



Aatos Similä

## **KUNNONVALVONTAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN**

# **KUNNONVALVONTAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN**

Aatos Similä  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

---

Tekijä: Aatos Similä  
Opinnäytetyön nimi: Kunnonvalvontajärjestelmän kehittäminen  
Työn ohjaaja: Pentti Huhtanen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012 Sivumäärä: 41 + 3 liitettä

---

Tässä insinööriössä suunniteltiin kunnonvalvontajärjestelmä Raisioagro Oy:n Ylivieskan rehutehtaalle. Tavoitteena oli parantaa tehtaan käyttövarmuutta ottamalla käyttöön laakereiden kunnonvalvontajärjestelmä niissä koneissa ja laitteissa, jotka ovat prosessin ja lastauksen toiminnan kannalta tärkeitä.

Suunnittelu aloitettiin kartoittamalla mitattavat laitteet ja koneet. Valinnassa kiinnitettiin huomiota tehtaan toimivuuteen sekä taloudelliseen menetykseen laitteen rikkoutuessa. Valittiin kunnonvalvontajärjestelmä ja mittalaitteet. Selvitettiin mittapisteiden tekniset tiedot ja niiden asennuspaikat kunnonvalvontajärjestelmää varten. Luotiin mittausreitit ja suoritettiin alustavat mittaukset ja säädöt. Koulutettiin henkilöstö ohjelmiston käytössä ja seurannassa.

Kunnonvalvontajärjestelmäksi valittiin SPM Instrument Oy:n Condmaster Nova -ohjelmisto erityisesti laakereiden kunnonvalvontaa kehittämän iskusysäysmenetelmän ansiosta. Laitteiden valintaa varten selvitettiin vastaanoton, lastauksen sekä prosessin toimintaa tutustumalla tehtaaseen ja prosessikaavioihin. Mittauspisteiden valintaa varten haastateltiin alan asiantuntijoita ja tutustuttiin kunnossapidon kirjallisuuteen. Laitteiden valmistajat toimittivat tarvittavat laakeri- ja hammasratatiedot. Tarvittavat pyörimisnopeudet mitattiin tai laskettiin.

Valmiilla järjestelmällä pystyttiin selvittämään tehtaan kunto värähtely- ja iskusysäysmittauksin. Järjestelmä palvelee kunnossapitoa tuomalla tarvittavaa lisätietoa laitteiden kunnosta. Huollot pystytään suunnittelemaan tarkemmin eikä arvaamattomia rikkoutumisia pääse tapahtumaan. Laitteet pystytään säätämään järjestelmän avulla ja esimerkiksi linjausvirheet pystytään eliminoimaan lähes kokonaan.

Tämä opinnäytetyö tukee kunnossapidon henkilöstöä laakerivikojen analysoinnissa ja tarvittavien huoltotoimenpiteiden määrittämisessä. Tehtaat, jotka suunnittelevat kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönottoa, saavat tästä työstä informaatiota järjestelmän käytöstä ja käytännön hyödyistä.

---

Asiasanat: kunnossapito, kunnonvalvonta, värähtely, suunnittelu, järjestelmä, laakerit

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
KÄSITTEET	6
1 JOHDANTO	8
2 KUNNOSSAPITO JA KUNNONVALVONTA	9
2.1 Kunnossapidon tehtävä	9
2.2 Kunnonvalvonnan tavoitteet	10
2.3 Kunnonvalvonnan menetelmiä	10
3 VÄRÄHTELY	13
3.1 Värähtelyn synty	13
3.2 Värähtelysuureet ja mittayksiköt	14
4 VIANMÄÄRITYS	16
4.1 Vian tunnistaminen	16
4.2 Epätasapaino	17
4.3 Linjausvirhe	17
4.4 Taipunut akseli	19
4.5 Mekaaninen väljyys	19
4.6 Vierintälaakeriviat	21
4.7 Roottorin hankaaminen	26
4.8 Lapataajuus ja kavitaatio	27
4.9 Hihnakäytöt	29
4.10 Vaihteisto	30
5 TOTEUTUS	36
5.1 Vastaanotto	36
5.2 Sekoitus	37
5.3 Rakeistus	37
5.4 Lastaus	38
5.5 Mittauspisteiden tiedot	38
6 TULOKSET	39
7 YHTEENVETO	40
LÄHTEET	41

## LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Esimerkki mittauspisteiden tiedoista

Liite 3 Esimerkki mittausnipan asennuksesta

## KÄSITTEET

Seuraavaan on koottu yleisimpiä kunnossapidossa ja kunnonvalvonnassa käytettäviä termejä ja käsitteitä. (2, s. 26; 6, s. 2–27; 7, s. 8–33.)

