaika}$$

$$f = \frac{n}{t} \text{ jossa } f \text{ on taajuus, } n \text{ on värähdysten lukumäärä ja } t \text{ on aika.}$$

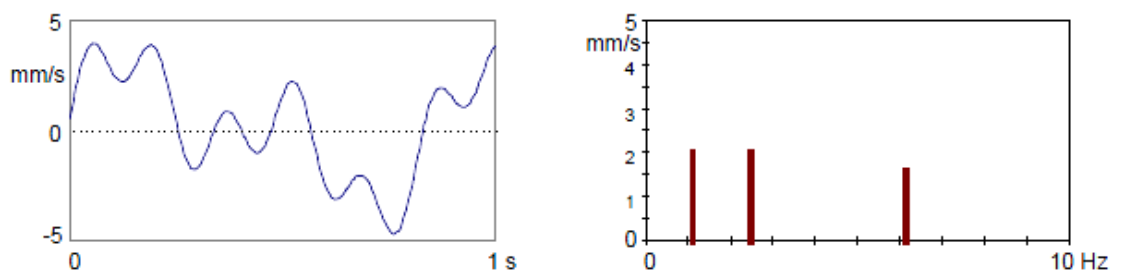
Esimerkiksi moottorin pyörimisnopeus on 1480 rpm. Jakamalla pyörimisnopeus 60:lla saadaan pyörimistaajuudeksi 24,66 Hz.

Suurin osa värähtelysignaalien analysoinnista tehdään taajuustasossa, koska aikatasossa tehtävä analysointi on haasteellista. Taajuustasossa vaak-akselina on taajuus ja pystyakselina amplitudi eli vaak-akselilta nähdään, mitä taajuuksia värähtelysignaali sisältää, ja pystyakselilta, kuinka voimakasta taajuuden värähtely on. Taajuustasoesitystä nimitetään taajuusspektiksi. Aikatasosignaali muutetaan yleensä taajuusspektiksi FFT-muunnoksella, jonka teoria tässä sivuutetaan. Yleensä käytössä olevat analysointit tekevät FFT-laskennan automaattisesti. [4, s.9.]

Kuvassa 13 on esitetty yksinkertaisin yhden taajuuskomponentin värähtelysignaali sekä aika- että taajuustasossa. Jo pelkästä aikatasosta värähtelyn taajuus nähdään selvästi. Kuvassa 14 on esitetty kolmesta siniaallosta koostuva signaali sekä aika- että taajuustasossa. Aikatasossa värähtelykomponenttien summasta on vaikea erottaa, mitä taajuuksia signaali sisältää. Taajuusspektristä yksittäiset taajuudet ja amplitudit voidaan erottaa helposti. Taajuusspektrissä yleisimmin käytettävä mittaussuure on nopeus tarkasteltuna siten, että amplitudit esitetään tehollisarvona, jolloin puhutaan tehospektristä. [4, s.10]



**KUVA 13.** Yksittäisen siniaallon esittäminen aika- ja taajuustasossa. Taajuusspektrissä pylvään korkeus kuvaa siniaallon amplitudia ja sen paikka vaak akselilla taajuutta [4, s.10.]



**KUVA 14.** Kolmesta siniaallosta koostuva värähtelysignaali esitettynä aika- ja taajuustasossa [4, s.10.]

#### 4.5 Värähtelysuureen valinta

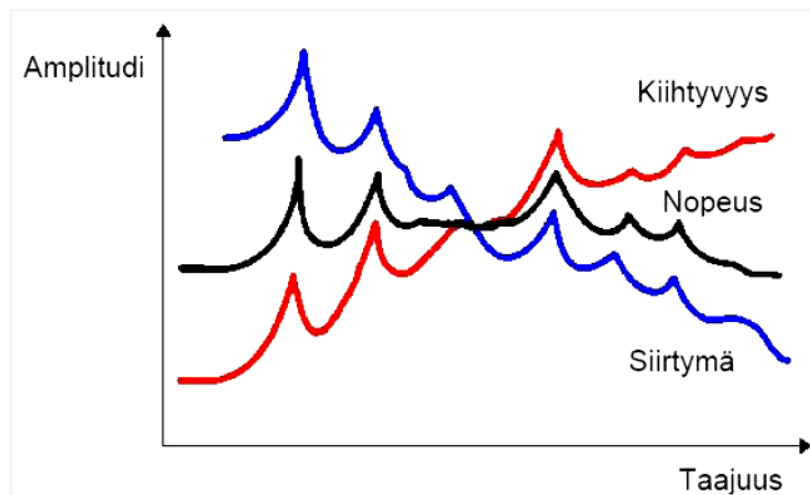
Mitattavan värähtelysuureen tulisi olla tarpeeksi herkkä havaitsemaan koneen kunnan muutoksen aiheuttamat tärinät. Mikäli voidaan olettaa, että koneesta tulee sekä korkeita, että matalia taajuuksia voidaan samassa mittapisteessä käyttää eri mittasuureita.

Yleisemmin tärinäsuurena käytetään nopeutta, koska sillä on melko hyvä herkkyys laajalla taajuusalueella. Värähtelyn sisältämä energia on myös verrannollinen värähtelynopeuteen, mikä myös puoltaa tämän suureen käyttöä. Monet standardit ja normit käyttävät värähtelynopeusarvoja kuvaamaan sallittuja ja ei-sallittuja värähtelyarvoja.[1, s.50.]

Siirtymä on järkevä mittaussuure hidaskäyntisille koneille, joiden kierrokset ovat alle 300 RPM ja jos viat ilmenevät matalilla alle 100 Hz taajuuksilla. Tällaisia vikoja saattavat olla mm. liukulaakeriviat, hihnaviat ja hitaasti pyörivien akselien linjausvirheet. Mikäli koneen viat ilmentävät itseään korkeilla taajuuksilla, kuten vierintälaakeriviat (iskut), on koneen hitaasta kierrosluvusta huolimatta käytettävä kiihtyvyyttä mittaussuurena. [1, s.50.]

Nopeakäyntisillä koneilla joiden kierrokset ovat yli 9000RPM ja viat ilmenevät korkeilla yli 1000Hz taajuuksilla on kiihtyvyys varmin mittaussuure. Tällaisia vikoja saattavat olla mm: laakeriviat, hammasviat vaihteistossa ja tietyt viat sähkömoottoreissa. [1, s.50.]

Kuvassa 15 esitetään siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyden vastaavuudet taajuustasossa. Kuvasta nähdään, että siirtymä korostaa matalia ja kiihtyvyys korkeita taajuuksia. [4, s.10]

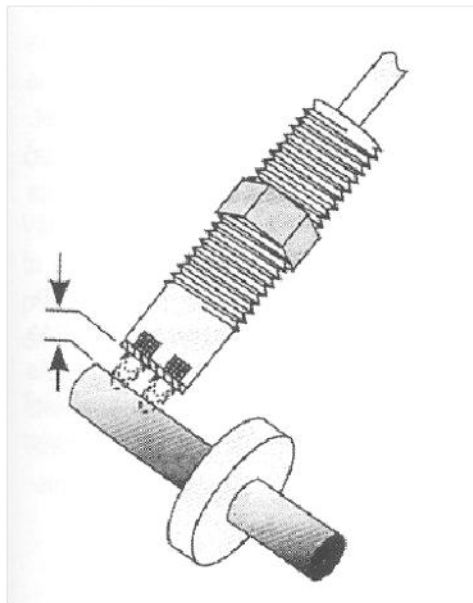


**KUVA 15. Siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyden vastaavuudet taajuustasossa**  
[4 s.10.]

#### 4.6 Värähtelymittausten anturit

Siirtymäanturilla eli pyörrevirta-anturilla (kuva 16) mitataan läheltä yleensä noin 2 mm etäisyydellä kiinnityskohdan ja tutkittavan kohdan välistä suhteellista liikettä. Anturin toiminta perustuu siihen, että sen päässä oleva anturi muodostaa magneettikentän, joka indusoi pyörrevirtoja kohtaamansa ferromagneettiseen pintaan. Pyörrevirrat aiheuttavat muutoksen kelan jännitteeseen anturin ja kohteen pinnan etäisyyteen verrannollisesti.

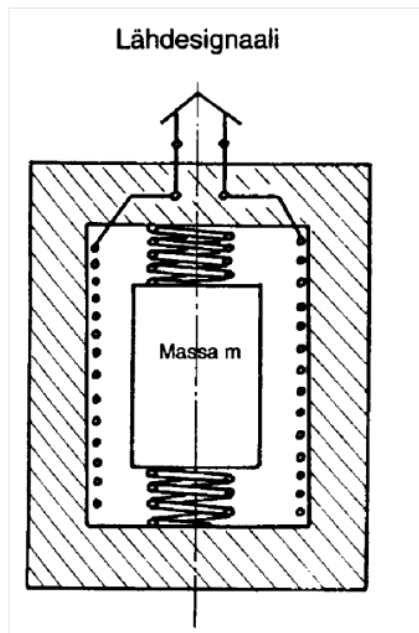
Tavallisin sovellus on anturien käyttö liukulaakeroitujen koneiden kunnonvalvonnassa. Siirtymäanturilla voidaan myös mitata akselin värähtelyn lisäksi pinnanmuodon muutoksia ja asemaa, akselin ratakäyriä ja sitä voidaan käyttää linjaustilan kunnonvalvonnassa. Siirtymämittaus on suositeltavaa hidaskäyntisille koneille. [1, s.49.]



**KUVA 16. Siirtymäanturin [1, s.49.]**

Nopeusanturina käytetään yleensä massa-jousianturia, joka on tyypillisesti hieman isompi kiihtyvyyssanturiin verrattaessa. Nopeusanturin kuorien sisällä on käämi, jonka sisällä on anturin päätyihin jousilla kiinnitetty magneettinen massa (kuva 17). Nopeusanturin värähdellessä mittauskohteen mukana seuraa jousitettu massa viiveellä anturin liikkeitä. Magneettisydän aiheuttaa käämiin värähtelyn nopeuteen verrannollisen jännitteen, josta saadaan mittaussignaali. Yleisesti nopeusanturia käytetään taajuuksialueella 10 – 1000 Hz. [1, s.47–48.]

