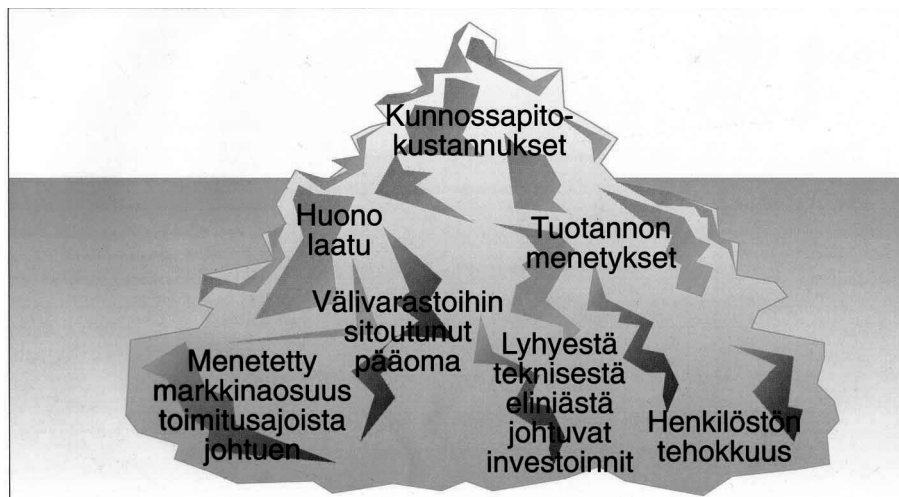


23. KUNNONVALVONTA JA HUOLTO

23.1. Yleistä kunnossa- ja käynnissäpidosta

Nykyaikaisessa tuotannossa on käytettävyyys eli prosessien jatkuva toiminta tullut entistä tärkeämmäksi ja keskeisemmäksi asiaksi. Laitteiden vikaantumisista aiheutuva korjaava kunnossapito aiheuttaa aina suurimmat menetykset ja kustannukset, joten uusia kehittyneempiä menetelmiä on etsittävä ja niitä kehitettävä. Uusia ratkaisuja ollaan nykyään toteuttamassa kokonaisvaltaisen - laadukkaan, ympäristömyönteisen ja jatkuvaan parantamiseen panostavan - kunnossapidon avulla, jossa oikeilla toimenpiteillä voidaan tehokkaasti vaikuttaa kaikkiin tuotannon osa-alueisiin, eikä siis ainoastaan kunnossapitokustannuksiin.



KUVA 23.1a. Kunnossapidon vaikutukset

Ratkaisut ovat entistä useammassa tapauksessa kunnossapidon eriytyksiä (Full service), jolloin prosessien omistaja keskittyy ydinliiketoimintaansa ja siirtää kunnossapidon ulkopuolisen - kunnossapitoon erikoistuneen - yrityksen vastuulle. Näillä järjestelyillä on tavoitteena molemmille sopimusosapuolille hyötyjä tuottava kumppanuus.

Kehityksen myötä mittaava kunnossapito on noussut sille kuuluvaan asemaan. Tavoitteenaan tulee olla oikea-aikainen tarpeettomat toimenpiteet eliminoiva kunnossapitotoiminta. Tässä osuudessa keskitytään pääasiassa pyörivien koneiden kunnonvalvontaan. Lähes kaikissa muissakin nykyaikaisissa prosessilaitteissa on kunnonvalvonta-, diagnostiikka- ja it-sediagnostiikka ominaisuuksia, jotka kilpailun kaikkialla lisääntyessä nousevat aina vaan merkittävämpään osaan. Myös ne kaikki kuuluvat kokonaisvaltaista kunnossapitoa toteuttavan yrityksen palveluvalikoimaan.

23.2. Johdanto pyörivien koneiden kunnonvalvontaan

Kunnonvalvontamittauksin pyritään laitteiden vikaantumisen havaitsemaan jo hyvissä ajoin ennen kuin vika on päässyt niin vakavalle asteelle, että se johtaa koneen pysähtymiseen joko täydellisen särkymisen tai suojausjärjestelmän hälytysten laukeamisen takia. Esimerkiksi laakeriviat pystytään usein havaitsemaan niin aikaisin, että laakereilla voidaan turvallisesti ajaa vielä jopa kuukausia. Näin laakerin vaihto voidaan ajoittaa siten, että se ei häiritse normaalia tuotantoa. Yleisimmin kunnonvalvonnasta puhuttaessa tarkoitetaan sellaisia mittauksia, jotka tehdään laitteiden käydessä normaaleissa käyntiolosuhteissa niitä pysäyttämättä. Käytännössä pääosa kunnonvalvonnasta keskittyy pyörivien laitteiden mekaanisen kunnon arviointiin.

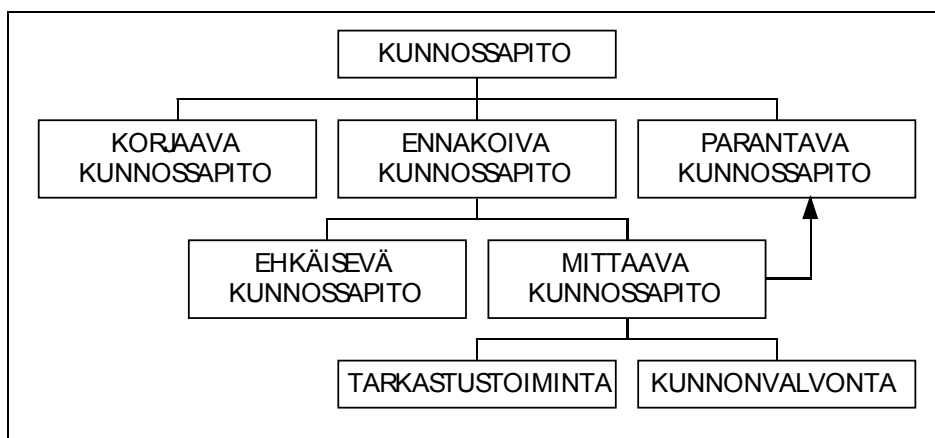
Kunnonvalvonta on kasvava ala sekä Suomessa että kansainvälisesti. Kunnonvalvontamittauksia on hyvällä menestyksellä tehty Suomessa laajemmalla mittakaavalla 1980-luvulta alkaen. Erityisesti paperiteollisuudessa on kunnonvalvonnan avulla saavutettu erittäin korkeat käyttöasteet ja voidaankin todeta, että nykyisin ei esimerkiksi uutta paperikoneprojektia käynnistetä ilman, että kunnonvalvonta on alusta asti mukana. Kunnonvalvonta on selvästi osoittanut hyödyllisyytensä, jonka vuoksi sitä kaivataan yhä pienemmissä laitoksissa, joilla ei itse ole resursseja laitehankintoihin eikä mittausten tekemiseen.

Toinen kunnonvalvonnan käyttöönottoa puoltava tekijä on se, että kun mittauksin pystytään tulevat vauriot toteamaan jo hyvissä ajoin, voidaan ajoittain tehtävistä ”turhista” huolloista luopua. Tavoitteena on siis se, että koneista korjataan ainoastaan epäkuntoisiksi todetut osat.

Kunnonvalvonta mielletään nykyisin kuuluvaksi olennaisena osana kunnossapitoon.

23.3. Kunnonvalvonta osana kunnossapitoa

Pohjimmiltaan kunnossapidon tehtävänä on ollut pitää tehtaassa pyörät pyörimässä. Tämä tehtävä on kuitenkin nykyisin laajentunut siten, että pyörien olisi pyörittävä yhä nopeammin ja yhä pidempään. Tällöin ylläpitävä kunnossapito ei enää riitä, vaan tarvitaan parantavia toimenpiteitä riittävän käytettävyyden takaamiseksi. Kunnonvalvonnasta ja yleensä ennakkohuollosta vastaavat henkilöt ovat tuotantolaitoksissa yleensä sellaisia henkilöitä, joilla on hyvin suuret mahdollisuudet havaita sellaisia puutteita, jotka voidaan helposti korjata ja sitä kautta saada prosessia tai laitetta tehokkaammaksi. Kuvassa on yksi esitystapa eri kunnossapitotapojen rippuvuuksista.



KUVA 23.3a. Kunnonvalvonta osana kunnossapitoa.

Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito on yksinkertaisimmillaan sitä, että laite huolletaan vaurion jo synnyttäneen. Yleensä vaurioituminen aiheuttaa prosessin katkoksen. Yllättävästä käyttökatkoksesta aiheutuvat tuotannonmenetykset ovatkin tavallisesti huomattavasti suuremmat kuin itse korjauksen kustannukset. Aikaisemmin tärkeimmille laitteille rakennettiin varalaitteita nopeuttamaan vaurioituneiden selviämistä. Varalaitteet aiheuttavat kuitenkin kustannuksia ja usein varalaitetta on mahdotonta järjestää. Esimerkiksi paperiteollisuudessa on mahdotonta rakentaa varalle esimerkiksi yhtä kuivatusryhmää. Paperiteollisuus onkin ollut yksi edelläkävijöistä ennakoivan kunnossapidon alueella.