ehkäisevä kunnossapito	määrätyin välein tai suunniteltujen kriteerien täyttyessä suoritettu kunnossapito
ennakoiva kunnossapito	kuntoon perustuva kunnossapito, joka perustuu toistuviin analyysihin ja/tai tunnettujen ilmiöiden pohjalta tehtyihin ennusteisiin ja/tai kohteen toimintakunnon heikkenemistä kuvaaviin muuttujiin
jaksotettu kunnossapito	ehkäisevä kunnossapito, joka suoritetaan ilman toimintakunnon tutkimusta ennalta määritettyjen aikajaksojen tai käytön määrän mukaan
korjaava kunnossapito	kunnossapito, joka tehdään vian havaitsemisen jälkeen
kunnonvalvonta	määrätyin välein manuaalisesti tai automaattisesti tehtävä toimenpide, jolla mitataan kohteen tilaa ja parametreja
kunnossapidettävyys	kohteen kyky olla pidettävissä tai palautettavissa normaalin toiminnan tilaan kunnossapidon toimenpiteillä
kunnossapito	kaikki kohteen eliniän aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimintakyvyn ylläpitämiseen tai palauttamiseen tähtäävät toimenpiteet

kunnossapitovarmuus	kunnossapito-organisaation kyky tukitoimenpiteiden mahdollistamiseen vaadittaessa
kuntoon perustuva kunnossapito	ehkäisevä kunnossapito kunnonvalvonnan ja/tai tarkastamisen ja tulosten analysoinnin pohjalta
käynninaikainen kunnossapito	kunnossapitotoimet tehdään kohteen käydessä ilman vaikutusta sen toimintaan
käyttövarmuus	kyky toimia vaadittaessa vaaditulla tavalla
toimintavarmuus	kyky suorittaa vaadittu toiminto vaaditun ajan määrätyissä olosuhteissa
vianmääritys	toimenpiteet vian havaitsemiseksi ja paikallistamiseksi sekä vikaantumisen syiden määrittämiseksi

# 1 JOHDANTO

Raisioagro Oy on johtava korkealaatuisten maatilarehujen kuten naudan-, sian-, kanan- ja poronrehujen valmistaja Suomessa. Yritys on Raisio Oy:n tytäryhtiö, jonka tehtaat sijaitsevat Raisiossa, Kouvolassa ja Ylivieskassa. Ylivieskan modernissa rehutehtaassa valmistetaan naudan- ja poronrehuja. Raisioagro on valmistanut rehuseoksia vuodesta 1948 lähtien, ja sen markkina-asema on kotimaassa maatilarehuissa noin 40 % ja kalanrehuissa yli puolet. (1, Yritysinfo.)

Tehtaan käyttövarmuuden kannalta kunnonvalvontajärjestelmän kehittäminen on tärkeässä asemassa. Tuotannon lisääminen onnistuu paremmin, kun tiedetään tarkasti laitteiden kunto ja voidaan suunnitella alasajot ja huollot etukäteen. Käyttövarmuus on noussut merkittäväksi Ylivieskan yksikössä Raision yksikön lopetettua naudanrehujen valmistamisen. Tuotantoa on tarkoitus lisätä ilman merkittäviä laiteinvestointeja. Teoreettisen maksimituotannon saavuttaminen edellyttää laitteilta suurta käytettävyyttä, mihin pyritään kehittämällä kunnonvalvontaa.

Tässä insinööriyössä keskitytään kunnonvalvontajärjestelmän suunnitteluun ja toteutukseen erityisesti Ylivieskan yksikön tarpeita ajatellen. Tarkoituksena oli selvittää kriittiset laitteet tuotannon kannalta, valita mahdollinen kunnonvalvontajärjestelmä, suunnitella mittauskierrokset ja valita mittausväli sekä kouluttaa työntekijät. (Liite 1.)

Tarkoituksena on, että insinööriyö tukee työntekijöitä vianhaussa ja auttaa selvittämään laitteisiin liittyviä ongelmia. Mittaukset suoritetaan värähtelymittauksilla sekä laakereiden kunnonvalvontaan kehitetyllä iskusysäysmittauksella.



## 2 KUNNOSSAPITO JA KUNNONVALVONTA

### 2.1 Kunnossapidon tehtävä

Kunnossapidon ensisijainen tehtävänä on nykykäsityksen mukaan pitää laitteet jatkuvasti käyttökunnossa. Tähän kuuluvat rikkoutuneiden laitteiden ja komponenttien korjaukset, mutta korjaustoiminta ei ole kunnossapidon päätarkoitus. Kunnossapito ei myöskään ole kustannus vaan tärkeä tuotannontekijä, jonka avulla pystytään varmistamaan tuotantolaitoksen kilpailukyky. Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana. (2, s. 25; 4, s. 2.)