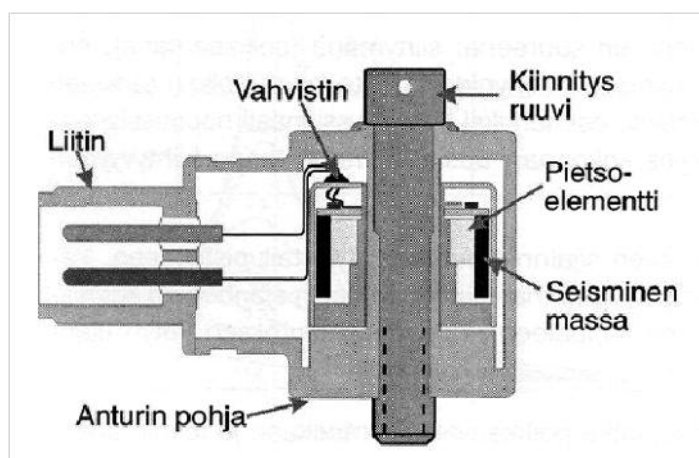




**KUVA 17. Nopeusanturi [1, s.47.]**

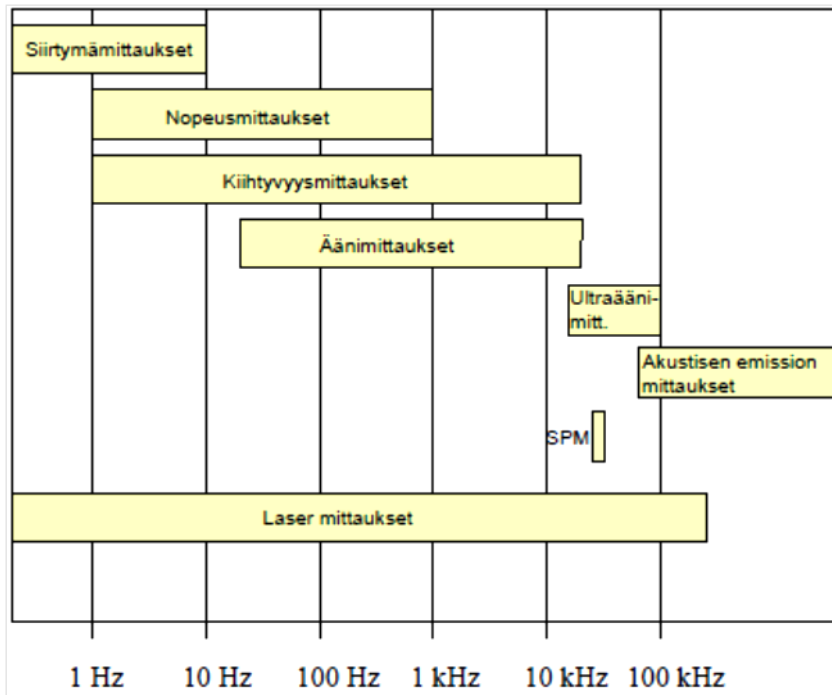
Kiihtyvyyssanturin koko vaihtelee erittäin pienistä nuppineulankokoisista nyrkinkokoisiin antureihin. Yleisesti ne ovat pieniä, koska niiden sisällä ei ole liikkuvia osia, niillä on laaja taajuusalue ja ne ovat edullisia. Toimintaperiaatteeltaan ne ovat yksinkertaisia (kuva 18). Antureissa on massa, joka on kiinnitetty piezoelektriseen kiteeseen. Kun kiihtyvyyssanturi kiinnitetään mitattavaan kohteeseen, se liikkuu yhtenevästi mittauskohdansa kanssa. Hitausvoimien vaikutuksesta massa joko hetkellisesti puristaa tai venyttää kiteä, johon syntyy anturin kiihtyvyyteen verrannollinen, jatkuvasti suuruuttaan ja etumerkkiään (+, -) vaihtava varaus. Tämän jälkeen varaus johdetaan vahvistimelle, jossa se muutetaan jännitteeksi, joka on anturin mittaussignaali.

[1, s.46–47.]



**KUVA 18. Kiihtyvyyssanturi [1, s.46.]**

Kuvassa 19 esitetään eri mittausten soveltuvuus mittaukseen laitteen värähtelytaajuuden mukaan.



**KUVA 19. Mittaustapojen taajuusalueet [4, s.11.]**

#### 4.7 Anturin kiinnitys ja mittapisteen valinta

Tässä osiossa käsitellään vain magneettikiinnitteisen kiihtyvyyssanturin käsittelyä ja jätetään muut anturit toisarvoiseksi, koska niitä ei tässä työssä käytetty.

Kiihtyvyyssanturit kiinnitetään mitattavaan laitteeseen magneetilla, ruuvilla tai käsin painamalla. Kiinnitystavan mukaan vaihtelee myös mitattava ylärajataajuus. Kiihtyvyyssanturin mitta-alue on yleensä noin 2 Hz – 14000 Hz, mutta anturin ominaisuudet ja kiinnitystapa vaikuttavat huomattavasti ylä- ja alarajataajuuksiin. Käsin painamalla ylärajataajuus jää vain 600 Hz. Magneettia käytettäessä ylin taajuus vaihtelee 800 - 4000 Hz pinnan tasaisuuden ja magneetin voimakkuuden mukaan. Ruuvikiinnityksellä voidaan päästä yli 20 000 Hertziin. [1, s.46.]

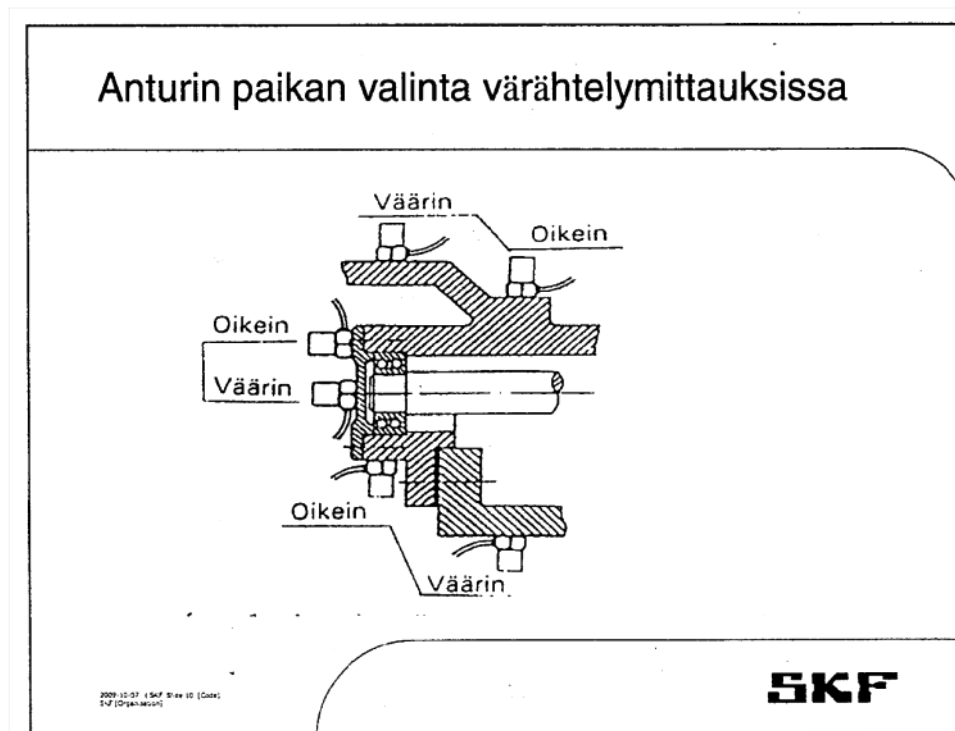
Magneetin kiinnityksessä täytyy olla erityisen tarkka, ettei anturi iskeydy pintaan suurella voimalla. Tämä voi halvaannuttaa laitteen joksikin aikaa tai pahimmassa tapauksessa rikkoa koko laitteen.[1, s.59.] Muita kiinnitystapoja on mehiläisvahakiinnitys, liimaus, nippakiinnitys ja teippaus kaksipuolisella teipillä [1, s.57–60.].

Standardissa PSK 5702 käsitellään mittauspaikan valinnan vaikutusta luotettavan mitausdatan saamiseen ja siten vikaantumisen havaitsemiseen. Kunnonvalvontamittauksissa pyritään suorittamaan mittaukset kunkin laakerin kohdalla kolmen keskenään kohtisuoraan suuntaan, vaakaan, pystyyn ja akselin suuntaan (kuva 20 ja 21). Jotkut viat ilmenevät toisistaan poikkeavissa suunnissa, ja vertailemalla eri suuntien mittaus tuloksia vikaantumisen ennustettavuus paranee. [2, s.26]

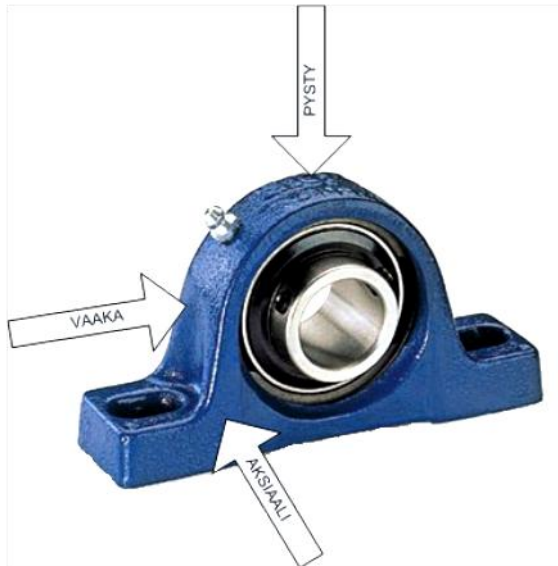
Mittauspaikan valinnassa on huomioitava seuraavat seikat:

- Värähtelylähde ja mittausanturi ovat lähellä toisiaan.
- Akseleiden värähtelymittauksissa mittauspaikat ovat laakerointikohdissa.
- Mittausanturin kiinnityspaikka tulee suojata ulkopuolisilta häiriötekijöiltä.
- Mittauspaikat tulee merkitä samalla tavalla tuotantolaitoksen sisällä.

[1 s.53–55; 2 s.26–27.]



**KUVA 20. Anturipaikan valinta värähtelymittauksessa [3, s.26.]**



**KUVA 21. Anturipaikan valinta [6]**

#### **4.8 Värähtelyvalvonnan tulkinnat ja tekniikat**

Tässä luvussa käydään läpi värähtelyvalvonnan mittaustulosten erilaiset tulkintatekniikat. Mittausarvo ei itsessään kerro tutkittavan komponentin kuntoa, vaan eri mittauskerroilla keskenään vertailukelpoisista tuloksista muodostetut kuvaajat antavat suuntaa tutkimiseen.