Ennakoiva kunnossapito

Ennakoivan kunnossapidon tarkoituksena on ehkäisevillä toimenpiteillä estää yllättävät vauriot ja siten myös yllättävät käyttökatkokset. Ennakoivaan kunnossapitoon kuuluvat *ehkäisevä kunnossapito* eli säännöllinen huoltotoiminta sekä *mittaava kunnossapito*.

Ennakoivalla toiminnalla on myös tärkeä turvallisuutta lisäävä vaikutus. Viime aikoina ennakoivan kunnossapidon luonne on muuttunut yhä enemmän määräaikaishuolloista oikea-aikaisiin huoltoihin, joiden ajankohta ja sisältö määritellään suurelta osin kunnonvalvonnan mittauksien ja erilaisten tarkastusten avulla. Mittaavan kunnossapidon osa-alueita ovat *kunnonvalvonta*, joka on jatkuvaa säännöllistä toimintaa sekä muu mittauksin tehtävä *tarkastustoiminta*. Mittaavassa kunnossapidossa havaitut ongelmat johtavat usein myös parantaviin toimenpiteisiin.

Kunnonvalvonta on yleisnimitys kaikille tekniikoille, joita on kehitetty koneen kunnon määrittelyyn sen käynnin aikana. Kunnonvalvonta perustuu muutosten seuraamiseen mittaus-suureissa eli kyseessä on jatkuva toiminta. Esimerkiksi lämpötilan kasvu tai värinän lisääntyminen on yleensä merkinä koneen kunnon huononemisesta. Kunnonvalvonta sisältää tämän muutoksen havaitsemisen, sen diagnostisoinnin, eli syyn tarkemman selvittämisen sekä lisäksi arvion siitä, kuinka vakava vaurio on eli jäljellä olevan käyttöajan ennustamisen.

Parantava kunnossapito

Parantava kunnossapito tarkoittaa laitteiden suorituskykyä, käytettävyyttä, luotettavuutta ja turvallisuutta lisäävää toimintaa, jonka avulla voidaan poistaa esimerkiksi suunnitteluvirheistä johtuvat ongelmatapaukset tai vaurioiden perussyt ja siten vähentää kunnossapidon tarvetta. Usein myös laitteiden modernisoinnit ja uusinnat voidaan lukea kuuluvan parantavan kunnossapidon piiriin, mikäli niiden toteuttamisen taustalla on kunnossapidollinen ongelma tai suoranaisesti laitteen käytettävyyttä ja luotettavuutta lisäävä muutostyö, jolla voidaan välttää uushankinta.

Parantavan kunnossapidon perustana on esimerkiksi ongelman juurisyyanalyysi (Root Cause Analysis tai Root Cause Failure Analysis), jonka avulla ongelman perussyö pyritään ensin tarkentamaan ja tämän jälkeen löytämään ratkaisu perussyyn poistamiseen. Juurisyyanalyysiin voidaan käyttää erilaisia tietolähteitä aina laitteen vikahistoriasta erilaisiin mitaustietoihin, ja se on monesti vaativa ja aikaavievä prosessi. Onnistuneen juurisyyanalyysin tuloksena on ratkaisu, jolla sekä korjataan vian aiheuttamat seuraukset että estetään vian toistuminen tulevaisuudessa kokonaan tai ehkäistään sen aiheuttamat seuraamukset minimiin esimerkiksi käyttämällä vahvempia osia, eri materiaalia tai voiteluainetta, jne.

Tarkkaa rajaa mittaavan ja parantavan kunnossapidon välille on vaikeaa vetää, sillä esimerkiksi tietyillä kunnonvalvonnan analyysimenetelmillä (mm. pakkovärähtelyanimaatio, resonanssimittaus, rakenteen värähtelymuotoanalyysi) kyetään löytämään rakenteelliset perusviat ja usein myös keinot niiden poistamiseen. Vastaavasti korrelaatioanalyysillä on mahdollista parantaa laitteen käytettävyyteen liittyviä ongelmia vertaamalla prosessin eri pa-

rametrien vaikutusta toisiinsa ja etsimällä ajettavuuden kannalta optimaaliset arvot eri parametreille.

23.4. Kunnonvalvontamittaukset

Kunnonvalvonta perustuu yleensä siihen, että pyritään havaitsemaan alkavan vikaantumisen aiheuttama muutos mitattavassa suureessa. Kunnonvalvonnassa olennaisin asia on siis normaalista poikkeavan tilanteen havaitseminen. Tämä ei kuitenkaan yleensä riitä vaan tärkeää on myös selvittää se, mikä on vian vakavuusaste ja se, millaisiin korjauksiin on syytä varautua. Periaatteessa kunnonvalvonta voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin:

- poikkeavan tilanteen havaitseminen (detektio),
- poikkeaman syyn selvittäminen (diagnoosi),
- arvio siitä, kuinka vakava poikkeama on (prognoosi),
- toimenpidesuositus ja
- poikkeaman alkusyyyn selvittäminen ja mahdollinen parantava toimenpide.

Kun poikkeama huomataan ajoissa, jää myöhempien vaiheiden toimenpiteille riittävästi aikaa ja tarvittavat päätökset voidaan tehdä perustuen todelliseen tietoon. Tämä tietenkin edellyttää myös sitä, että havaitut poikkeamat ovat todellisia poikkeamia eli että vääriä hälytyksiä tulee mahdollisimman harvoin.

23.4.1. Kunnonvalvontamittauksissa käytettäviä suureita

Kunnonvalvonta perustuu erilaisten fysikaalisten suureiden mittamiseen laitteesta sen käynnin aikana. Parhaaseen tulokseen päästään, kun kunnonvalvontamittauksia tehdään säännöllisesti siten, että eri kerroilla mitatut tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Näin mitatut arvot voidaan asettaa samalle asteikolle ja seurata niiden kehittymistä eli trendiä. Mikäli samasta laitteesta seurataan useita eri suureita, on analyysien luotettavuus yksittäisiin mittauksiin verrattuna parempi. Tällöin käytetään nimitystä moniparametrivalvonta Kunnonvalvonta voi perustua ainakin seuraavien suureiden mittaukseen:

- tärinä (useita eri mittaussuureita),
- lämpötila,
- voiteluöljyn puhtaus ja ominaisuudet,
- sähkövirta ja
- paine, virtaus, käyntinopeus ym. muut prosessisuureet

Näistä tärinän eli värähtelyn mittaukset ovat selvästi tärkein kunnonvalvonnan mittausmenetelmä.

Jotta koneen kuntoa voidaan parhaalla mahdollisella tavalla valvoa, on tunnettava eri mittausmenetelmien edut ja rajoitukset. Kunnonvalvontaohjelmaa perustettaessa on mm. tiedettävä:

- mitä mittauksia kannattaa tehdä ja miksi,
- mistä mittaukset on järkevintä tehdä ja
- miten ne tehdään.

Esimerkiksi tärinämittauksissa anturin paikan ja kiinnityksen valinnalla on erittäin suuri merkitys mittauksen onnistumiselle. Seuraavassa esitetään lyhyesti eri kunnonvalvontamenetelmien ominaisuuksia.

23.4.2. Tärinä

Yleisesti tärinä- eli värähtelymittauksiin perustuvia menetelmiä pidetään tehokkaimpina koneiden kunnonvalvonnassa silloin, kun arvioidaan dynaamisia ilmiöitä kuten tasapainoa, laakeroinnin kuntoa ja yleensä voimia, jotka kohdistuvat laitteen eri komponentteihin.

Tärinän mittauksessa käytetään yleisimmin tiedonkeruulaitteita tai analysointoreita. Tietojen tallennus ja varsinainen analysointi tehdään yleensä tietokoneella. Tärinää analysoimalla voidaan löytää esimerkiksi epätasapaino, mekaaniset välykset, rakenteen resonanssitaajuu- det, taipunut akseli, asennusvirheitä, ym. Tärinän analysointiin on olemassa monia erilaisia menetelmiä, joista yleisimpiä ovat nopeuden tehollisarvon mittaaminen (tärinärasitus) sekä spektrianalyysit. Näitä kahta voidaan pitää perusmenetelminä, joilla suurin osa vaurioista voidaan löytää.

Sellaisiin tapauksiin, joiden analysointi em. menetelmillä on todettu vaikeaksi on kehitetty tehokkaampia menetelmiä. Yhtenä esimerkkinä tällaisesta on verhoikäyräanalyysi, jossa en- nen spektrianalyysiä tehdään signaalille toimenpiteitä, jotka helpottavat laakerivikojen ha- vaitsemista. Tärinämittauksen menetelmiin voidaan laskea myös korkeataajuisen akustisen värähtelyn mittaaminen. Korkealla taajuuskaistalla mitattaessa saadaan tietoa metalli- metalli kosketuksista, joka voi olla merkinä puutteellisesta voitelusta tai alkavasta laakerivauriosta. SKF käyttää menetelmästä nimitystä SEE (Spectral Emitted Emission).