Laitoksella pitää olla selkeä käsitys siitä, millaista suorituskykyä laitteilta odotetaan. Tämä määrää sen, minkälaista tasoa kunnossapidolta odotetaan, ja sen pohjalta voidaan suunnitella kunnossapitostrategia ja kunnossapidon käytännön toimenpiteet. Mikäli tätä ketju ei toimi, on kunnossapito heikolla pohjalla. Tärkeimmät työkalut kunnossapidon suunnittelun kannalta ovat erilaiset elinjakso-kustannusten ja -tuottojen laskennat. (2, s. 26.)

Kuntoon perustuva kunnossapito tunnetaan hyvin keskeytymättömissä prosesseissa, joissa pienetkin tuotannon pysäytykset ovat kalliita, kuten kohteissa, joissa vikaantumiset voivat aiheuttaa turvallisuusriskejä. Kuntoon perustuvan kunnossapidon merkitystä ei aina ymmärretä laitoksissa, jotka eivät käy jatkuvasti. Tällaiset laitokset siirtävät huoltojaan suoritettavaksi prosessin seisoessa, jolloin huolloille jää enemmän aikaa. Tämä on kuitenkin vain osa totuutta, sillä kunnossapidonpuute näkyy alentuneena suoritus- tai laaduntuottokykynä. Lisäksi korjaustoiminta on usein erittäin kallista. (2, s. 139.)

Koneen kuntoa tulee valvoa menetelmillä, joilla viat voidaan havaita luontevasti sekä seurata niiden kehittymistä. Laitteiden vikaantuminen todennäköisyys riippuu vain vähän laitteen käyttöiästä. Suuri osa käytännössä tapahtuvista laitteiden vikaantumisista on satunnaisia. Kunnonvalvonnassa vikaantumismekanismissa tarkoitetaan sellaista vikaantumiseen johtavaa fyysistä, kemiallista tai

muuta prosessia, kuten kulumista, syöpymistä, väsymistä tai murtumaa, joka on aistein tai mittauksilla havaittavissa. Mitä paremmin todennäköiset vikaantumismekanismit tunnetaan, sitä paremmin pystytään määrittämään tarvittavat menetelmät ja valvottavat suureet. (2, s. 140.)

Koneen kunnan arviointi on mahdollista toteuttaa, kun on olemassa sellainen raja-arvo, muutos tai muu määriteltävissä oleva piirre, joka viittaa vikaantumiseen. Aikaväli vian toteamisesta vaurioon on riittävän pitkä aika. Vikaantumismekanismi on sellainen, että vian kehitystä pystytään seuraamaan ja ennustamaan. Mittaukset on mahdollista toteuttaa nopeammalla aikavälillä ennen kuin vika etenee vaurioksi. (3, s. 2–6.)

Kunnonvalvonta on kunnossapidon osa-alue, joka tuottaa tehdaslaitosten koneiden ja laitteiden käytön ja kunnossapidon kannalta oleellisia tietoja. Kunnonvalvonnalla voidaan vaikuttaa suoraan toiminnan kannattavuuteen. Kunnonvalvonnalla voidaan saavuttaa suuria hyötyjä tuottavuuden kasvuun, kunnossapidon suunniteltavuuteen, seisokkiaikojen vähentämiseen sekä koneiden pidentyneiden elinkaarien kautta. (4, s. 11.)

## **2.2 Kunnonvalvonnan tavoitteet**

Kunnonvalvontamittauksilla pyritään havaitsemaan laitteiden vikaantuminen hyvissä ajoin ennen vian kehittymistä niin vakavaksi, että se johtaa koneen pysäyttämiseen. Esimerkiksi laakeriviat voidaan oikeilla valvontamenetelmillä usein havaita aikaisessa vaiheessa, millä mahdollistetaan vielä kuukausien turvallinen käyttö ja laakerien vaihdot ilman normaalin tuotannon häiriintymistä. Mittaavan kunnonvalvonnan merkityksen kasvuun ovat vaikuttaneet tuotantolinjojen rakentaminen ilman varakoneita, tuotantomäärien kohoaminen, koneiden pyörimisnopeuksien kasvu ja rakenteiden keventäminen, huolto- ja käyttöhenkilökunnan vähentäminen ja käyttöolosuhteiden epämieluisat olosuhteet. (2, s. 119; 5, s. 13.)