PSK 5706:n mukaisesti värähtelymittausten valvontamenetelmien valvottavat suureet perustuvat käytettävään mittaustekniikkaan, koneen rakenteeseen ja ennakoitavien vikatyypin perusteella tärinään, jota valvotaan nopeutena, siirtymänä, kiihtyvyytenä tai kiihtyvyyden derivaattoina. Tärinää valvotaan useimmiten nopeutena. Alle 10 Hz:n tärinää, eli pyörimisnopeudeltaan alle 600 rpm voidaan valvoa siirtymänä. Kiihtyvyyttä suositellaan käytettäväksi kun ylärajataajuus on suurempi kuin 1000 Hz. Siirtymän valvontaa käytetään myös liukulaakeroiduissa koneissa. [2, s.63; 1, s.80.]

##### **4.8.1 Aikatasovalvonta**

Aikatasovalvonnalla tarkoitetaan näytteen muodon vertaamista sovittuun hälytysrajaan. Hälytysrajaksi voidaan asettaa joko amplitudiarvo tai käyttää referenssimittauksen perusteella muodostettua hälytysrajakäyrää. [2, s.64.]

Kiihtyvyyssanturia käytettäessä aikatazon mittaussuureena on yleensä järkevintä käyttää kiihtyvyyttä tai sen aikaderivaattoja. Mittausta suorittaessa on kuitenkin huolehdittava, ettei kiihtyvyyttä mitata liian alhaisella taajuudella, muuten iskun aiheuttama vika saattaa jäädä täysin havaitsematta.

Aikatazon käyttö on kunnonvalvonnassa paljon työläämpää kuin yksinkertainen tunnuslukuvalvonta tai tietokoneavusteinen spektrivalvonta. Aikatazojen vertailu suoritetaan silmämääräisesti, joka vie rutkasti aikaa. Toimintaa voi nopeuttaa laskemalla ensin aikatazosta tunnusluvut ja vertailla kohtia joissa tunnusluvut ovat kasvussa.

Aikatazosta tärkeimmät laskettavat tunnusluvut ovat, huippuarvo, huipusta huippuun – arvo, huippuamplitudi, tehollisarvo ja huippukerroin. [1, s.83; s.51–52.]

Huippuarvo (peak) on yhdenlainetapa ilmoittaa värähtelysignaalin suuruus. Se kertoo mittausaikana vallinneen korkeimman hetkellisen amplitudiarvon. Huippuarvo on monien vikojen aikaisessa havaitsemisessa parempi kuin tehollisarvo. Esimerkiksi laakerivika tai hammasvaurio näkyy ensin huippuarvon kasvuna ja vasta myöhemmin tehollisarvon kasvuna.

Huipusta huippuun -arvo (p-p) on yleinen esitystapa siirtymiä mitattaessa. Se kertoo mittausaikana tapahtuneiden suurimman ja pienimmän arvon erotuksen, mikä voi olla merkittävä tieto erilaisissa välityksiin liittyvissä asioissa. Desibeli (dB) on yleinen tapa osoittaa mitatun arvon suuruutta erityisesti melumittauksissa. Se voidaan tulkita mitatusta arvosta  $A_m$  kaavasta:

$$dB = 20 \log \frac{A_m}{A_v} \quad (4)$$

Tällöin on myös tiedettävä, mikä on käytetty vertailuarvo ( $A_v$ ).

Huippuamplitudi on eräs tapa ilmoittaa värähtelysignaalin suuruus. Se saadaan kertomalla tehollisarvo tekijällä  $\sqrt{2}$ . Tätä arvoa ei pidä sekoittaa todelliseen huippuarvoon.

Tehollisarvo (rms) on tavallisin tapa ilmoittaa värähtelysignaalin suuruus. Matemaattisesti tehollisarvo kuvataan seuraavalla kaavalla:

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2 dt} \quad (5)$$

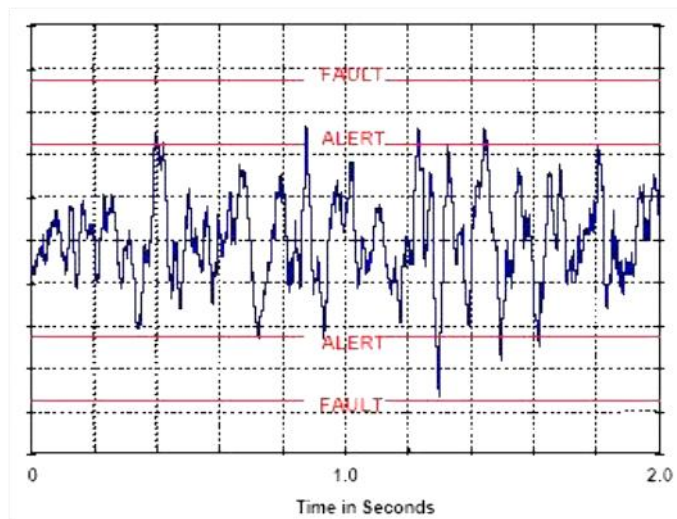
Tehollisarvo kuvaa melko hyvin värähtelyn keskimääräisen energiasisällön suuruutta. Hetkelliset arvot, kuten iskut, eivät kasvata sitä juuri ollenkaan.[1, s.51–52.]

Huippukerroin lasketaan kaavalla:

$$\text{Huippukerroin} = \frac{A_{pk}}{A_{rms}}. \quad (6)$$

Normaalikuntoisen koneen huippukerroin on lähellä kolmea. Iskumaisen vian kehittyessä huippukerroin rupeaa kasvamaan. Kun taas vikakehityksen loppuvaiheessa kerroin laskee taas lähelle kolmea, koska tällöin värähtelysignaalin tehollisarvo kasvaa yleensä voimakkaasti. [1, s.83.]

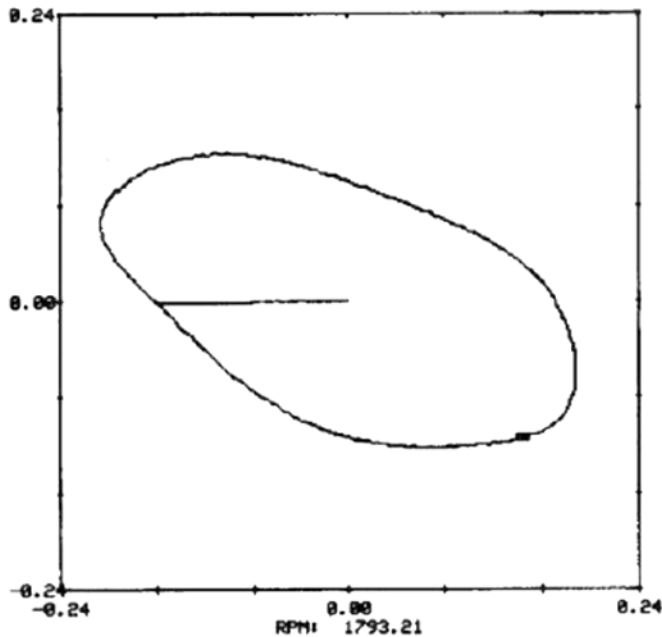
Kuvassa 22 on esitetty aikatason signaali, hälytysraja ja vaurioraja.



**KUVA 22. Aikatasovalvonta, jossa mittausignaalia verrataan hälytysrajaan [2, s.64.]**

#### 4.8.2 Ratakäyrävalvonta

Akselin ratakäyrän mittaus perustuu kahteen anturiin, jotka ovat asetettu 90°:n kulmaan toisiinsa nähden. Nämä anturit mittaavat suhteellista siirtymää. Näiden ulostuloista saadaan piirrettyä kuvio, jonka muotoa tulkitsemalla voidaan saada tietoa laakerin kunnosta. Menetelmää käytetään perinteisesti liukulaakereiden kunnonvalvonnassa. Kuvassa 23 on esimerkki ratakäyrävalvonnasta. [1, s.87.]

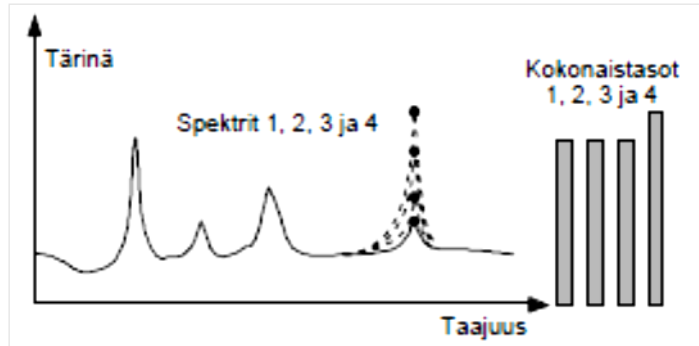


**KUVA 23. Akselin ratakäyrä [1, s.87.]**

### 4.8.3 Spektrivalvonta

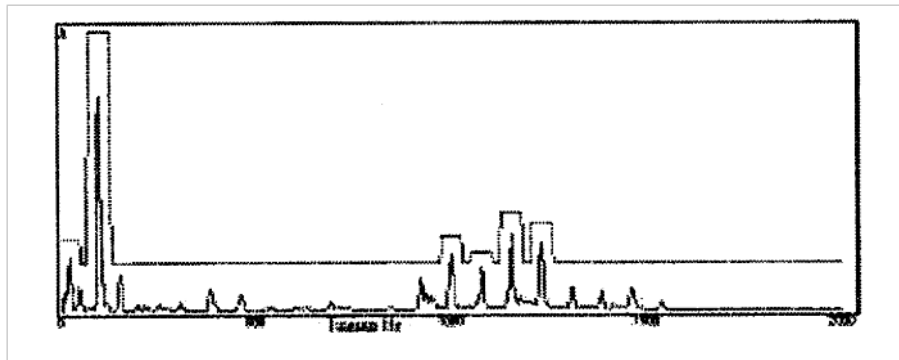
Värähtelyspektrit muodostetaan aikatasosignaalista joko FFT-laskennalla tai käyttämällä kapeakaistaisia taajuussuotimia. Spektrivalvonta on erittäin käyttökelpoinen monia eri osia sisältävän koneen kunnonvalvonnassa sekä erilaisissa vika-analyysissä. Etuna tässä on, että erottamalla eri koneenosista tulevan eri taajuudet ja niitä vastaavat värähtelyamplitudit pystytään yksittäisten koneenosien kuntoa tarkkailemaan ja arvioimaan. Tätä varten tarvitaan eri akselien kierrosnopeudet ja eri koneenosien rakenne tiedot. Tarpeellisia tietoja ovat esimerkiksi hammaspyörän hampaiden lukumäärä, vierintälaakereiden laakerityyppi ja -valmistaja, roottorin siipien lukumäärä jne. Näiden tietojen perusteella määritetään koneen eri vikataajuudet, jotka syötetään mittausjärjestelmään. Tämä helpottaa spektrien tulkintaa. [1, s.88.]