23.4.4. Lämpötila

Lämpötilan kohoaminen mekaanisen laitteen käynnin aikana on yleensä merkinä kas- vaneesta kitkasta, joka johtuu vauriosta tai voiteluhäiriöstä. Lämpötilan mittaus on joissain tapauksissa käyttökelpoinen kunnonvalvonnan menetelmä, mutta usein lämpötila kohoaa vasta siinä vaiheessa, kun vaurio on jo niin vakavalla asteella, että korjausten valmisteluun jäävä aika on liian pieni.

Lämpökameran käyttö on viime aikoina tullut teollisuuden kunnossapidon apuvälineeksi. Toiminta perustuu pintalämpötilaltaan erilaisten kappaleiden lähettämän infrapuna- eli läm- pösäteilyn "kuvaamiseen". Sen käyttökohteita ovat olleet lämpövoimalaitokset ja lämmön- jakelu, joissa lämpökameralla pystytään helposti havaitsemaan vuodot. Lämpökameraa on sovellettu myös voimalinjojen ja sähkökytkinten kunnonvalvonnassa. Näissä vikaantumisen aiheuttaa lämmön nousua, joka on helposti havaittavissa lämpökameralla. Pyöriviä koneita mitattaessa lämpökameran käyttö perustuu kitkan aiheuttaman lämpenemisen mittaami- seen.

23.4.5. Sähkövirta

Moottorin ottamasta sähkövirrasta tehtävän spektrianalyysin avulla voidaan roottorin kuntoa arvioida luotettavasti. Roottorianalyysi voidaan tehdä samalla tiedonkeruulaitteella kuin tärinämittaus. Analyysiä varten mitataan yhdestä moottoria syöttävästä vaihejohtosta virta- pihdin avulla virtasignaalia, joka tallennetaan tiedonkeruulaitteen muistiin. Virtamittaus voi- daan tehdä joko ensiö- tai toisiovirtapiiristä.

Mitatusta virtasignaalista lasketaan taajuusspektri, jota tarkastelemalla roottorin kunto ar- vioidaan. Spektriä tarkastellaan linjataajuuden 50 Hz ympäristössä käyttäen logaritmista amplitudiasteikkoa. Mikäli roottorissa on vikoja nähdään linjataajuuden molemmiin puolin si- vunauhat jättämän etäisyydellä. Näiden sivunauhojen paikan ja voimakkuuden perusteella tehdään lopulliset päätelmät vian tyypistä ja vakavuusasteesta.

Mittauksen onnistumisen edellytyksenä on riittävän hyvä resoluutio, mikä mahdollistaa sen, että jättämätaajuuksilla näkyvät sivunauhat voidaan spektrissä erottaa. Koneen on lisäksi mitattaessa oltava riittävän voimakkaasti kuormitettu ja käytnopeuden on oltava vakio.

Moottorin ollessa hyvässä kunnossa sivunauhat ovat erittäin matalia. Usein jopa niin matalia, että niitä ei pysty taustakohinasta erottamaan. Tasoerona ilmaistuna tämä on 50 dB tai enemmän. Vasemman sivunauhan ja perustaajuuden tasoeron ollessa välillä 40..49 dB voidaan yleensä olettaa, että roottorissa on korkearesistanssisia liitoksia tai hyvin alkavassa vaiheessa oleva sauvavaurio. Tasojen ollessa alle 40 dB on kyseessä roottorivika. Tällöin roottorissa on todennäköisesti useita katkenneita roottorisauvoja tai oikosulkurenkaan vaurio.

Vian kehittyminen ei niinkään korreloi koneen käyttötuntien kuin käynnistyskertojen kanssa. Mitä useammin vialliseksi todettu moottori joudutaan prosessin takia käynnistämään, sitä tarkemmin vian kehitystä tulisi seurata. Yleensä virta-analyysi tehdään "ehjälle" moottorille noin vuoden välein.

23.4.6. Voiteluaineanalyysit

Prosessiteollisuuden voiteluaineanalyysit keskittyvät lähinnä kiertoöljyvoitelujärjestelmien näytteiden analysointiin laboratoriossa. Tällaiset analyysit kertovat öljyn puhtauden ja voiteluaineen ominaisuudet. Öljyssä olevat epäpuhtaudet voidaan jakaa syntytapansa perusteella kolmeen ryhmään:

- Koneen kulumisesta syntyvät kulumistuotteet ovat yleensä metallihiukkasia. Ne syntyvät metallisissa kosketuksissa sekä mahdollisesti väsymisen seurauksena vaikka voiteluainekalvo ei rikkoontuisikaan. Metallihiukkasten lisäksi laakereista ja tiivisteistä voi irrota keraami- ja muovihiukkasia. Hyväkuntoisen koneen käydessä normaalisti syntyvien hiukkasten määrä on vähäinen ja niiden koko pieni.
- Järjestelmän ulkopuolelta tulevat epäpuhtaudet, joista yleisimpiä ovat hiekka, prosessipöly sekä kondensoituva vesi.
- Öljyssä itsestään syntyvät epäpuhtaudet sen vanhetessa esimerkiksi hapettumalla. Nämä eivät liity niinkään koneen kuntoon vaan lähinnä öljyn kuntoon.

Tavallisimpia voiteluaineanalyysin menetelmiä ovat kiintoaineiden mittaaminen, hiukkaslaskenta, ferrografia ja spektrometriset hiukkasanalyysit. Käteviä kenttäkelpoisia laitteita öljyanalyysien tekemiseen ei ole olemassa, vaan analyysit ovat lähinnä laboratorio-olosuhteissa tapahtuvia.

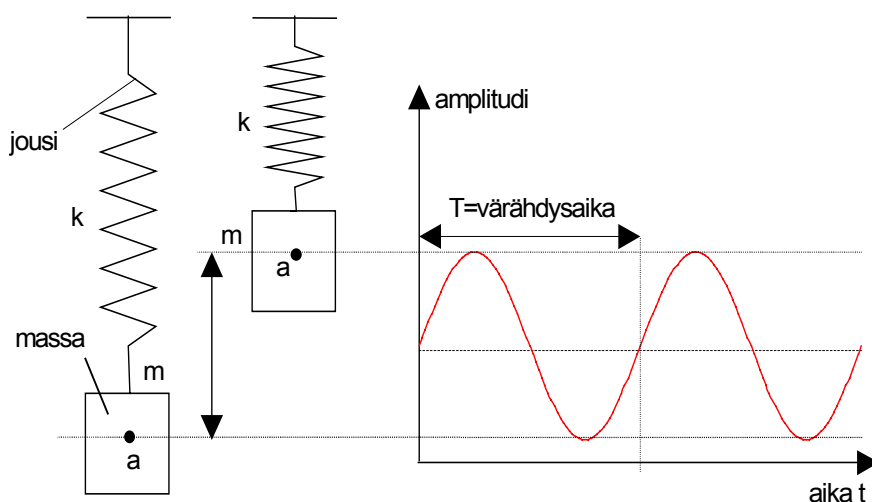
23.4.7. Prosessisuureet

Erilaisten prosessisuureiden käyttö koneiden kunnonvalvonnassa on melko vähäistä, vaikka ne ovat periaatteessa helposti saatavissa prosessin ohjauksesta. Prosessitiedon käyttö rinnan esimerkiksi värähtelymittausten kanssa antaa usein lisäpohjaa päätöksen teolle. Tällaisia suureita ovat esimerkiksi prosessista saatavat paine, lämpötila, virtaus, nopeus ym. tiedot. Prosessiautomaation ja kunnonvalvonnan integroiminen näyttää olevan tulevaisuuden kehityssuunta. Esimerkiksi paperiteollisuudessa tämänsuuntaista kehitystä on selvästi nähtävissä.

23.5. Värähtelymittauksen teoriaa

Kaikki laitteet värähtelevät käydessään. Värähtelyä aiheutuu yleensä epätasapainosta, valmistus- tai asennusvirheistä sekä kulumalla tai muuten vaurioituneista osista. Yleensä roottori tai akseli on se osa joka varsinaisesti värähtelee, tai aiheuttaa värähtelyä, mutta värähtelyn mittauspaiikka on rungossa. Värähtely kulkeutuu laitteen runkoon yleensä laakerien kautta joten paras mittauspaiikka on mahdollisimman lähellä laakeripesää. Käytännön tärinämittauksissa tulosten tulkinta suoritetaan pääasiassa eri taajuuksialueilla mitattujen spektrien ja niitä vastaavien tärinän kokonaistasoarvojen perusteella.