## **2.3 Kunnonvalvonnan menetelmiä**

Aiemmin kunnonvalvontaa suoritettiin pääasiassa aistihavaintojen avulla. Aistihavainnot pohjautuvat ihmisen näkö-, kuulo-, haju- ja tuntoaisteihin, ja niiden

antamia tuloksia on vaikea vertailla tai dokumentoida. Näitä menetelmiä ei pidä aliarvioida nykypäivänä, vaikka niitä täydentämään on kehitelty uusia mittausmenetelmiä. Lukumääräisesti suurin osa koneista on aistinvaraisen seurannan piirissä. Aistinvaraiset menetelmät paljastavat pitkälle kehittyneet viat, ja pystyvät näin tukemaan muita menetelmiä. (2, s. 418–424.)

Värähtelymittaukset ovat yleisin pyörivien koneiden kunnonvalvontamenetelmä käytönaikaisessa valvonnassa sekä vikojen selvittämisessä. Värähtelyvalvonnan suunnittelu on monimutkainen prosessi. Käyttökelpoisimmat valvontamenetelmät riippuvat valvottavasta kohteesta, laitteen kriittisyydestä tuotannon kannalta sekä taloudellisista tekijöistä. (2, s. 223.)

Iskusysäysmenetelmä on erityisesti laakereiden kunnonvalvontaan tarkoitettu menetelmä. Iskusysäysmenetelmässä käytetään kiihtyvyyssanturia, jonka resonanssitaajuus on viritetty noin 32 kHz:iin eli mittaus perustuu resonanssin mittaamiseen toisin kuin yleensä kiihtyvyyssantureissa. Laakerivauriosta aiheutuvat sysäykset herättävät anturin resonanssin. Laakerivauriot havaitaan aiemmin kuin värähtelymittauksilla. (6, Laakereiden valvonta.)

Voiteluaineanalyysit ovat tärkeä menetelmä koneen kunnonvalvonnassa ja vianmäärityksessä. Voiteluaineanalyysillä saadaan tietoa koneen kulumisesta, voiteluaineen kunnosta, prosessin toiminnasta ja voitelun tehokkuudesta. Tämän vuoksi menetelmän liittäminen osaksi kunnonvalvontaa on tarkoituksenmukaista. Epäpuhtaudet lisäävät kulumista ja laskevat voiteluaineen kuntoa, laskenut voitelutaso lisää koneen kulumista ja lisääntynyt kuluminen tarkoittaa lisää epäpuhtauksia voiteluaineessa. Voiteluanalyysit voidaan jaotella neljään tyyppiin: perusominaisuuksien analyysit tutkivat voiteluaineen kuntoa. Hiukkanalyysillä seurataan voiteluaineen puhtautta, hiukkasten kokojakaumaa sekä koneen kuntoa. Metallianalyysien avulla tutkitaan koneen kuntoa voiteluaineessa olevien metallipitoisuuksien avulla ja vesipitoisuusanalyysillä seurataan voiteluaineen vesipitoisuutta. (2, s. 428–429.)

Lämpötila on myös yleisesti käytetty mittaussuure teollisuudessa. Varsinkin prosessin valvonnassa ja ohjauksessa tällä on keskeinen asema. Mittaukset voidaan suorittaa koskettavalla tai koskemattomalla mittausmenetelmällä. Ylei-

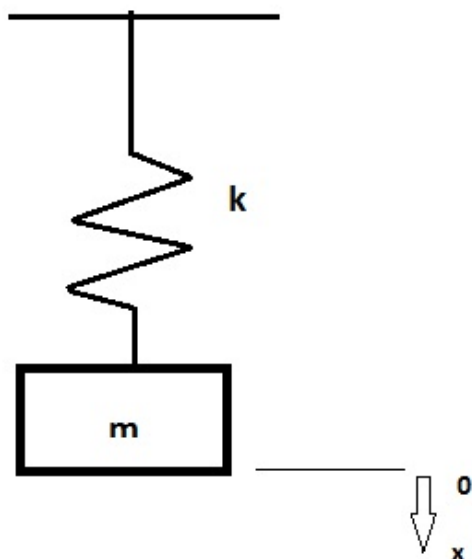
simmin käytetyt koskettavat lämpötila-anturit ovat metallivastusanturit ja termoparianturit. Näiden etuna on niiden asennettavuus kiinteästi laitteeseen. Koskemattomia mittausmenetelmiä on mm. pistemäiset infrapunalämpömittarit tai laajalta alueelta mittaavat lämpökamerat. (2, s. 439–446.)