Todellisuudessa hyväkuntoisellakin koneella on yleensä pyörimistaajuuden spektrikomponentti, mikä johtuu mm. valmistusepätarkkuuksista. Koneen vikaantuminen näkyy taajuusspektrissä vikatyypistä riippuen eri taajuuksilla olevien spektrikomponenttien kasvamisena. Kuvassa 24 on esitelty neljä värähtelyn kokonaistason ja spektrin mittaustulosta vian kehittyessä. Kuvasta nähdään, että vian kehittyminen näkyy spektrissä selvästi aiemmin kuin kokonaistasomittauksessa. Tämän vuoksi kokonaistasomittaus ei ole tarpeeksi luotettava valvontamenetelmä useille vikatyypeille esimerkiksi laakerivaurioille. [4, s.13–14.]



**KUVA 24.** Spektrissä selvästi näkyvä vika saattaa näkyä kokonaistasoarvossa vasta myöhäisessä vaiheessa [4 s.14.]

Spektrivalvonta perustuu spektrimaskien eli hälytysrajaspektrien käyttöön (kuva 25). Jokaiselle mittauspisteelle tulee luoda oma maskinsa. Jos kone on muuttuvanopeuksinen tai – kuormainen, voidaan eri kierrosluku- ja kuormitusalueille luoda omat hälytysrajaspektrinsä. Mittauksista saadun vertailuspektrin avulla luodaan maski, jossa määritellään sopivat rajat taajuus- ja amplitudiarvojen vaihtelulle. Hälytysmaskeja voidaan luoda useampia, alin maski toimii hälytysrajana ja ylin vauriorajana. [1, s.90.]



**KUVA 25.** Spektrivalvonta [2, s.64.]

Jos koneessa on havaittu vikaa ja sen seurauksena koneelle on tehty tarpeelliset huolto- ja korjaustoimenpiteet, tulee sille suorittaa uusi vertailumittaus. Tämän mittauksen pohjalta luodaan taas kaikille mittapisteille uudet hälytysmaskit.[ 1, s.91.]

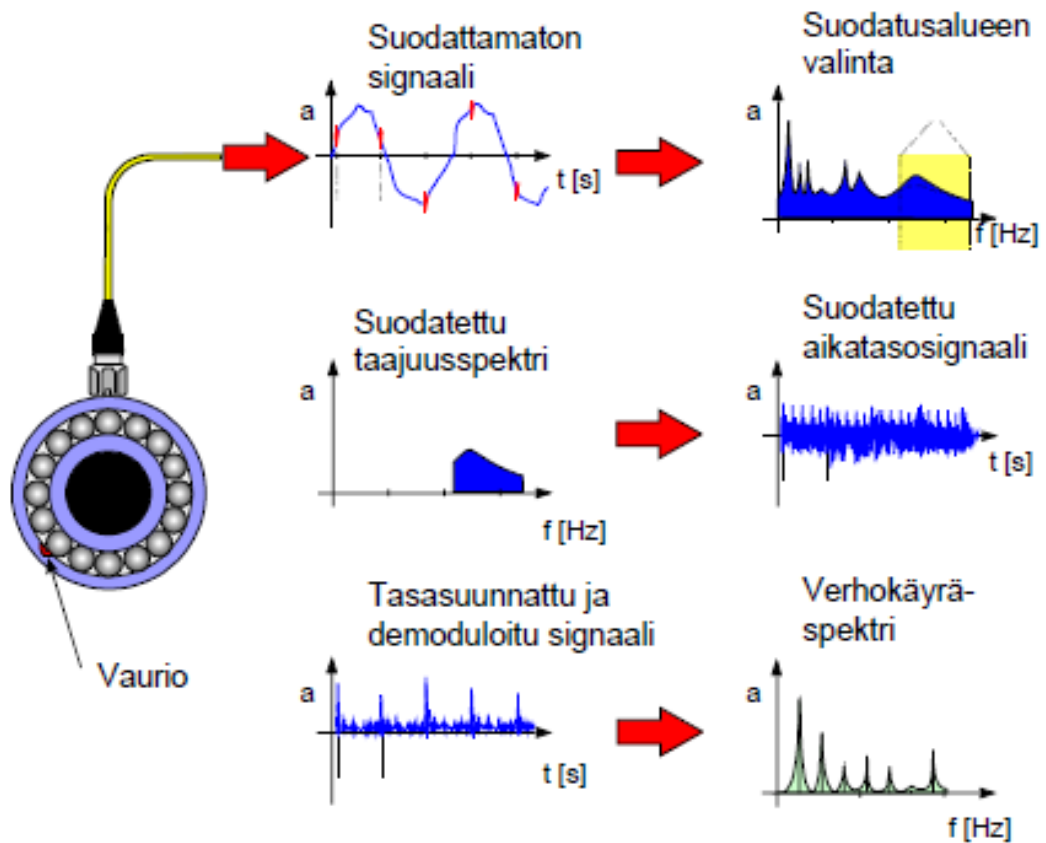


#### 4.8.4 Verhokäyrävalvonta

Liukulaakereiden kunnonvalvonta perinteisillä kunnossapidon keinoilla, kuten tärinän kokonaistasojen ja taajuusspektrien seurannalla, ei aina tarjoa riittävän luotettavaa ja varhaista indikaatiota kehittyvistä vaurioista. Alkavien laakerivaurioiden värähtelyvoimakkuudet ovat useimmiten niin heikkoja, että ne peittyvät mitattavasta koneesta tai muualta ympäristöstä tulevien värähtelyjen alle. Verhokäyräanalyysin (envelope-analyysi) avulla voidaan havaita laakerivauriot riittävän varhaisessa vaiheessa. Verhokäyräteknikan etuna tavalliseen nopeus- tai kiihtyvyyssignaalista tehtävään taajuusanalyysiin verrattuna on mahdollisuus suodattaa signaalista pois esimerkiksi epätasapainosta ja huonosta linjauksesta johtuvat tärinät, jotka yleensä peittävät alleen alkavat laakeriviat.[4, s.14.] Menetelmä onkin osoittanut luotettavuutensa erityisesti hitaasti pyörivien vierintälaakerien vikojen selvityksissä [1, s.74].

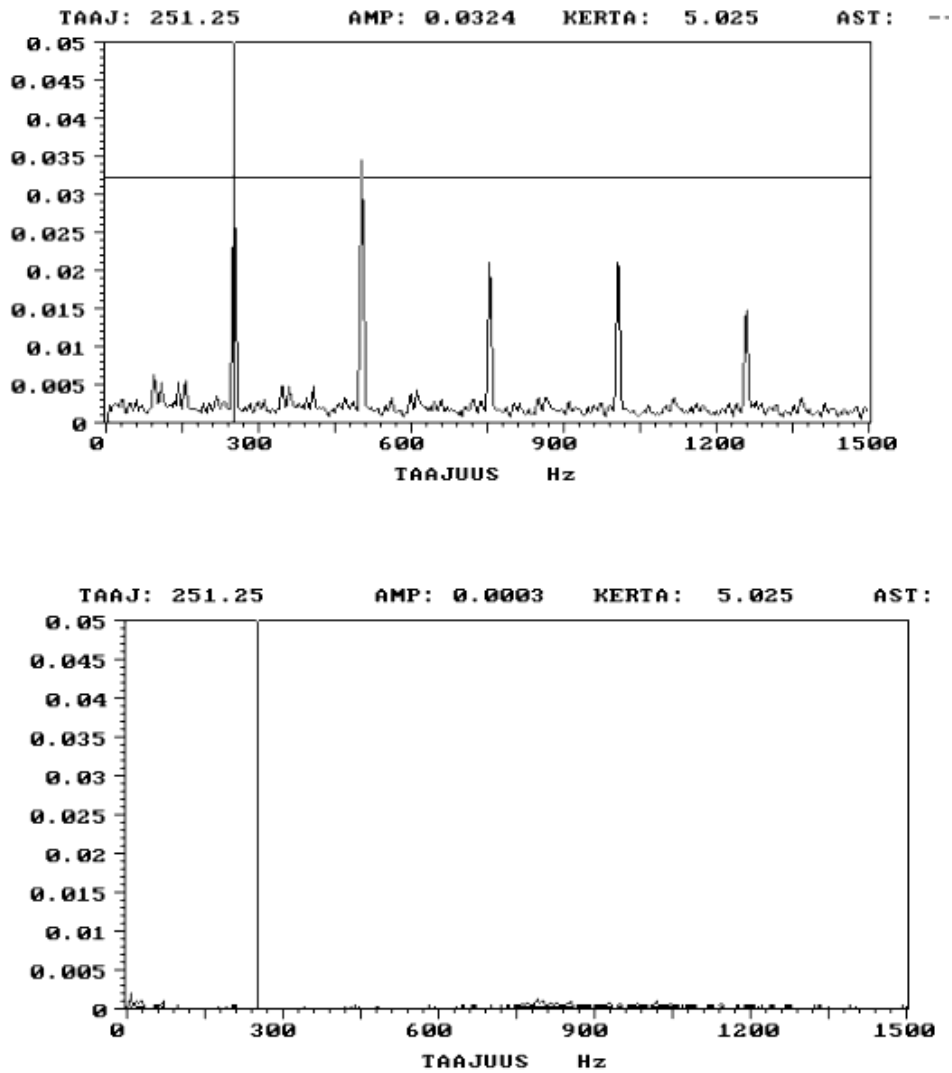
Verhokäyräanalyysi perustana on amplitudimodulaatio. Sillä tarkoitetaan signaalin kertomista toisella signaalilla eli kantoaallolla. Kahden signaalin summautuessa syntyy uusia taajuuskomponentteja ja sivunauhoja muodostaen kantoaallon taajuuden molemmille puolille. Amplitudimoduloituneen signaalin erottamista kantoaalloista kutsutaan demodulaatioksi. Ampli-demodulaatio on hyödyllinen analysoitaessa signaaleja, jotka sisältävät jaksollisia impulsseja. Yleensä tällaiset signaalit syntyvät koneen suurtaajuisten resonanssien herätessä. Vikadiagnostiikan kannalta kiinnostavin tieto löytyy yleensä juuri impulssien toistumistaajuudelta eikä itse impulssien taajuusisällöstä, mikä useimmiten muodostuu kaikista heränneistä resonanssitaajuuksista. [4, s.14–15.]