Periaatteessa kaikki värähtelevät laitteet ovat jousi- massasysteemejä, koska mikään laite ei ole täysin jäykkä. Yksinkertainen esimerkki värähtelevästä systeemistä on jousi- massasysteemi, joka esitetään kuvassa 23.5a.



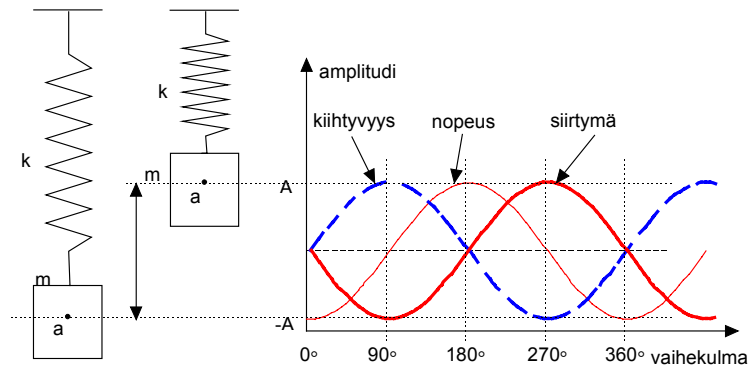
KUVA 23.5a. Jousi- massasysteemin pisteen a värähtelyn esittäminen aikatasossa.

Kun massa m saatetaan liikkumaan, liikkuu se tasapainoaseman molemmin puolin käyden maksimissa sekä positiivisella että negatiivisella puolella kerran värähdysliikkeen aikana. Yhden värähdysliikkeen aikana massa palaa takaisin lähtöasemaansa. Kuvassa 23.5a nähdään myös yhteen värähdysliikkeeseen käytettävä aika, jota merkitään kirjaimella T (huomaa, että aikaa yleensä merkitään kirjaimella t). Pisteen a piirtämän käyrän muoto on sini-käyrä.

Kuvan 23.5a signaalista käytetään nimitystä aikatasosignaali. Vaaka-akselilla on siis aika ja pystyakselilla pisteen siirtymä eli liikkeen amplitudi. Värähdysaikaa T vastaa vaihekulma $\phi = 360^\circ$ eli $\phi = 2\pi$.

23.5.1. Tärinäsuureet

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. Käänteinen toimitus derivoinnille on integrointi.



KUVA 23.5b. Jousi-massasysteemin pisteen a siirtymä, värähtelynopeus ja -kiihtyvyys.

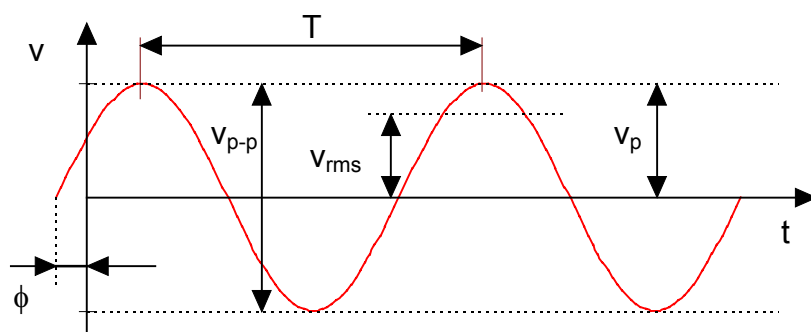
Kuvasta 23.5b nähdään, että siirtymällä nopeudella ja kiihtyvyydellä muoto on sama, mutta vaihekulma poikkeaa 90 astetta siten, että kiihtyvyys on 90 astetta nopeutta edellä, joka taas on vastaavasti 90 astetta siirtymää edellä. Kuvassa kaikkien käyrien amplitudit on piirretty samankorkuisiksi, mutta on huomattava, että niiden yksiköt eivät vastaa toisiaan. Yleensä euroopassa käytetään taulukossa 23.5a esitettäviä yksiköitä.

Taulukko 23.5a. Euroopassa yleensä käytettävät värinämittaukseen liittyvät suureet ja yksiköt. Huomaa, että kiihtyvyyden mittayksikkönä käytetään yleisesti myös maan vetovoiman kiihtyvyyttä g .

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

23.5.2. Yleisimmät värinään liittyvät parametrit

Yleisimmät edellä esitettyihin suureisiin liittyvät parametrit esitetään oheisessa kuvassa nopeussignaalin avulla esitettynä. Samoja parametrejä voidaan käytetään myös siirtymälle ja kiihtyvyydelle.



- T = värähdysaika eli jakso
- v_{p-p} = nopeuden huipusta-huippuun arvo
- v_p = nopeuden huippuarvo
- v_{rms} = nopeuden tehollisarvo
- ϕ = vaihekulma

KUVA 23.5c. Yleisimmät värähtelysignaaliin liittyvät parametrit.

- Huippuarvo kertoo aikatasosignaalin itseisarvoltaan suurimman arvon.
- Huipusta- huippuun arvo kertoo suurimman ja pienimmän arvon erotuksen ja on yleensä n . kaksinkertainen huippuarvoon verrattuna
- Tehollisarvolla on yhteys tärinän sisältämään tehoon. Se kuvaa hyvin tärinän vaarallisuutta ja on yleisimmin käytössä Euroopassa. Siniaallolle tehollisarvo on huippuarvo jaettuna luvulla $\sqrt{2}$ eli 0.707 kertaa huippuarvo. Kun signaalin muoto poikkeaa sinistä, ei suhdeluku myöskään ole enää sama.
- Vaihekulma kertoo jakson kohdan, johon värähtely on edennyt vertailukohdasta.

Edellisistä yleisimmin on käytössä tehollisarvon mittausta. Sallittuja nopeuden tehollisarvoja käsittelee kotimainen standardi PSK 5704, joka perustuu standardiin SFS-ISO 2372. Lähtitulevaisuudessa edellä mainitut standardit tullaan korvaamaan ISO 10816-sarjalla. Vaikka tehollisarvo on yleisimmin käytössä, on mittaustuloksia verrattaessa kuitenkin aina muistettava, erityisesti jos tulokset huomattavasti poikkeavat oletetusta, varmistaa, että mitaukset on tehty samoilla asetuksilla.

23.5.3. Värähtelyn esittäminen taajuustasossa eli taajuusspektri

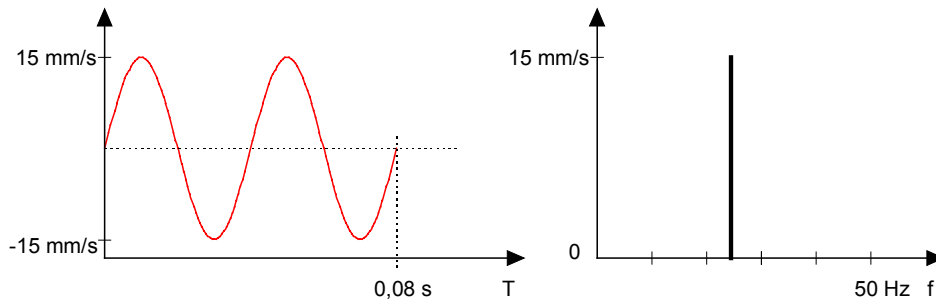
Värähtelyn taajuus kertoo kuinka monta värähdysliikettä sekunnissa tapahtuu. Taajuudesta käytetään lyhennettä f ja sen yksikkö on Hz (Hertsi) = 1/s. Taajuuden määrittämiseksi aikatasosignaalista tarvitaan siis seuraavia yhtälöitä.

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

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

Käytännön värähtelymittauksissa aikatason käyttö on harvinaista ja voidaankin sanoa, että pääosa analyyseistä tehdään perustuen taajuusspektreihin eli taajuustasossa. Taajuustasossa vaakakselina on taajuus ja pystyakselina amplitudi. Edellä esitetyt esimerkit kuvaavat yksinkertaista värähtelytapausta, jossa mitattu signaali sisältää ainoastaan yhden värähtelykomponentin, joka nähdään selvästi aikatasossa. Käytännössä tilanne kuitenkin on yleensä sellainen, että mittauspisteeseen tulee useiden eri koneenosien aiheuttamaa värähtelyä, joten aikatasosignaalista on vaikea erottaa yksittäisiä värähtelykomponentteja.

Yleensä onkin järkevää tutkia värähtelyä taajuustasossa. Taajuustasoesityksestä käytetään nimitystä taajuusspektri. Aikatasosignaali muutetaan yleensä taajuusspektriä FFT-muunnoksella, jonka teoria tässä sivuutetaan. Yleisesti käytössä olevat analysointorit tekevät FFT-laskennan automaattisesti.