## 3 VÄRÄHTELY

### 3.1 Värähtelyn synty

Mekaaninen värähtely on rakenteen, koneen tai koneen osan liikettä tietyn tasapainoaseman ympärillä. Värähtely tarvitsee ylläpysyäkseen suuntaansa ja suuruuttaan vaihtavan voiman eli herätteen, esimerkiksi akselin pyörimisliikkeen. Vakiovoima ei pysty aiheuttamaan värähtelyä. Värähtelyä voidaan joissakin tapauksissa käyttää hyväkseen, esimerkiksi seuloissa ja kuljettimissa. Pääsääntöisesti värähtely on haitallista, mikä ilmenee esimerkiksi käyttöiän alenemisena, liitosten löystymisenä, energiahäviöinä ja rakenteiden väsymismurtumina. Tyypillisiä epätarkkuuksia ja vikoja, jotka toimivat värähtelyn heräteinä, ovat esimerkiksi epätasapaino, valmistuksen ja asennuksen epätarkkuudet ja virheet sekä kulumalla tai muuten vaurioituneet osat. (2, s. 224; 3, s. 40.)

Värähtelevää mekaanista systeemiä voidaan kuvata massan, jousen ja vaimennuksen avulla. Systeemin värähtelyn aikaasaamiseksi tulee siihen vaikuttaa heräte. Kuvassa 1 tarkastellaan yhden vapausasteen värähtelijää. Sillä on vain yksi suunta eli vain yksi vapausaste. Todellisuudessa tällaiset tapaukset ovat harvinaisia. Tavallisella koneella on vähintään kuusi vapausastetta. Se voi liikkua vaaka-, pysty- ja akselisuuntaan sekä kiertyä kunkin suunnan ympäri. (4, s. 40–41.)

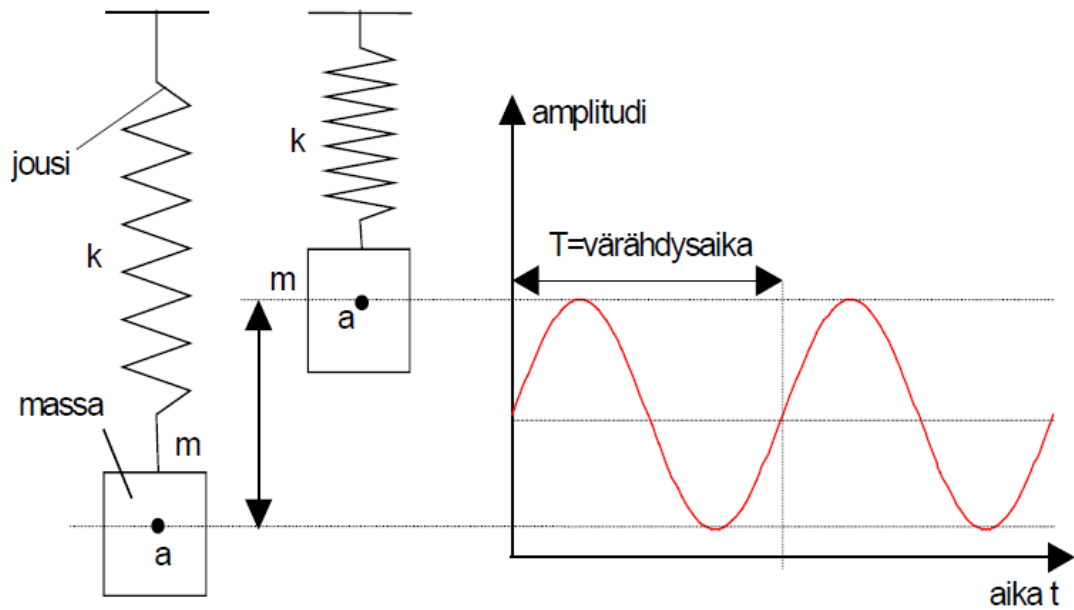


KUVA 1. Yhden vapausasteen värähtelijä (2, s. 226)

Jos värähtelyyn ei vaikuta ulkoista voimaa, kutsutaan sitä vapaaksi värähtelyksi, joka vaimenee ja lopulta katoaa. Kun värähtelyyn vaikuttaa ulkoinen voima, kuten pyörivässä moottorissa epätasapaino, puhutaan pakkovärähtelystä. Kappale alkaa tällöin värähdellä voiman taajuudella. (4, s. 41–44.)

### 3.2 Värähtelysuureet ja mittayksiköt

Kaikki värähtelevät laitteet käyttäytyvät jousi-massasysteemin tavoin. Yksinkertainen esimerkki värähtelystä jousi-massasysteemin avulla esitetään kuvassa 2. Kun massa  $m$  poikkeutetaan tasapainoasemasta ja päästetään irti, aiheutuu värähtelevä liike siten, että kuvaan piirretty massapiste  $a$  värähtelee tasapainoaseman molemmin puolin. Yhden värähdysliikkeen aikana piste  $a$  käy negatiivisessa sekä positiivisessa maksimi-asemassa. Kuvaan on piirretty tätä liikettä esittävä aikatasosignaali, jossa vaaka-akselilla on aika ( $t$ ) ja pystyakselilla amplitudi ( $A$ ). Kuvassa on myös esitetty värähdysaika ( $T$ ). Värähtelyn amplitudilla kuvataan sitä, kuinka voimakasta värähdysliike on. (2, s. 227.)