Kuvassa 26 on esitetty verhokäyrävalvonnan periaate. Laakerin ulkokehävaurio saa aikaan lyhyitä iskuja, jotka toistuvat jaksonaikana T. Signaalista suodatetaan purskeet sisältävä taajuusalue, jossa sijaitsee iskujen herättämä laakerin ominaistaajuus. Suodatetun signaalin vahvistuksen jälkeen siitä erotetaan kantoaalto pois tasasuuntaamalla ja demodulaatiolla. Tasasuuntaus voidaan toteuttaa ottamalla signaalista itseisarvo tai korottamalla se toiseen potenssiin. Demoduloidusta signaalista lasketaan vielä lopuksi niin sanottu verhokäyräspektri, missä näkyy selvästi laakerin vikataajuuksikomponentit. [1, s.74.]



**KUVA 26. Verhokäyräanalyysin periaate [1, s.75.]**

Verhokäyräspektrin ollessa tasainen laakeri on ehjä (Kuva 27). Vastaavasti taajuuspiikit verhokäyräspektrissä kertovat viasta, joka on helppo selvittää laskemalla laakerin vikataajuudet. Erityyppiset viat, kuten kuulan ja laakerin sisä- ja ulkokehävauriot, ovat selvästi erotettavissa verhokäyräspektristä.



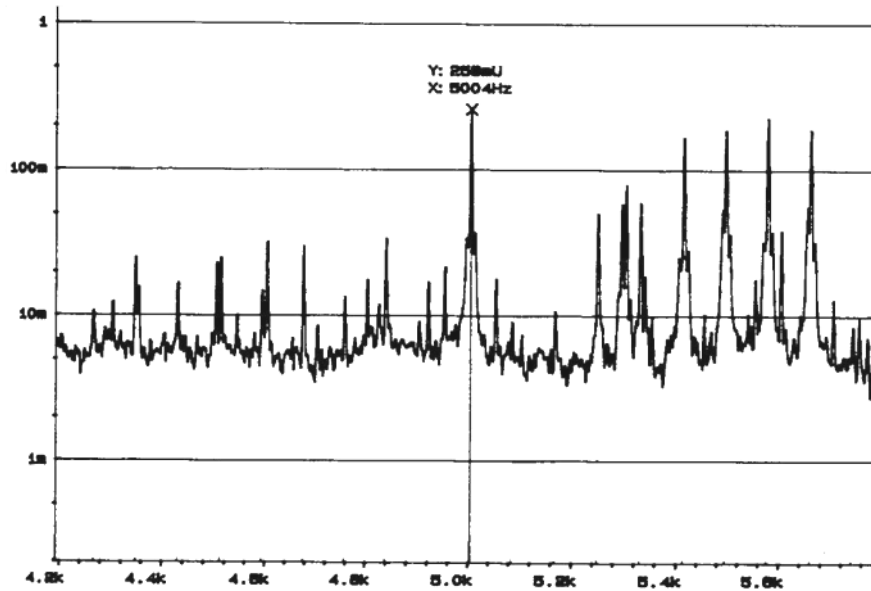
**KUVA 27. Verhokäyräspektri mitattu ennen ja jälkeen laakerin vaihdon [1, s.77.]**

Ylemmässä kuvassa on ulkokehävaurioisen laakerin verhokäyrä, jossa taajuuskomponentti  $f_u$  kerrannaisineen näkyy selvästi. Alemmassa kuvassa laakerin verhokäyräspektri vaihdon jälkeen, jossa ei näy vikataajuuskomponentteja. [4, s16.]

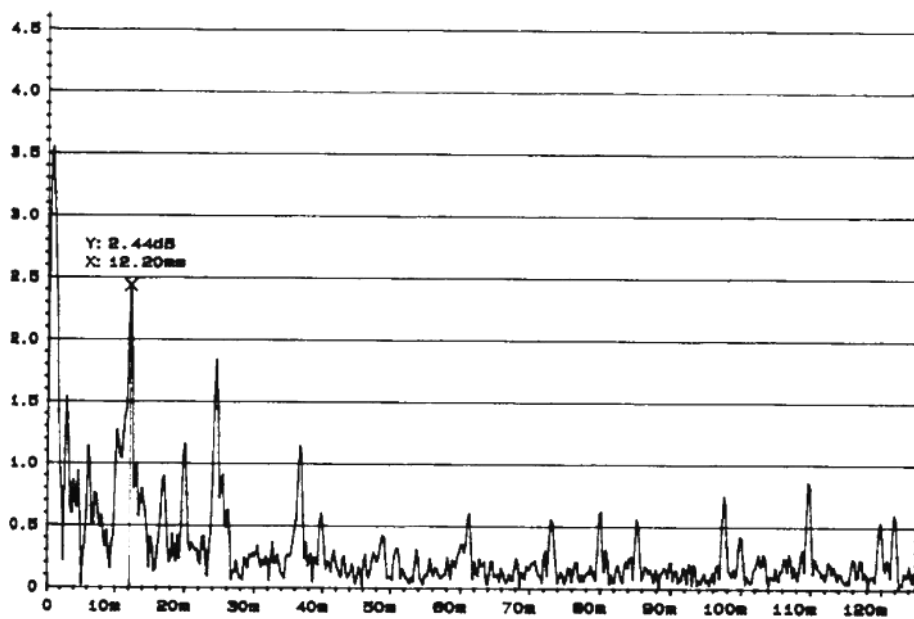
#### 4.8.5 Kepstrivalvonta

Kepstrivalvonnan perustana on mitattujen kepstrien vertailu ja eri amplitudien kasvun seuraaminen, kuten spektrivalvonnassakin. Kepstrivalvonnassa täytyy mittauksessa käytettävä taajuusalue valita oikein, jotta saavutettaisiin halutut tulokset. Kun amplitudi alkaa kasvaa kepstrissä taajuuden kohdalla, täytyy kone-elin selvittää, mihin tämä taajuus liittyy. [1, s.92.]

Kepstri on logaritmisen tehospektrin Fourier-muunnoksen neliö. Kepstri muodostetaan käsittelemällä spektri aikatason signaaliksi, josta muodostetaan uusi spektri. Jotta se olisi enemmän aikatason näköinen, on sen oltava logaritmisessa muodossa. Kepstrin esityksessä taajuusakselia vastaa taajuusakseli. Kuvassa 28 on mittaussignaalin spektri ja kuvassa 29 siitä muodostettu kepstri. [1, s.76.]



**KUVA 28.** Mittaussignaalin taajuusspektri [1, s.77.]



**KUVA 29.** Kuvan 26 taajuusspektristä muodostettu kepstri [1, s.77.]

Kepstrin esitysmuoto vastaa aikatazon muutosta taajuustason spektriiksi. Kun aikatazossa tietty säännöllinen tapahtuma toistuu ajan  $T$  välein, näkyy se spektrissä taajuudella  $f=1/T$ . Kun spektrissä esiintyy jaksollisuutta, eli siinä on spektriipiikki tietyn taajuuden  $f$  välein, näkyy se kepstrissä taajuudella  $j=1/F$ . Taajuuden yksikkö näissä on  $1/\text{Hz}$  eli sekunti. Käytännöllisemmin millisekunti. [1, s.76.]

Jotta kepstrianalyysi olisi tarpeeksi tehokas, mitattava signaali on ensin suodatettava halutulta taajuusalueelta. Esimerkki tällaisesta taajuusalueesta voi olla ryntötaajuuden ympärillä oleva 200Hz:n kaista.

Esimerkiksi jos hammasvaihteen ensiöakselin pyörimistaajuus on 50 Hz ja toisioakselin 12 Hz, näkyy spektrissä ryntötaajuuden ympärillä 50 Hz:n ja 12 Hz:n sivunauhat. Kepstrissä näitä vastaavat 20 ms (50 Hz) ja 83 ms (12 Hz) taajuudet. Kepstrivalvonnan tyypillisiä valvontakohteita on hammasvaihteistojen kunnonvalvonta, mutta sitä voidaan myös käyttää laakerivaurioiden selvittämiseen. [1,s.76; 2,s.66.]

## **5 KARKAISU-UUNIN PUHALTIMEN MOOTTORI- JA AKSELILAAKEREIDEN VÄRÄHTELYMITTAUKSET LUMON OY:LLÄ**

Tässä luvussa perehdytään karkaisu-uunien puhaltimen moottorilaakerien ja puhaltimen akselilaakereiden värähtelymittaukseen. Aluksi kerrotaan mitattavista laitteista niihin käytettävästä mittausdatan tulkintaohjelmistosta. Sen jälkeen selostetaan, miten mittaus tapahtuu ja miten mittausjärjestelmä toimii.

Kunnonvalvonnan tarve vaihtelee teollisuudessa eri prosessien ja koneiden kohdalla suuresti. Mittaustarpeita voidaan määrittää esimerkiksi seuraavien tekijöiden perusteella:

- laitteen kriittisyys tuotannon kannalta
- huollettavuus
- varaosien satavuus
- käyttöolosuhteet
- pyörimisnopeus
- laitteen käyttöteho
- luoksepäästävyys
- ympäristöolosuhteet

- häiriöherkkyys
- laitteen rahallinen arvo
- turvallisuusmääritykset.