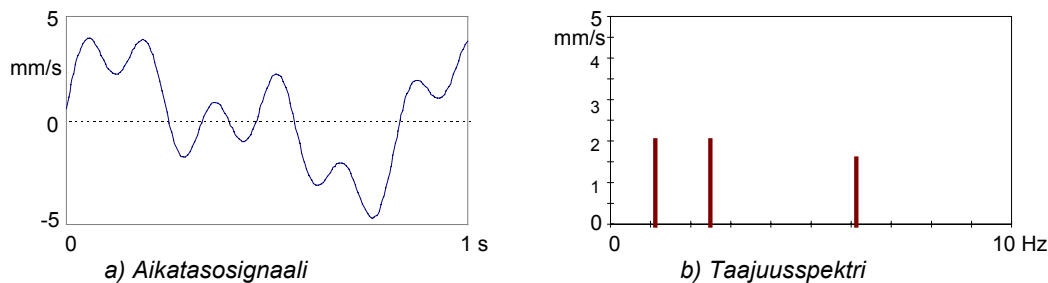


a) Aikatasosignaali

b) Taajuusspektri

KUVA 23.5d. Yksittäisen siniaallon esittäminen aika- ja taajuustasossa. Taajuusspektrissä pylvään korkeus kuvaa siniaallon amplitudia ja sen paikka vaaka-akselilla taajuutta.

Tavallisesti kuitenkin laitteesta mitattava värinä sisältää eri taajuuksia, joiden havaitseminen aikatasossa on vaikeaa. Oheisessa kuvassa on esimerkki kolmesta siniaallosta koostuvasta signaalista esitettynä sekä aika- että taajuustasossa.



a) Aikatasosignaali

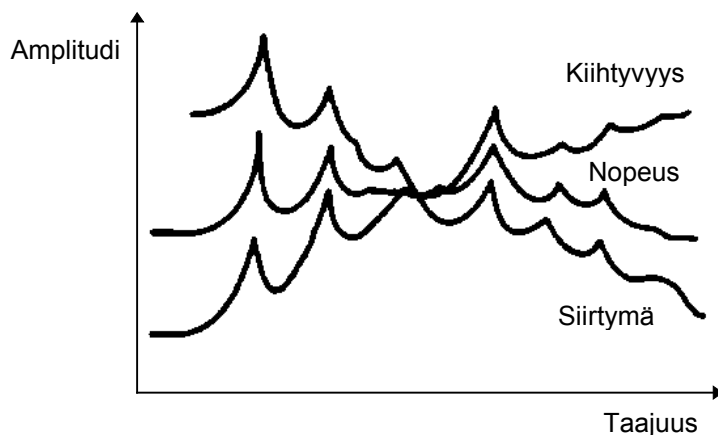
b) Taajuusspektri

KUVA 23.5e. Kolmesta siniaallosta koostuva värähtelysignaali esitettynä aika- ja taajuustasossa.

Kuten nähdään kuvan 23.5e aikatasosignaalista on vaikea erottaa, mitä taajuuksia signaalissa on. Taajuusspektristä yksittäiset taajuudet voidaan erottaa helposti. Kunnonvalvonnassa käytetäänkin pääasiassa spektriesitystä. On kuitenkin muistettava, että joissain tapauksissa aikatasosignaalia katselemalla saadaan sellaista tietoa, joka ei näy spektrissä. Yleisimmin käytettävä mittaussuure on nopeus tarkasteltuna siten, että amplitudit esitetään tehollisarvona eli puhutaan tehospektristä.

23.5.4. Tärinäsuureiden vastaavuudet taajuustasossa

Seuraavassa kuvassa esitetään siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyden vastaavuudet taajuustasossa.



KUVA 23.5f. Taajuusspektri esitettynä siirtymänä, nopeutena ja kiihtyvyytenä.

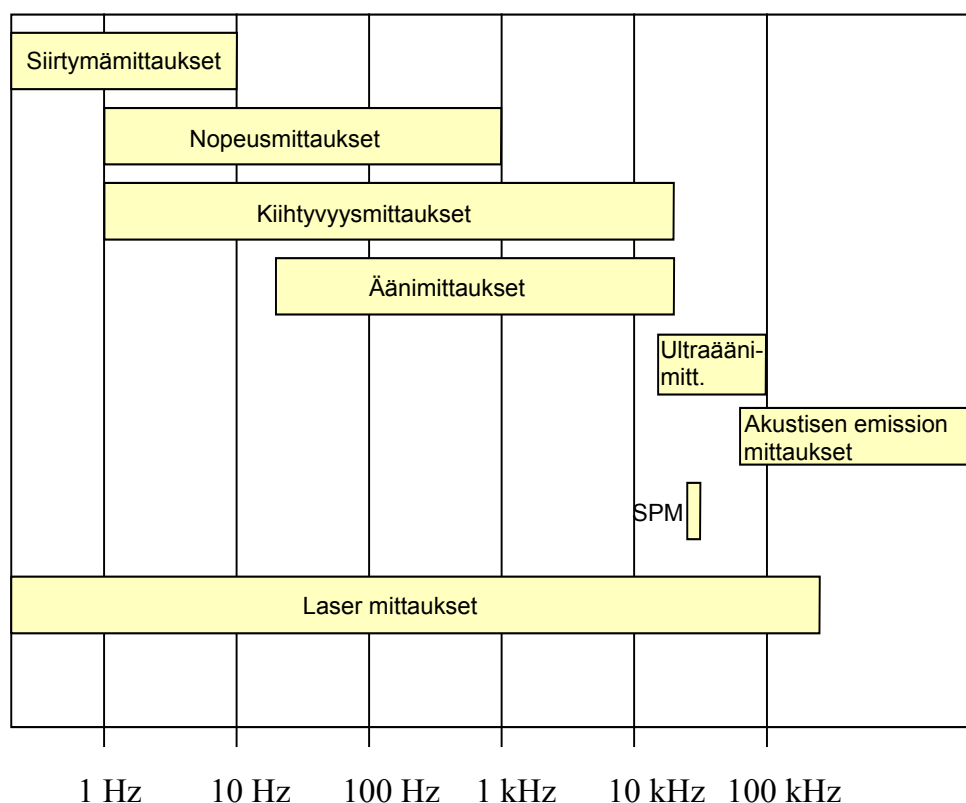
Kuvan perusteella nähdään, että siirtymä korostaa matalia taajuuksia ja kiihtyvyys korkeita. Nopeutta pidetäänkin yleisesti parhaana mittaussuureena tärinän vakavuutta arvioitaessa,

koska suurin osa kiinnostavista taajuuksista saadaan kohtalaisen hyvin näkymään nopeutta tarkaselemalla. Toisaalta ei pidä unohtaa sitä, että usein esimerkiksi korkeataajuisista värähtelyä aiheuttavat viat näkyvät huomattavasti paremmin (ja aikaisemmin) kiihtyvyyttä kuin nopeutta tarkasteltaessa. Esimerkiksi vaihteistojen mittauksissa on usein hyvä tarkastella mittauksia myös kiihtyvyytenä. Vastaavasti mikäli ollaan kiinnostuneita hyvin matalista taajuuksista, siirtymän käyttö on suositeltavaa.

23.6. Mittausten suoritus ja analysointi

23.6.1. Mitattavat suureet

Kunnonvalvonnassa tehtävät värähtelymittaukset kattavat tyypillisesti taajuusalueet seuraavan kuvan mukaisesti.



KUVA 23.6a. Värähtelymittauksille tyypilliset taajuusalueet.

Kuvan palkit esittävät tyypillisimmät alueet, joten myös niiden ulkopuolella olevia mittauksia on käytetty. Äänen ja ultraäänen mittaukset perustuvat värähtelevän koneen lähettämien ilmanpaineen muutosten mittaukseen. Muut menetelmät mittaavat koneen rakenteita pitkin kulkeneita värähtelyjä. Ultraäänen mittauksesta tosin puhutaan usein silloinkin, kun mitataan rakenteita pitkin tulevia värähtelyjä ultraäänitaajuudella. Lasermittaus on periaatteessa siirtymän tai nopeuden mittausta, mutta tässä se on esitetty omana kohtanaan, koska laserilla saavutettava taajuusalue on muita menetelmiä laajempi. SPM eli iskusysäysmenetelmässä käytetään kiihtyvyyssanturia, mutta mittaus perustuu resonanssin mittaamiseen toisin kuin yleensä kiihtyvyydsmittauksissa, joten se on mainittu tässä erikseen. Taulukossa 23.6a esitetään keskeisimmät piirteet kyseisistä mittauksista.

Taulukko 23.6a. Tavallisimmat värähtelyyn liittyvät mitattavat suureet.