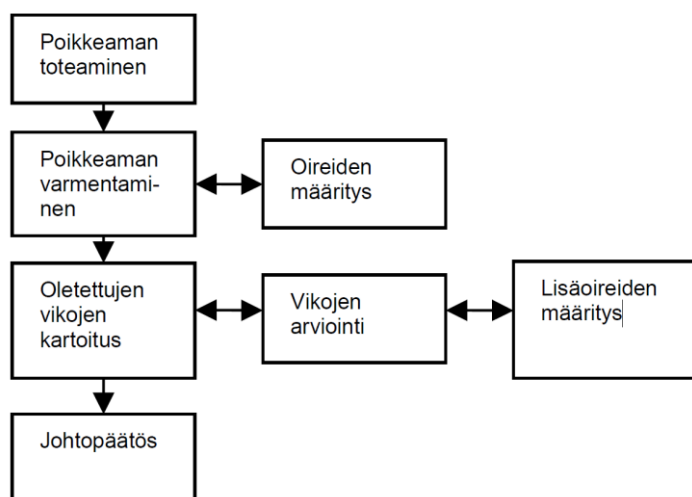
*KUVA 2. Jousi-massasysteemin pisteen a värähtelyn esittäminen aikatasossa (8, s. 7)*

Yleisimmin käytetty kunnonvalvonnan mittaussuure on värähtelyn nopeus, mutta käytetään myös kiihtyvyyttä ja siirtymää. Riippumatta siitä, mitä suuretta todellisuudessa mitataan, voidaan muut selvittää matemaattisesti joko derivoimalla tai integroimalla ajan suhteen siirtymä, nopeus tai kiihtyvyys. Siirtymän ensimmäinen derivaatta on nopeus ja toinen kiihtyvyys. Vastaavasti kiihtyvyyden ensimmäinen integraali on nopeus ja toinen siirtymä. (2, s. 227–229.)

## 4 VIANMÄÄRITYS

Vianmääritys on monivaiheinen tapahtuma, jossa ei tule edetä suoraan mittaus-tuloksista johtopäätökseen. Oireiden ilmenemiseen on monia syitä, jotka eivät ole yksiselitteisiä. Määritystä vaikeuttaa oireiden liittyminen useaan vikaan. Toi-saalta yhteen vikaan liittyy yleensä useampi oire. (9, s. 4.)

Vian määritys käynnistyy, kun havaitaan poikkeama. Vikojen selvittämiseksi käynnistetään oireiden määritys. Varsinainen johtopäätös perustuu useaan vai-heeseen, jossa suljetaan pois epätodennäköisiä ja varmistetaan todennäköisiä vikoja. Tätä on havainnollistettu kuvassa 3. (9, s. 4.)



KUVA 3. Vianmäärityksen kulku (9, s. 4)

### 4.1 Vian tunnistaminen

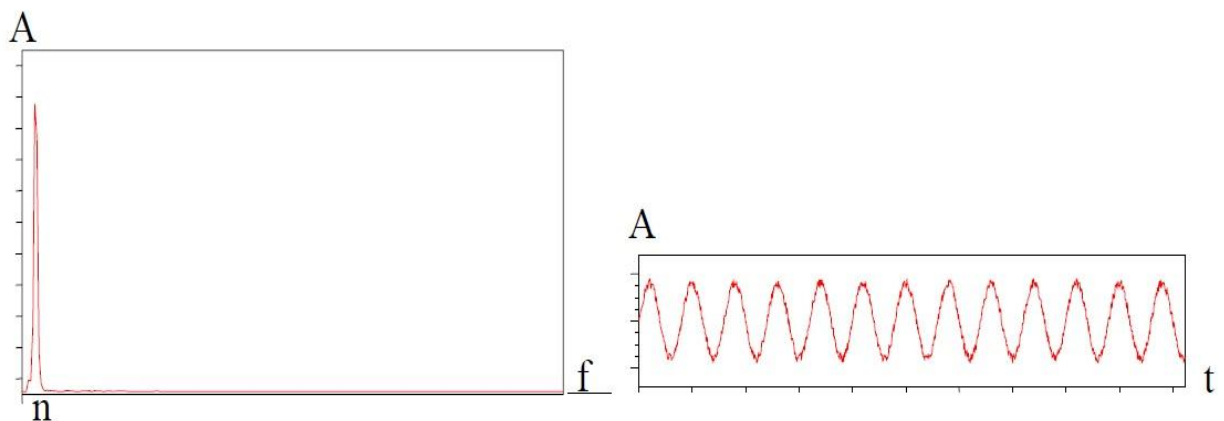
Vikojen tunnistamisen tarkoitus on tunnistaa havaintojen pohjalta, mikä on aiheuttanut valvonnassa havaitun poikkeaman. Tunnistaminen on tärkeää siksi, että voidaan suunnitella mahdolliset korjaustoimet tehokkaasti ja taloudellisesti. Ajoituksessa tärkeää on se, että joissakin vikatyypeissä vähäiset merkit johtavat välittömään pysäytykseen, kun taas toisten vikojen kohdalla turvallista käyttöaikaa saattaa olla jäljellä hyvinkin paljon. (2, s. 297.)