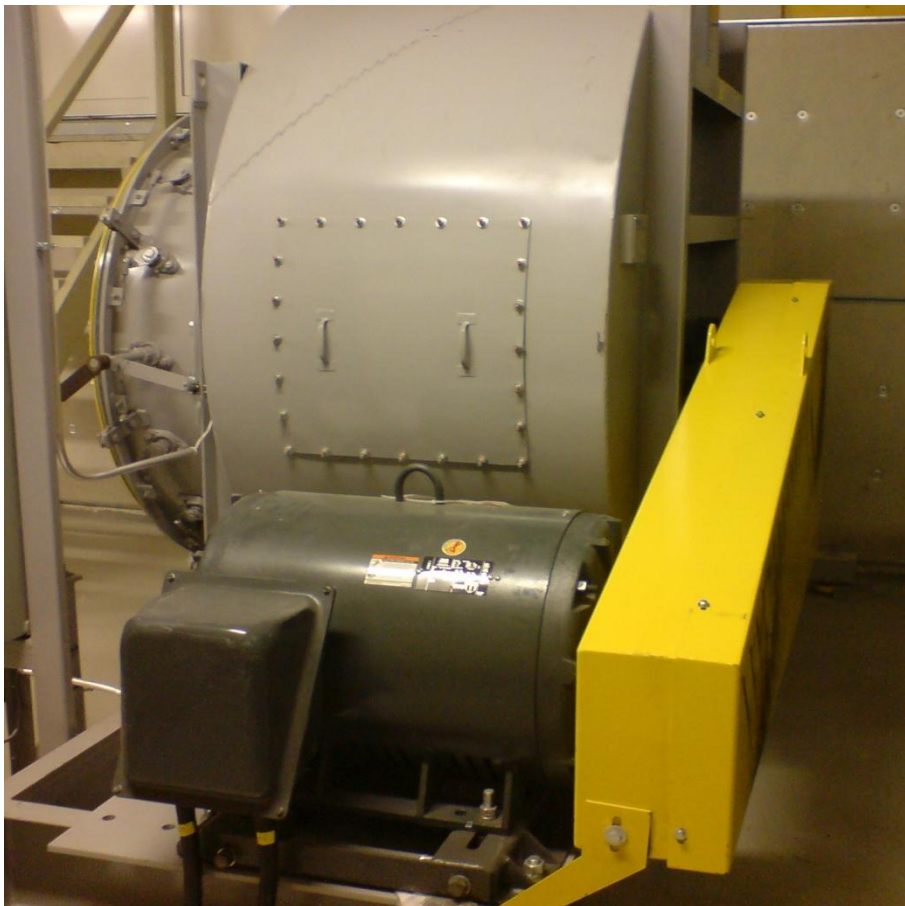
Näissä mittauksissa on käytetty kannettavaa mittalaitetta, jonka kanssa on tietyn aikataulun mukaisesti tehty niin sanottuja kiertomittauksia. Aikataulutetussa mittauksessa oletetaan, että vikaantuminen on hidasta suhteessa mittausväliin. Tähän on päädytty PSK 5705 standardin mukaan. Sen mukaan mittausväli määritellään ottamalla huomioon käytettävä valvontamenetelmä, kohteen kriittisyys, häiriöherkkyys, vikojen kehitysnopeudet ja kunnossapidon historiatiedot. Standardissa suositellaan ohjeellisesti tiettyjä mittausperiaatteita eri koneille niiden kriittisyyden ja käytön rasittavuuden perusteella. Kaikille kriittisille koneille suositellaan ensisijaisesti kiinteää järjestelmää, mikäli se on taloudellisesti järkevää. PSK5705 standarditaulukon mukaan puhaltimet, mitä tässä työssä käsitellään, eivät ole kriittisiä, ja niiden rasitus vaihtelee kovasta kevyeseen. Vikaantumisväli on siis pitkä ja isommasta kunnossapidosta vastaa erillinen huoltofirma. Näillä perusteilla koneille suositellaan jaksottaista kunnonvalvontamittausta, jossa mittausväli on 2 vk – 2 kk. [2, s.50–52.]

## **5.1 Valvottavat laitteet**

Työn kohteessa olevassa laitoksessa on neljä keskipakopuhallinta ja niiden moottorit. Toimittajana ja suurimmat huollot näille tekee Tamglass Engineering Oy. Puhaltimet ovat Kojan valmistamia, joista kaksi vanhempaa moottoria ovat Leroy Somerin AP 315 S-T mallia (Kuva 30) ja kaksi uudempaa Lincoln Motorsin Ultimate E -mallia (Kuva 31). Vanhemmat koneet ovat hankittu 1998 ja uudemmat 2006. Värähtelyvalvontaa näille koneille on tehty epäjaksollisesti vuodesta 2006.



**KUVA 30. Leroy Somer -moottori ja Koja -puhallin**



**KUVA 31. Lincoln Motors -moottori ja Koja -puhallin**

## 5.2 FAG Detector II -tiedonkeruulaite, Trendline 2.0 -analysointiohjelma ja SKF -takometri

### 5.2.1 Detector II ja kiihtyvyyssanturi

Mittauksissa käytetään Detector II:sta, joka on kannettava värähtelymittauslaite ja tiedonkerääjä (kuva 32). Se soveltuu erinomaisesti säännöllisesti suoritettaviin mittauksiin, kuten reittimittauksiin. Detector II:n tarkoitus on helpottaa koneen vaurioiden havaitsemista varhaisessa vaiheessa. Epätasapaino, linjausvirhe, laakeri- ja hammasvauriot voidaan havaita luotettavasti ja näin estetään odottamaton koneen alasajo. Lumon Oy:lle tämä laitteisto on hankittu 2006 ensisijaisesti laakerien kunnonvalvontaan, mutta joitain linjausvirheitäkin sillä on korjattu.

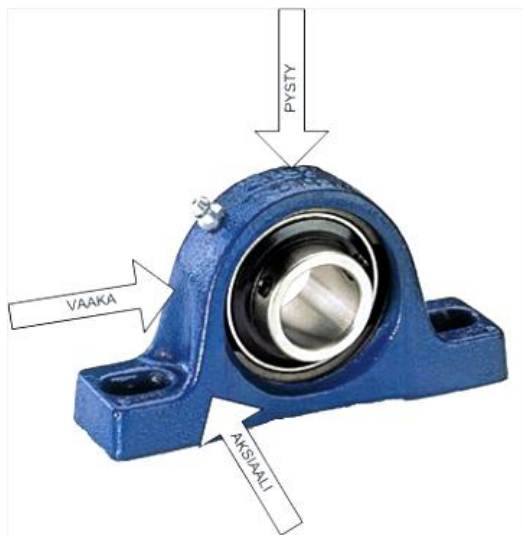


**KUVA 32. Detector II –tiedonkeruulaite**

Kannettavan Detector II:n etuja on sen keveys (450g), helppokäyttöisyys (6 näppäintä) ja alhaiset käyttökustannukset. Laite myös opastaa käyttäjää systemaattisesti mittapisteeltä mittapisteelle. Magneettikiinnityksestä johtuen anturin asentaminen on helppoa. Laitteella on myös mahdollista mitata muita, ei määriteltyjä mittaushohteita mitareitin aikana. Mahdollista on myös kuuntelu tavallisilla kuulokkeilla, joissa on 3,5 mm liitäntä. Laitteeseen kuuluu myös infrapuna-anturi, jolla voidaan mitata kohteen lämpötilaa (−15 °C ... 250 °C).



Mittausanturina laitteessa on kiihtyvyyssanturi, jonka toimintaperiaate on selitetty luvussa 4.6. Käytetty yleismallin anturi on ICP-standardin mukainen, jonka herkkyys on 100mV/g. ICP-anturia (Integrated Circuit Piezoelectric) nimitetään aktiiviseksi, koska sen vahvistin saa virtansa Detectorista. Maksimi ulostulojännite anturilla on 5 V. Anturin kiinnityksessä tulee olla erityisen huolellinen, jotta anturi oli täysin tasaisella ja tukevalla pinnalla. Myös anturin kiinnitys tulee tapahtua erittäin varovaisesti, jottei anturi hajoaisi tai mittauksiin tulisi epätarkkuuksia. Kiinnityspisteet ja suunnat (kuva 33) suoritettiin mittauksissa PSK5702 mukaan niin puhaltimen laakereille kuin moottoreillekin. [8.]

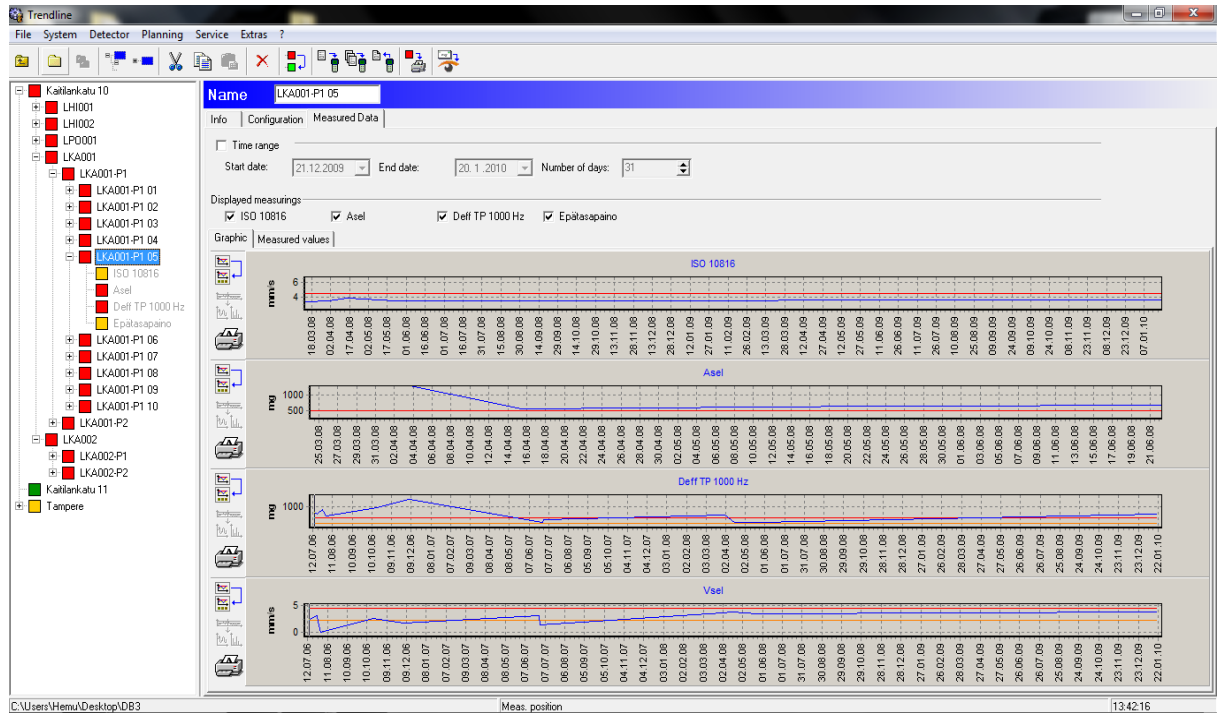


**KUVA 33. Anturin kiinnityspisteet ja suunnat [6.]**

Laite mittaa ja tallentaa koneen tärkeimmät värähtelyarvot. Standardissa määriteltyjen yleisten värähtelyjen lisäksi (esim. ISO 10816-3) laitteella voidaan mitata myös muita ominaisarvoja, jotka on määritelty mitattavalle koneelle. Tämä mahdollistaa minkä tahansa valvottavan taajuuskaistan valvomisen ja määrittämisen taajuusalueella 2 Hz – 20 kHz. Ominaisarvot voidaan myös määrittellä verhoikäyräspektristä. Laite tallentaa aikasiinaalit automaattisesti, mikä mahdollistaa myöhemmin suoritettavan syvällisemmän spektrianalyysin. [7.]