Siirtymä	Tavallisesti värähtelymittauksessa käytettävät siirtymäanturit ovat tyypiltään pyörrevirta-antureita. Anturissa on oskillaattoriipiiri, jonka kela muodostaa tuntopinnan. Kun metalliesine lähestyy kelarungon kautta kulkevaa, vaihtovirran muodostamaa magneettikenttää, aiheuttavat kenttään syntyvät pyörrevirrat piirissä impedanssinmuutoksen. Se saa aikaan anturin ulostulojännitteeseen muutoksen, joka riippuu tuntokelan ja metalliesineen välisestä etäisyydestä. Kiihtyvyyssantureihin verrattuna induktiivisen anturin etuna on, että se toimii kosketuksettomasti ja se, että myös hyvin matalataajuuksien värähtelyjen mittaaminen on mahdollista. Siirtymäanturin vaikeutena on se, että ne joudutaan kalibroimaan ennen mittausta.
Nopeus	Nopeusanturi koostuu tavallisimmin kelasta ja magneettisydäimestä. Värähtelyn aiheuttama liike synnyttää kelaan värähtelyn nopeuteen verrannollisen jännitteen. Nopeusanturit ovat isokokoisia ja käyttökelpoinen taajuusalue on yleensä välillä 10...1000 Hz. Haittapuolina pidetään niiden suurta kokoa ja kapeahkoa taajuusaluetta. Nopeusantureiksi mainitaan joissain lähteissä myös pietsosähköiset kiihtyvyyssanturit, joihin on sisään rakennettu integrointiipiiri, mikä antaa nopeuteen verrannollisen ulostulosignaalin. Yleensä nopeuden tehollisarvoa (tärinärasitus) mitattaessa, käytetään yleensä kiihtyvyyssanturia, jonka ulostulo integroidaan nopeudeksi.
Kiihtyvyys	Kiihtyvyyssanturin toiminta perustuu Newtonin toiseen lakiin $ma = F$. Yleisimmin käytetyssä anturissa on massa, joka on kiinnitetty pietsosähköiseen kiteeseen. Värähdelleessään massa aiheuttaa kiteeseen varauksen joka on verrannollinen kiihtyvyyteen. Pietsosähköiset kiihtyvyyssanturit ovat kooltaan melko pieniä ja ne voivat olla herkkiä laajalla taajuusalueella. Yleisesti käytettävien kiihtyvyyssantureiden lineaarinen alue on luokkaa 1 Hz...20 kHz. Kiihtyvyyssanturien kiinnitystä on tutkittu laajasti. Ruuvikiinnityksellä päästään lähes 20 kHz:n taajuuksiin luotettavasti. Kuitenkin nykyisin markkinoilla olevilla hyvin keveillä antureilla voidaan päästä huomattavasti korkeampiin taajuuksiin, jolloin kiinnityksen kriittisyys kasvaa edelleen. Kiihtyvyyden mittaukseen käytetään myös venymäliuska- ja induktiivisia antureita. Näiden taajuusalue on huomattavasti pietsosähköisiä kapeampi. Kiihtyvyyssanturilta nauhoitettua signaalia voidaan myös kuunnella, jolloin harjaantunut mittaja pystyy sanomaan mahdollisesta viasta hyvinkin paljon.
Ääni	Äänen mittauksessa anturina on mikrofoni. Mikrofonilla mitattu ääni tallennetaan yleensä nauhalle ja analysoidaan myöhemmin laboratoriossa. Äänen mittausta käytetään lähinnä melun mittauksiin, jolloin tarvitaan sopiva suodatin, joka painottaa taajuudet vastaamaan korvan vastetta. Ääntä on käytetty myös kunnonvalvonnassa. Analysointi voi tapahtua kuten värähtelyjen analysointi. Kunnonvalvonnassa käytetään yleisesti myös sähköistä stetoskooppia, josta on apua esimerkiksi laakerivikoja etsittäessä.
Ultraääni	Ultraäänellä tarkoitetaan ilman painevaihteluina äänen tavoin kulkevaa värähtelyä, jonka taajuus ylittää ihmisen kuuleman äänen taajuuden (20 kHz). Ultraääntä käytetään nykyisin laakerien kunnon arviointiin lähinnä "kuuntelemalla" erityisellä laitteella, joka muuttaa ultraäänen kuultavaan muotoon. Ultraäänen avulla pystytään vika paikallistamaan tarkasti, koska häiritseviä signaaleita ei näin korkeilla taajuuksilla juuri ole. Esimerkiksi laakerivaurioiden ollessa kyseessä ultraäänen käytöllä on saavutettu hyviä tuloksia.
Akustinen emissio	Esimerkiksi laakerivaurion alkuvaiheessa vauriokohdan pinta väsy, jolloin vauriokohtaan muodostuu pieniä säröjä. Nämä lähettävät akustista emissiota (ae) jo ennen kuin ulkoinen vaurio on syntynyt. Ae-anturi on pietsosähköinen mittausväline, joka toimii yleensä taajuusalueella 40 kHz...1 MHz. Anturin taajuusvaste on epälineaarinen. Ae-anturi vastaa rakenteeltaan kiihtyvyyssanturia, mutta kiteen päällä ei ole yleensä lisämassaa. Ongelmana akustisen emission käytössä on anturin kiinnittäminen sekä vaimentavat tekijät, joita ovat esimerkiksi kaikki rajapinnat. Lisäksi sopivan mittausalueen valinnasta ei ole olemassa selvyyttä.

Taulukko 23.6a. (jatkuu)

Iskusysäysmenetelmä eli SPM	Iskusysäysmenetelmä (Shock Pulse Method, SPM) on yleisesti käytettävä laakerien kunnonvalvonnan menetelmä. Käytettävän kiihtyvyyssanturin resonanssitaajuus on viritetty n. 32 kHz:iin. Laakerivauriosta aiheutuvat sysäykset herättävät anturin resonanssin, jonka voimakkuus on verrannollinen iskusysäyksen voimakkuuteen. Iskusysäysmenetelmään perustuen on kehitetty myös mittalaitteita, jotka antavat tietoa laakerissa olevan voiteluainekalvon paksuudesta ja voitelutilanteesta yleensä.
Laserinterferometria	Värähtelymittaukset laserin avulla perustuvat mitattavan kohteen pinnasta heijastuvan mittaus säteen ja vertailusäteen (reference beam) keskinäiseen interferenssiin. Nykyiset lasermittalaitteet ovat ilmeisen monikäyttöisiä. Ominaisuuksista kannattaa mainita kosketuksettomuus, mitatapää voi olla hyvinkin etäällä kohteesta. Lasermittauksen luvataan toimivan teollisuusolosuhteissa eikä mitattavan kohteen pinnan tarvitse olla erityisesti käsitelty. Mittausalue ulottuu jopa satoihin kHz:hin ja erilaiset skannaustoiminnot ovat mahdollisia.

23.6.2. Mittaustulosten analysointi

Yleisimmät värinän analysoinnin menetelmät ovat valittujen tunnuslukujen kehittymisen eli trendin seuranta sekä taajuus- eli spektrianalyysi. Trendiseurannassa mitattavana suureena käytetään tavallisimmin nopeuden tehollisarvoa v_{rms} taajuusalueella 10...1000 Hz. Spektrianalyysissä tarkasteltavana suureena on yleisimmin värinänopeus. Sekä nopeus- että kiihtyvyyssmittauksissa anturina käytetään yleensä pietsosähköistä kiihtyvyyssanturia. Spektrianalyysissä kuten myös trendiseurannassa oikean taajuusalueen valinta on tärkeää, jotta vian aiheuttama värinä todella saadaan mitattua.

23.6.3. Trendiseuranta

Trendiseurannassa seurattavana suureena käytetään tavallisimmin tehollis- tai huippuarvoa värinäkihtyvyydelle, nopeudelle tai siirtymälle. Tehollis- ja huippuarvon mittauksista käytetään standardin PSK 5701 mukaan nimitystä kokonaistason mittaus. Kokonaistason mittauksia käytetään lähinnä rutiinimittauksissa. Tehollisarvolla (rms) on yhteys mittauspisteeseen tulevien värähtelyn kokonaisenergiaan. Kiihtyvyyden tehollisarvo määritellään seuraavasti:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt},$$

jossa a_{rms} on kiihtyvyyden tehollisarvo, a on hetkellinen kiihtyvyys, T on mittausjakson pituus ja t on aika.

Hälytysrajoina käytetään esimerkiksi standardin PSK 5704 mukaisia rajoja. Muistettavaa kuitenkin on, että koneiden värinätasot ovat yksilöllisiä ja että sokea hälytysrajojen seuranta johtaa helposti vaikeuksiin. Yleensä onkin tärkeämpää seurata muutoksen nopeutta kuin absoluuttista arvoa. Trendiseuranta on luotettava menetelmä monien yleisten vikatyypin seurannassa. Esimerkiksi epätasapaino, useat asennus-, linjaus- ja resonanssiongelmat näkyvät yleensä kokonaistasotrendissä.