## 4.2 Epätasapaino

Epätasapaino on kaikkein yleisin syy pyörivien koneiden värähtelyyn. Epätasapaino voi johtua mm. huonosta valusta, tiheyden vaihtelusta, valmistustoleransseista, epätasaisesta likaantumisesta, epätasaisesta kulumisesta tai mistä tahansa tekijästä, joka aiheuttaa sen, että pyörivän kappaleen painopiste ei ole pyörimiskeskisteessä. Epätasapainon kehitys voi vaihdella esimerkiksi likaantumisen seurauksena. (2, s. 297; 9, s. 7.)

Epätasapainon aiheuttama värähtely ilmenee koneen pyörimistaajuudella, ja sen aiheuttama voima kasvaa pyörimisnopeuden neliön funktiona (kuva 4). Voima on suoraan verrannollinen epätasapainossa olevan massa määrään ja sen etäisyyteen pyörimiskeskisteestä. (9, s. 7.)



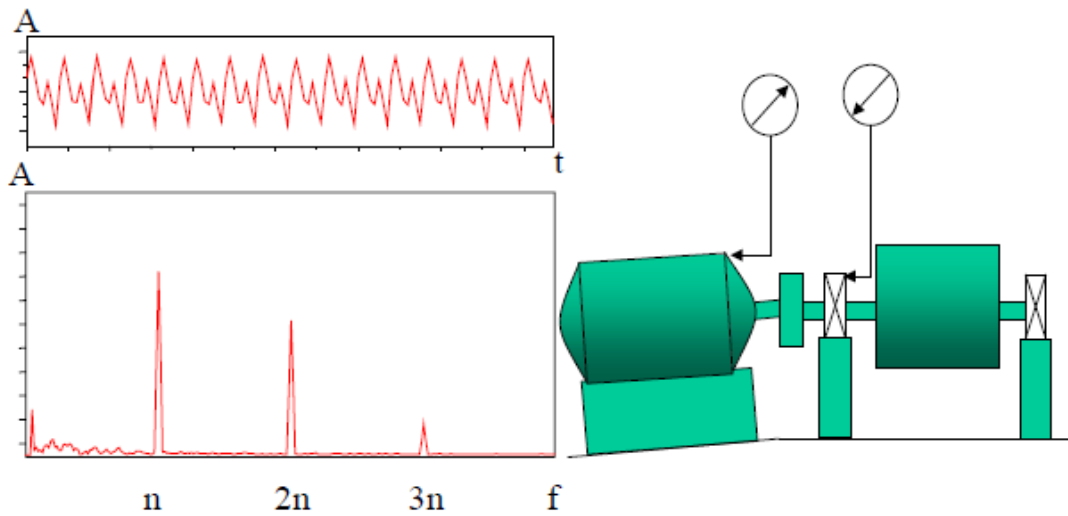
KUVA 4. Epätasapaino taajuus- ja aikatasossa (9, s. 8)

## 4.3 Linjausvirhe

Linjausvirhe on toiseksi yleisin värähtelyn aiheuttaja pyörivissä koneissa. Linjausvirheen yleisimmät syyt ovat asennusvirheet tai lämpöliikkeet. Linjausvirhe näkyy yleensä pyörimistaajuuden  $n$  monikerroilla. Linjausvirhe voi olla kulmalinjausvirhe tai säteislinjausvirhe tai näiden yhdistelmä. Tyypillisiä esimerkkejä on erilaiset sähkömoottorin ja vaihteiden liitokset. (2, s. 303–304.)