## 5.2.2 Trendline 2

PC-tiedostonhallintaohjelmassa käytössä on Trendline 2. Sen avulla voi luoda mittausreitit haluamallaan tavalla ja siirtää ne yksinkertaisesti kaapelin avulla Detector tiedonkeräyslaitteeseen. Kun mittalaitteella on kerätty tarvittavat arvot ja tiedot, ne siirretään takaisin PC:lle. Ohjelma säilyttää mitatut arvot tietokannassa, josta niitä voidaan tulkita halutulla tavalla. Hälytysraporttien luominen tapahtuu automaattisesti. Sillä voi myös hälytystapauksissa tehdä tarkemman analyysin mitatuista signaaleista aikatasossa ja taajuusspektrissä. Ohjelman heikkous on se, että ohjelmassa ei ole sisäisesti tallennettu eri laakerien kokoja ja värähtelyarvoja, niin kuin joissain laajemmista ohjelmissa. Ne siis täytyy etsiä itse ja tulkita kuvista silmämääräisesti. [8.]



**KUVA 34. Trendline 2 -ohjelmasta, mittausreitistä ja trendinäkömä P1 05 mitatuista arvoista**

Kuvassa 34 on melkein kaikki ”liikennevalot” punaisella, eli hälytysrajat ovat ylittyneet. Koska ohjelmaan ei ole vielä määritelty oikeita hälytysrajoja vaan värähtelyjen tulkinta on ollut täysin silmämääräistä. Hälytysrajat voitaisiin muodostaa PSK 5704 - ja ISO 10816-3 standardin mukaan.

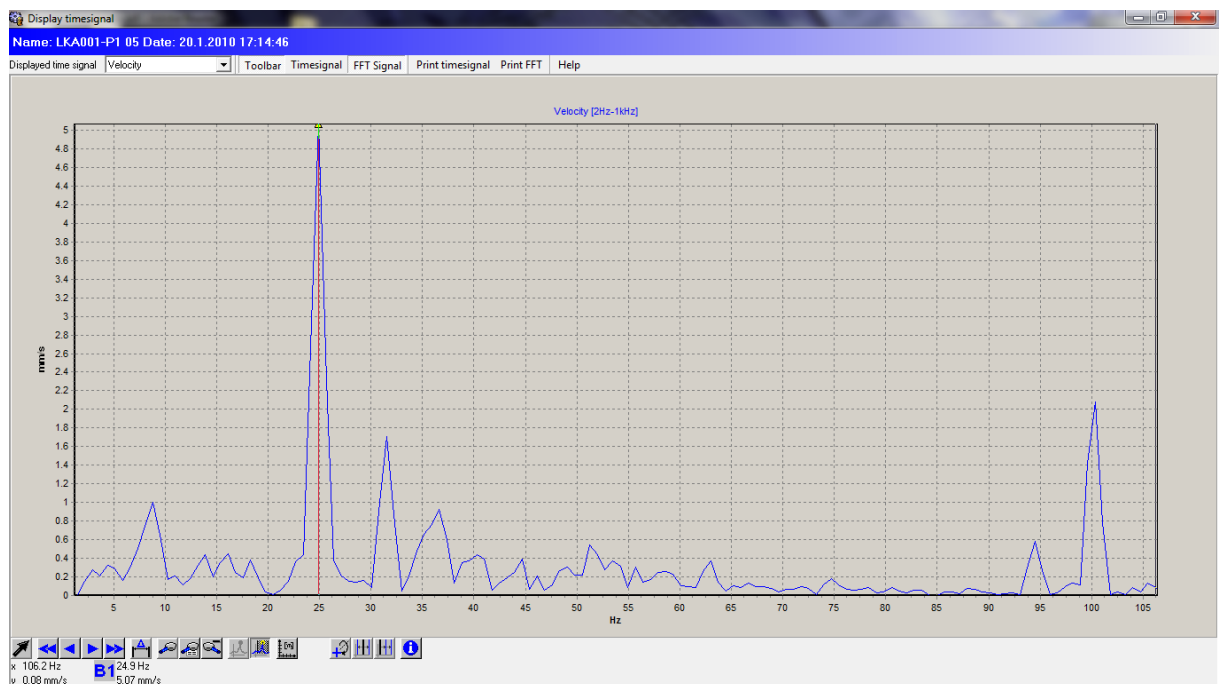
### 5.2.3 SKF TMRT 1 -takometri

Työssä käytettiin myös SKF:n TMRT 1 -takometriä, jolla mitattiin laseria käyttäen moottorin ja puhaltimen akselin kierrosnopeus (Kuva 35). Tällä takometrillä voi myös mitata nopeutta kosketuksen avulla, mutta tässä tapauksessa nopeus oli turvallisinta mitata laserin avulla.



**KUVA 35. SKF TMRT 1 –takometri**

Kierrosnopeuden näkee myös selvästi Trendline ohjelmassa valitsemalla esimerkiksi nopeus kuvaajasta spektrin (kuva 36). Tässä tapauksessa kierrosnopeus oli 1494 rpm eli  $1494 \text{ rpm}/60 \text{ s} = 24,9 \text{ Hz}$ .



**KUVA 36. Nopeuden spektrimuunnos pisteestä P1 05, kierrosnopeuden taajuus 24.9 Hz**

### 5.3 Mittaukset

Mittauksia ennen jokaiseen moottoriin ja laakeripesään on tehty tussimerkintä mitta-paikasta. Tämä helpottaa mittauksia, mittaukset tulee tehtyä samasta pisteestä oikeassa järjestyksessä ja virheiden määrä vähenee. Näiden merkintöjen jälkeen Drendline PC -ohjelmalle on tehty mittausreitti, johon on merkitty kaikki mittapisteen paikkakoodeineen. Tämän jälkeen mittausreitti on siirretty kaapelin avulla kannettavaan Detector mittalaitteeseen.

Kummallakin vanhemmalla puhallinkokonaisuudella mittapisteitä on kymmenen ja kummallakin uudemmalla kuusi. Uudemmassa on kuusi, koska neljän muun kohdan mittaaminen oli mahdotonta kannettavan mittalaitteen kanssa. Näille mittapisteille olisikin suositeltavaa asentaa kiinteät anturit, jotta mittauksia pystyttäisiin suorittamaan. Myös muihin mittapisteisiin tulisi kiinnittää hieman huomiota. Näihin olisi esimerkiksi hyvä hitsata tai liimata täysin tasaiset mittakohdat. Näin saataisiin taas paljon tarkempia mittaustuloksia.

Mitattavia laakereita on yhteensä 16, yhdellä puhallinkokonaisuudella siis neljä. Jokaisen laakerin kohdalla värähtelyjä mitattiin sekä pysty- että aksiaalisuuttaan, lukuun ottamatta kahta uudempaa puhallinta, joista jäivät yhden laakerin mittaamatta mittauspisteen hankalan sijainnin vuoksi.

Mittaukset suoritettiin puhaltimien ollessa ”täydellä teholla” ja ilman että karkaisuunissa tapahtui karkaisua. Näin moottoreiden ja puhaltimien kierrosnopeuksiksi tuli:

LKA001-P1 moottori: 1490 rpm = 24,8Hz

puhallin: 1880 rpm = 31,3Hz

LKA001-P2 moottori: 1490 rpm = 24,8Hz

puhallin: 1880 rpm = 31,3Hz

LKA002-P1 moottori: 1480 rpm = 24,7Hz

puhallin: 2030 rpm = 33,8Hz

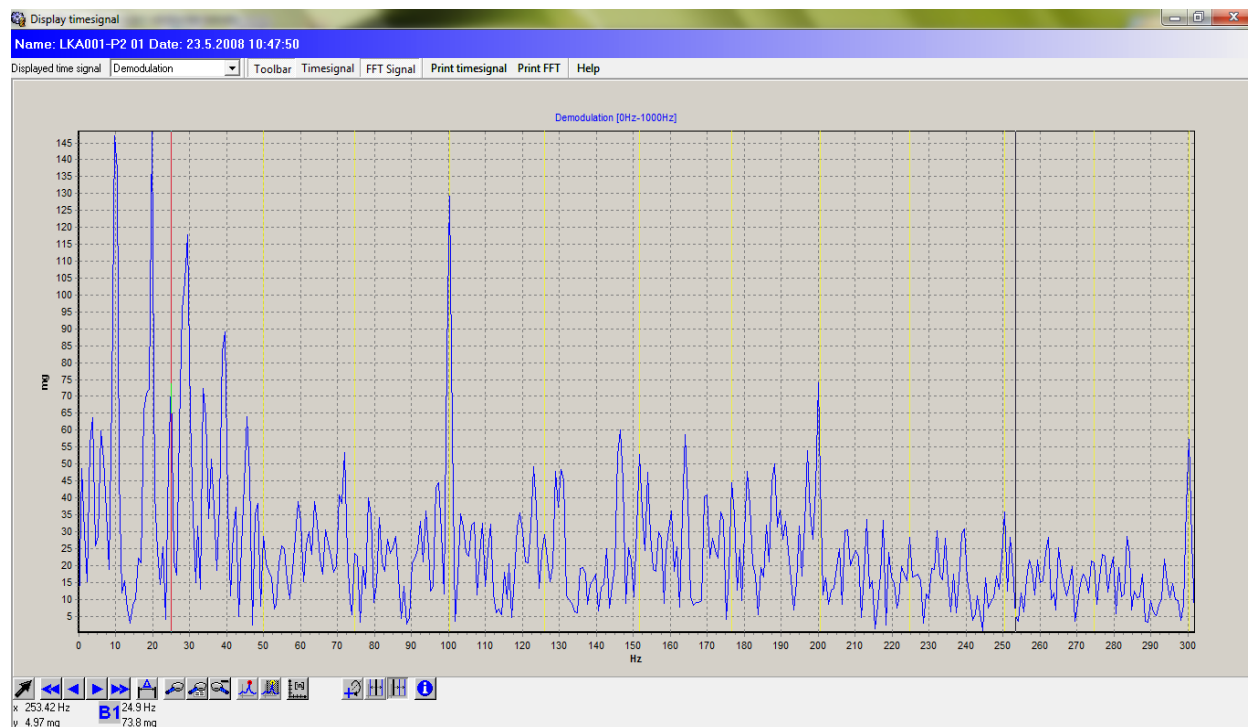
LKA002-P2 moottori: 1480 rpm = 24,7Hz

puhallin: 1410 rpm = 23,5Hz

Seuraavaksi etsittiin koneen tiedoista kaikki laakerit, mitä työssä oli tarkoitus mitata. Aikaisemmin mittauksia ei ollut verrattu laakereiden vikataajuuksiin, koska mittauksia oli tehty vain suuntaa antavan mittauksena. Kaikki mitattavat laakerit ovat SKF:n tuotevalikoimasta, ja niille saatiin vikataajuudet koneen oikealla kierrosmäärällä SKF.com -nettisivuilta.