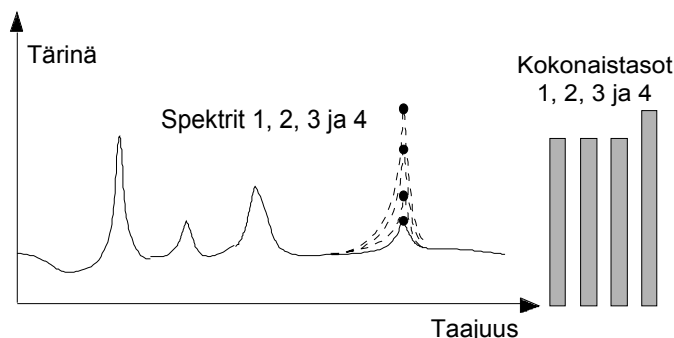
23.6.4. Spektrianalyysi

Spektrianalyysi on yleisin vikadiagnostisoinnin menetelmä. Nykyaikaisilla laitteilla spektrilaskenta on nopeaa ja saavutettava resoluutio sekä dynamiikka on vikojen havaitsemiseksi yleensä riittävä. Mittalaitetekanan kaikinpuolinen kehitys on johtanut siihen, että mittaukset on helpottunut, koska enää ei tarvitse tehdä monimutkaisia mittausjärjestelyjä vian hake- miseksi. Nykyiset laitteet hoitavat automaattisesti mm. skaalauksen ja vahvistuksen.

Käytännössä hyväkuntoisessakin koneessa nähdään yleensä pyörimistaajuinen spektrikomponentti, joka johtuu mm. valmistusepätarkkuuksista. Laitteen vikaantuminen näkyy taa-

juusspektrissä yleensä vikatyypistä riippuen eri taajuuksilla olevien spektrikomponenttien voimistumisena.

Jos vika aiheuttaa värinäarvojen nousua siten, että normaalitilanteessa vallitseva esimerkiksi pyörimistaajuinen komponentti ei vikaantumisen edetessä voimistu, ei muutos käytännössä juurikaan näy tehollisarvossa. Kuvassa 26.3b nähdään esimerkki siitä, kuinka vian kehittyminen näkyy spektrissä selvästi aiemmin kuin tehollisarvossa. Useille vikatyypeille, kuten esimerkiksi laakerivaurioille kokonaistasotrendin seuranta ei yleensä ole riittävän luotettava menetelmä.



KUVA 23.6b. Spektrissä selvästi näkyvä vika saattaa näkyä kokonaistasoarvossa vasta myöhäisessä vaiheessa.

Koska joillain taajuuksilla jo melko matalat spektrihuiput ovat vaarallisia, on spektrien tarkastelu tehtävä huolellisesti, jotta mitään olennaista ei jäisi huomaamatta. Tämän ongelman helpottamiseksi voidaan käyttää ns. kaista- tai spektrivalvontaa. Kaistavalvonnassa asetetaan tietyille taajuuskaistoille rajat, joiden ylittäminen laukeaa hälytyksen. Spektrivalvonnassa asetetaan hälytysraja mitatun spektrin ympärille siten, että mikäli millä tahansa taajuudella jokin spektrikomponentti ylittää rajan, laukeaa hälytys.

Koska monet viat näkyvät spektrissä käyntinopeudella tai sen kerrannaisilla, saattaa vian tarkempi selvittäminen edellyttää vaihekulman mittaamista. Erityisesti vaihekulmaa käytetään epätasapainon, linjausvirheen ja resonanssin erottamiseen toisistaan.

23.6.5. Verhokäyräanalyysi

Vierintälaakereiden kunnonvalvonta perinteisillä tekniikoilla, kuten värinän kokonaistasojen ja taajuusspektrien seurannalla, ei usein tarjoa riittävän luotettavaa ja varhaista indikaatiota kehittyvistä vaurioista. Alkavat laakerivauriot ovat yleensä värähtelyvoimakkuuksiltaan niin heikkoja, että ne peittyvät vallitsevien värinöiden alle. Verhokäyräanalyysi tarjoaa mahdollisuuden laakerivaurioiden havaitsemisen riittävän aikaisessa vaiheessa.

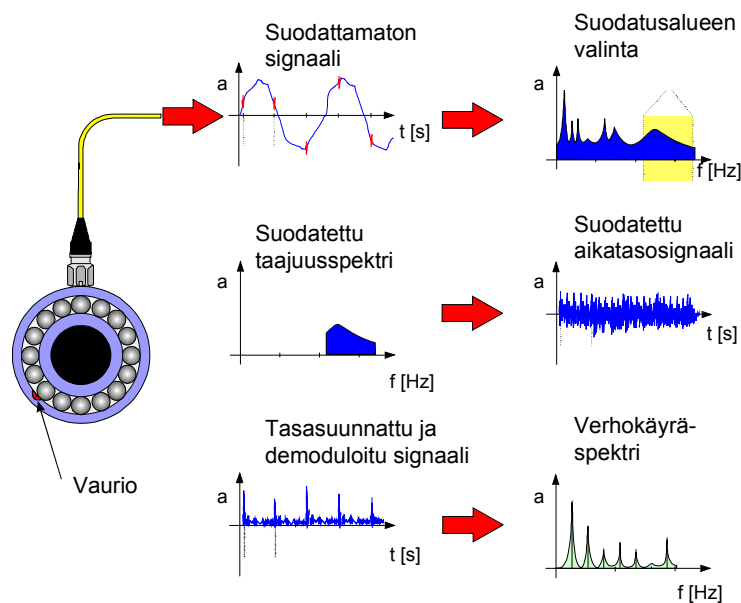
Verhokäyrätekniikan etuna tavalliseen nopeus- tai kiihtyvyyssignaalista tehtävään taajuusanalyysiin verrattuna on mahdollisuus suodattaa signaalista pois esimerkiksi epätasapainosta ja huonosta linjauksesta aiheutuvat värinät, jotka yleensä peittävät alleen alkavat laakeriviat.

Verhokäyräanalyysi perustuu amplitudimodulaatioon. Amplitudimodulaatiolla tarkoitetaan signaalin kertomista toisella signaalilla, jota sanotaan kantaalloksi. Kahden signaalin summautuessa syntyy uusia taajuuskomponentteja, sivunauhoja, jotka muodostuvat kantaallon taajuuden molemmille puolille. Esimerkiksi AM-radiolähetin perustuu juuri matalataajuisen äänisignaalin summaamiseen suurtaajuisen signaalin kanssa, joka toimii kantaallona. Myös pyörivien koneiden vierintälaakereissa ja hammasvaihteissa syntyy amplitu

dimoduloituneita signaaleja, joista laakeri- ja hammasvauriot voidaan havaita usein varsin aikaisessa vaiheessa.

Amplitudimoduloituneen signaalin erottamista kantoaallostaa kutsutaan demodulaatioksi. Amplitudi-demodulaatio on hyödyllinen analysoitaessa signaaleja, jotka sisältävät jaksollisia sarjoja suurtaajuisia purskeita (eli impulsseja). Yleensä tällaiset signaalit syntyvät koneen suurtaajuisen resonanssin herätessä. Vikadiagnostiikan kannalta kiinnostavin informaatio löytyy yleensä nimenomaan impulssien toistumistaajuudelta eikä itse impulssien taajuussisällöstä, joka yleensä muodostuu kaikista heränneistä resonanssitaajuuksista.

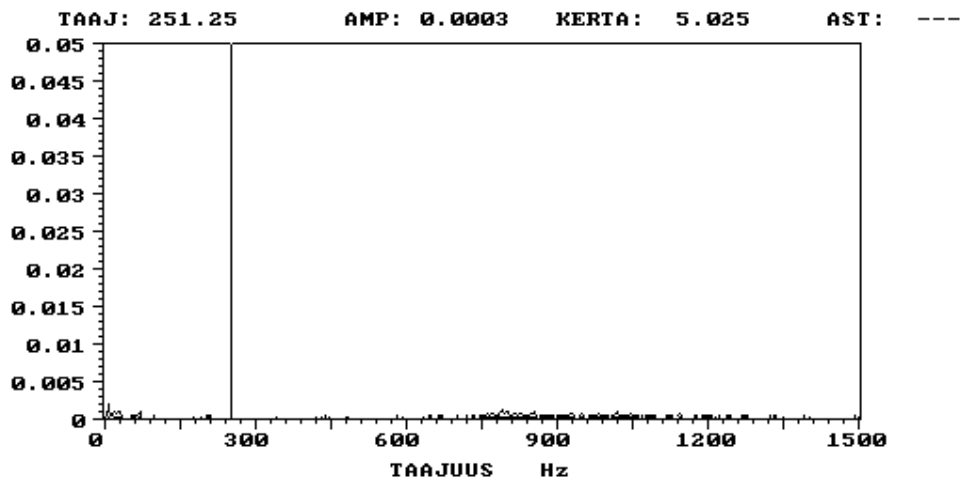
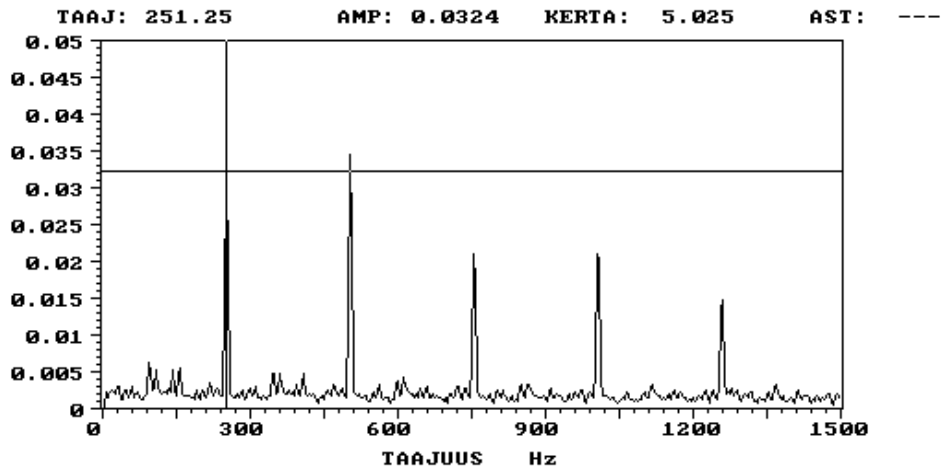
Verhokäyrätekniikan periaate on esitetty oheisessa kuvassa 26.3c. Vaurio laakerin ulkokehällä saa aikaan lyhyitä iskuja, jotka toistuvat ajan T välein. Laajakaistaisesta spektristä vikoja on usein hankalaa erottaa voimakkaan ympäristötärinän ja koneen omien vallitsevien tärinöiden, kuten epätasapainosta ja huonosta rihtauksesta johtuvien tärinöiden, vuoksi. Kuitenkin pienetkin impulssit kykenevät herättämään laakerin ominaistaajuuksia. Tavallisessa taajuusspektrissä tämä ilmenee laajakaistaisena resonanssikohtana suuremmilla taajuuksilla.