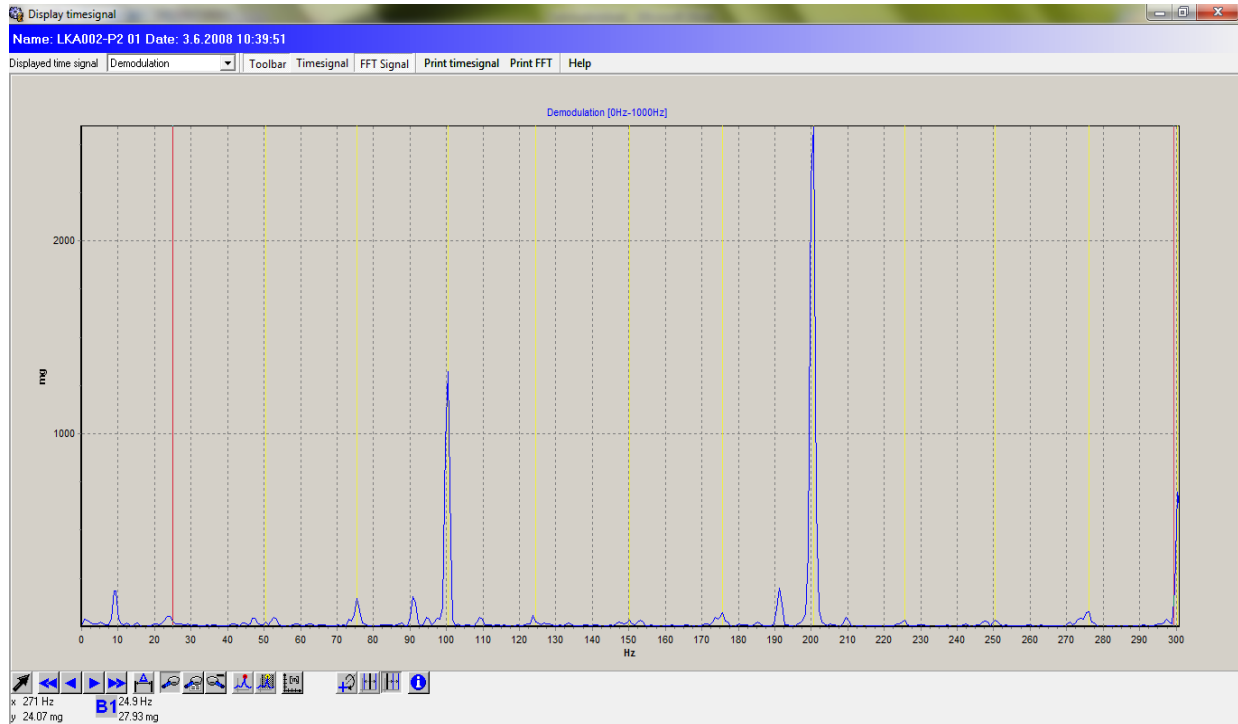
Kun laakerien vikataajuuksia verrattiin laakerien värähtelykaavioihin, ei niistä löytynyt yhtään viallista laakeria. Tämän selittää se, että toinen kone oli vastikään hankittu ja toinen huollettu niin, ettei vikoja ollut päässyt vielä kehittymään. Vanhemmasta koneesta saattoi joitain vikataajuuksia löytyä, mutta arvot olivat vielä erittäin pieniä todellisen vian havaitsemiseksi.

Esimerkkinä kuva 37 ja kuva 38 vanhemman moottorin demoduloitu FFT -signaali sisärenkaan vikataajuutta 24.9 Hz tarkastellessa, mikä on sama kuin moottorin kierros-luku 1490 rpm muunnettuna hertseiksi. Tarkastelu suoritettiin taajuusvälillä 20-300 Hz, jossa ei havaittu vikaantumista vikataajuudella.



**KUVA 37. Laakerin 6316 vikataajuus 24.9Hz. Mittapiste LKA001-P2 01.**

Kuvassa 38 on tarkasteltu uudemman moottorin demoduloitu FFT -signaali sisärenkaan vikataajuutta 24.9Hz. Kuva taajuusalueelta 20Hz – 300Hz. Uudempaa kuvaa verrattaessa vanhemman koneen vastaavaan värähtelykuvaan huomataan, että uudessa koneessa värähtely on hyvin vähäistä.



**KUVA 38. Laakerin 6315 vikataajuus 24.9Hz. Mittapiste LKA002-P2 01.**

Koska mittauksista ei löytynyt yhtään vikaantunutta laakeria, voidaan koneiden toimintaan olla erittäin tyytyväisiä. Jotta koneet ja erityisesti niiden laakerit pysyisivät tästäkin eteenpäin kunnossa, täytyisi niiden värähtelymittauksia suorittaa säännöllisin väliajoin. Erityisesti huollon tai uuden koneen hankinnan jälkeen on syytä tehdä huollolliset mittaukset, jotta saadaan tarkat lähtöarvot värähtelyille. Näistä ja tulevista säännöllisistä mittauksista on hyvä seurata vikaantumisen kehitystä. Näin ollen värähtelymittaus on hyvä ennakkohuollon työkalu, jolla pystytään välttämään katkot tuotannossa. Sitä soveltamalla eri koneiden värähtelyihin se on korvaamaton ennakkohuollon työkalu.

## 6 YHTEENVETO

Kunnossapito on laaja ala, ja se käsittää paljon muutakin kuin huollon. Kokonaistuotavuuden ja luotettavuuden lisäämisen seurauksena on alettu suosia entistä enemmän koneiden kuntoon perustuvaa kunnossapitoa, jossa kunnonvalvonnalla on iso rooli. Usein kunnonvalvonta edellyttää melko kehittyneitäkin mittauksia ja analyysyjä. Niitä kannattaa kuitenkin tehdä ja kehittää silloin, kun voidaan, jotta estettäisiin merkittävien vahinkojen muodostuminen.

Värähtelyanalysointilaitteena Detector II osoittautui erittäin hyväksi kunnossapidon työvälineeksi. Vaikka tutkituista laakereista ei vikoja löytynyt, on laite erittäin hyödyllinen kunnossapidon kannalta. Vikaantumattomuus johtui siitä, että osa koneista oli vastikään hankittu ja loput huollettu niin ettei vikoja ollut ehtinyt vielä kehittyä.

Kunnossapidon kannalta värähtelyanalysointilaitteen kunnollinen käyttöön ottaminen, kannettavan laitteen päivitys Detector III:een ja ohjelmiston päivitys Trendline 3:een olisi kuitenkin suositeltavaa. Myös muutaman kiinteän mittarin lisääminen uudempiin koneeseen olisi hyväksi, jotta kaikki puhaltimiin kuuluvat laakerit saataisiin mitattua. Analysointilaitteet soveltuvat hyvin vian hakuun, reittimittauksiin, tasapainotuksiin ja käyttöönottotarkastuksiin. Ajoitettujen reittimittausten avulla saadaan selvää tietoa koneen käynninaikaisesta kunnosta ja tarvittavat remontit pystytään ennakoimaan mitaustulosten perusteella. Tämä tuo taloudellista säästöä laitokselle vähentämällä vikaantumisen aiheuttamia seisokkeja.

Opinnäytetyöni osoittautui hyvin haasteelliseksi, ja erilaisia työvaiheita oli paljon. Aluksi selvitettiin mitattavat kohteet ja mittareitit. Laitetietoja kootessa oli ongelmia tietojen saamisen kanssa. Kaikkia tietoja ei ollut koneiden tehdastietokannassa, luultavasti niitä ei ollut saatu alun alkujakaan laitteita hankittaessa. Osan tiedoista sain suoraan valmistajalta, osan kaivoin esille verkosta ja jonkin osan löysin tehdastietokannasta.

Seuraava vaihe oli luoda mittareitit Trendline -ohjelmistoon ja siirtää ne kannettavaan mittalaitteeseen. Tämän jälkeen suoritettiin mittaukset ja niiden analysointi.

Oman kehityksen kannalta opinnäytetyö on ollut opettavainen. Mittareitin laadinta kaikkine vaiheineen, mittausten tekeminen ja tulosten analysointi on opettanut hyvin paljon.

Nykyaikaisilla mittalaitteilla saadaan paljon tietoa koneiden kunnosta. Tuloksia voisi parantaa luomalla hyvät perusvalmiudet mitattavaan kunnonvalvontaan. Kaikki uudet kriittiset laitteet pitäisi tilata kiinteät mittauspisteet valmiiksi asennettuina tai ne pitäisi asentaa hetimiten. Tällä tavoin saataisiin varmuutta mittaustulosten oikeellisuuteen heti alusta alkaen.

Värähtelymittareiden ja ohjelmien hinnat ovat halventuneet, joten tämäkään ei pitäisi olla iso este yrityksille laitteiden hankinnassa. Värähtelymittauksen hyödyntäminen kunnonvalvonnassa antaa nopean yleiskuvan laitteiden kunnosta. Panostamalla perusasioihin saadaan säästöä jo pikaisella aikajänteellä.



**LÄHTEET**

- 1 Petri, Nohynek; Veli Erkki, Lumme, Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 11. Hamina: Kunnossapitoyhdistys ry. 2004.
- 2 PSK Standardisointi, Kunnonvalvonnan Värähtelymittaus. PSP-käsikirja 3, 9. painos. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry. 2006.
- 3 SKF, SKF laakerien kunnossapito. Ruotsi: SKF. 1994.
- 4 ABB:n TTT-käsikirja 2000-7. Kunnonvalvonta ja huolto. ABB Oy, 2000. [www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/230\\_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/230_0007.pdf).
- 5 Kunnossapito. Menestystekijä. Opetushallitus. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/index.html>. Päivitetty 2.12.2011. Luettu 1.2.2012
- 6 Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry. <http://www.kupinet.fi>, <http://www.promaint.net>. Luettu 1.8.2007 ja 1.2.2012.
- 7 Schaeffler Finland Oy. <http://www.fag.fi>. Päivitetty 2012. Luettu 2.2.2012
- 8 SKF Group. <http://www.skf.com/portal/skf/home>. Päivitetty 2012. Luettu 2.2.2012
- 9 Järviö, Jorma. Kunnossapito. 2. täydennetty painos. Hamina: KP Media Oy, 2004
- 10 All Biz. <http://www.ua.all.biz/fi/g1064522/>. Luettu 3.3.2012