KUVA 23.6c. Verhokäyräanalyysin periaate.

Laakerivaurion aiheuttamat impulssit voidaan mitata asettamalla kaistanpäästösuodatin resonanssikohtaan ympärille. Suodatin toimii mekaanisena vahvistimena vaurion aikaansaamille impulsseille. Jotta impulssien toistumis- eli vikataajuus saataisiin erotettua kantoaallostaa, signaali tasasuunnataan ja demoduloidaan. Amplitudidemoduloitu signaali sisältää vain vaurion aiheuttamat impulssit. Kun lopuksi demoduloitulle signaalille suoritetaan FFT-analyysi, tulevat laakerin vikataajuuskomponentit selvästi esille verhokäyräspektrissä.

Mikäli verhokäyräspektri on tasainen, on laakeri ehjä. Vastaavasti "piikit" spektrissä kertovat viasta, joka on helppo selvittää laskemalla laakerin vikataajuuksia. Erityyppiset viat, kuten kuulan sekä sisä- ja ulkokehävauriot, on helposti erotettavissa verhokäyräspektristä.



- a) Viallinen laakeri. Ulkokehävaurio. Komponentti (f_u) kerrannaisineen näkyy selvästi.
 b) Laakerin vaihdon jälkeen mitatussa verhokäyräspektrissä ei ole havaittavissa vika-taajuuskomponentteja.

KUVA 23.6d. Verhokäyräspektri mitattu ennen ja jälkeen laakerin vaihdon.

Verhokäyräanalyysi on tehokas sekä vikojen ilmaisussa että niiden diagnoosissa. Yleisimmin tekniikka on käytetty vierintälaakerien valvonnassa, mutta se soveltuu kaikille jaksollisia impulsseja synnyttävälle vikamekanismeille.

23.6.6. Muita analysoinnin menetelmiä

Taulukossa 23.6b on lyhyt yhteenveto muista yleisesti käytössä olevista kunnonvalvonnan mittaus- ja analysointimenetelmistä.

Taulukko 23.6b. Kunnonvalvonnan värähtelymittausten menetelmiä.

Tahdistettu aikakeskiarvoistus	Tahdistetulla aikakeskiarvoituksella pystytään paikallistamaan esimerkiksi hammaspyörävaurio jopa hammaskohtaisesti. Menetelmän periaatteena on, että värähtelysignaali tahdistetaan anturin avulla tutkittavan akselin pyörimisnopeuteen, jolloin signaalin keskiarvoistamisen jälkeen kunkin hampaan signaali on yksilöitävissä paremmin kuin keskiarvoistamattomalla aikatasosignaalinalla. Menetelmää on käytetty esimerkiksi hammasvaihteille ja puristimen teloille. Laakerivikojen ollessa kyseessä vaikeutena on tahdistuksen saaminen.
Korrelaatiomittaukset	Korrelaatiomittauksilla tarkoitetaan yleensä seuraavia kolmea mittausta: autokorrelaatio, ristikorrelaatio ja ristospektri. Näistä lähinnä autokorrelaatiolla on merkitystä kunnonvalvon- nassa. Autokorrelaatiomittauksilla helpotetaan aikatasosignaalin esiintyvän säännönmukai- suuden havaitsemista. Autokorrelaatiomittauksia on käytetty esimerkiksi laakerivaurioiden etsimiseen.
Kurtosis	Kurtosis on tilastollinen menetelmä, jota käytetään aikatasosignaalin arvioimiseen. Sitä on sovellettu ääni- ja värähtelymittauksiin. Kurtosis on erityisesti vierintälaakereiden kunnon mittaamiseen soveltuva menetelmä ja se kuvaa aikatasosignaalin "piikikkyyttä". Joidenkin lähteiden mukaan kurtosis on muita menetelmiä riippumattomampi koneen käyntiparametreista. Hyväkuntoisella laakerilla kurtosisarvo on likimain vakio 3,0 ja arvon kasvamista tästä pidetään merkinä laakerivaurioista. Kurtosisen mittaaminen perustuu siihen oletukseen, että ehjästä laakerista tuleva värähtely on satunnaisvärähtelyä, joka noudattaa Gaussin jakaumaa. Siniaallolle kurtosisarvo on 1,5. Kurtosisarvon käytön tavoitteena on ollut se, että pystyttäisiin suoraan yhden mittauksen perusteella arvioimaan laakerin kunto ilman että sen trendiä tarvitsisi seurata.
Huippukeroin	Crest factor eli C-arvo määritellään huippuarvon ja tehollisarvon suhteena. Huippukeroin perustuu, kuten kurtosiskin, mitattujen näytteiden jakauman muuttumiseen. Vaurion syntyessä huippuarvo kasvaa alkavan vian aiheuttamien terävien iskujen vaikutuksesta nopeammin kuin tehollisarvo ja tämä näkyy myös crest factorin kasvamisena. Vaurion edelleen kehittyessä myös tehollisarvo kasvaa ja samalla iskujen voimakkuus pienenee, joten crest factor palaa kohti alkuperäistä arvoaan. Normaalkuntoisessa koneessa C-arvot ovat yleensä välillä 2 - 6. Usein crest factor:ia mitataan taajuusalueella 1 Hz - 10 kHz. C-arvon mittausta on pääasiassa käytetty kohteissa, joissa signaalilähteenä on yksinomaan vierintälaakeri
Ratakäyrämittaukset	Ratakäyrän mittaus perustuu kahteen 90° kulmaan toisiinsa nähden asetettuun suhteellista siirtymää mittaavaan anturiin. Näiden ulostuloista saadaan piirrettyä X-Y-tasoon esimerkiksi oskilloskoopilla kuvio, jonka muodon tulkinnalla voidaan saada tietoa laakerin kunnosta. Menetelmää käytetään perinteisesti liukulaakereiden kunnonvalvon- nassa.
Kepstri-analyysi	Kepstri on logaritmissen spektrin spektri. Sillä pystytään havaitsemaan spektrissä esiintyvä jaksollisuus. Vaihteiden diagnostiikassa on käytetty kepstrianalyysiä mm. sivunauhojen havaitsemisen helpottamiseksi. Laakerivaurioita on saatu myös kepstrianalyysillä esille. Kepstrianalyysissä signaali-kohinasuhde paranee kaikkien harmonisten monikertojen kerääntyessä kepstrissä yhdelle "taajuudelle" (quefrequency).
SEE (Spectral Emitted Energy)	SEE on vastaava menetelmä kuin verhoikäyräanalyysi, taajuusalue on vain korkeampi. Tässä menetelmässä mitataan akustista emissiota taajuudella 250 kHz ... 330 kHz. Mitatun signaalin perusteella muodostetaan verhoikäyrä, josta saadaan spektri laskettua.
HFD ja iskuenergia (Spike Energy)	HFD:n ja iskuenergian mittaus perustuu korkeataajuisen kiihtyvyyssignaalin mittaamiseen. Iskuenergiaa mittaavat laitteet suodattavat matalataajuiset häiritsevät värähtelyt pois, jolloin jäljelle jäävät iskujen herättämät resonanssivärähtelyt.