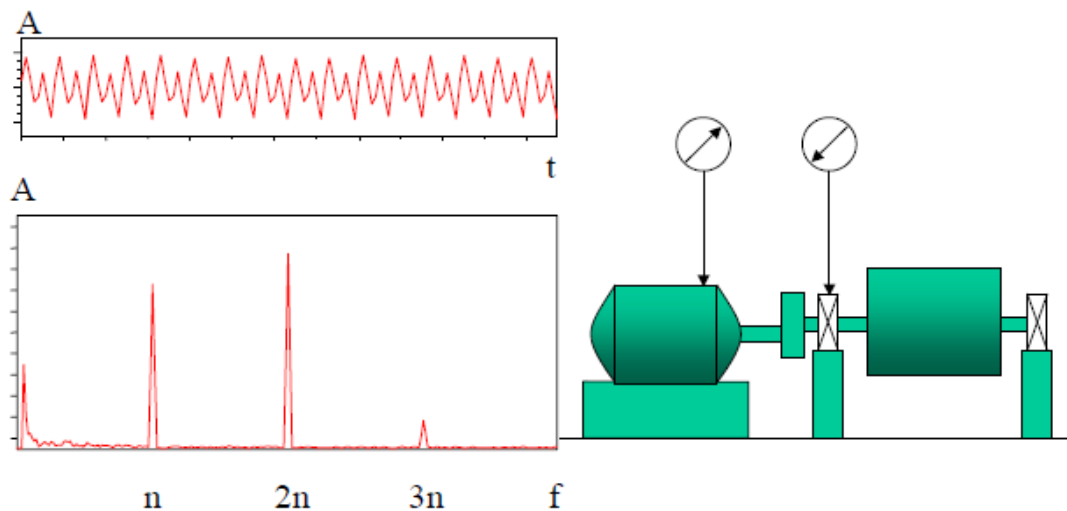
Kulmalinjausvirheessä akselien keskilinjat ovat erisuuntaisia. Tämä aiheuttaa pääasiallisesti akselin suuntaista värähtelyä (kuva 5). (9, s. 11). Linjausvirheet aiheuttavat muun muassa melua, kytkimen kulumista, tiivistevaurioita ja lisä-

kuormituksesta johtuvaa laakerin eliniän lyhenemistä. Ne myös lisäävät energi-  
ankulutusta. (2, s. 304.)



KUVA 5. Kulmalinjausvirhe (9, s. 11)

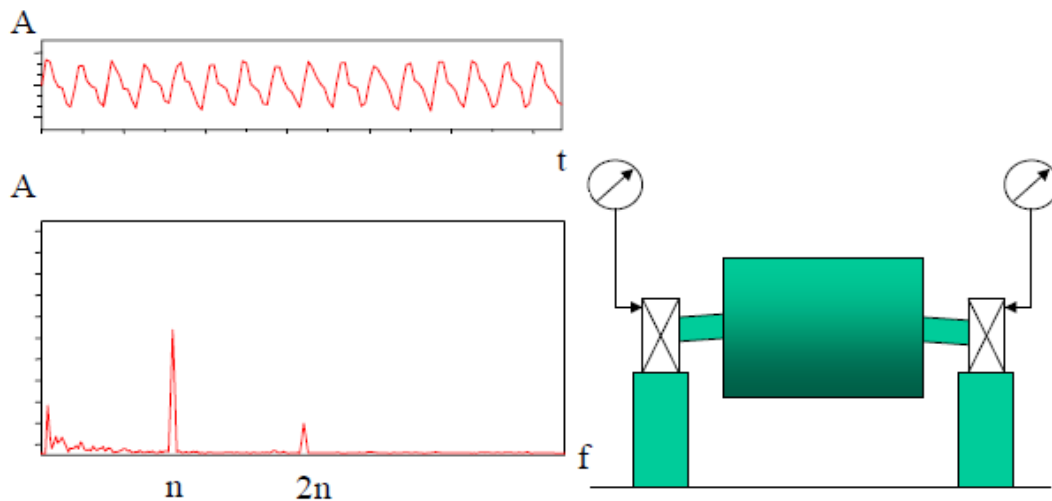
Säteislinjausvirheessä akselien keskilinjat ovat yhdensuuntaisia, mutta ne eivät  
ole samassa linjassa. Tämä aiheuttaa säteissuuntaista värähtelyä (kuva 6).  
Pyörimistäajuisen värähtelyn toisen kerrannaisen voimakkuus saattaa spektris-  
sä olla suurempi kuin ensimmäisen kerrannaisen. Koska säteislinjaus voi olla  
virheellinen sekä horisontaali- että vertikaalisuunnassa on mittaus syytä suorit-  
taa kummassakin suunnassa. (9, s. 11; 2, s. 304.)



KUVA 6. Säteislinjausvirhe (9, s. 12)

#### 4.4 Taipunut akseli

Taipunut akseli aiheuttaa sekä säteis- että akselin suuntaista värähtelyä, jonka vaihe-ero taipuman eri puolilla sijaitsevista laakereista mitattuna on noin 180 astetta. Vallitseva värähtelytaajuus on  $n$ , jos taipuma on lähellä akselin keskiosaa ja  $2n$ , jos taipuma on lähellä kytkintä (kuva 7). (9, s. 10.)

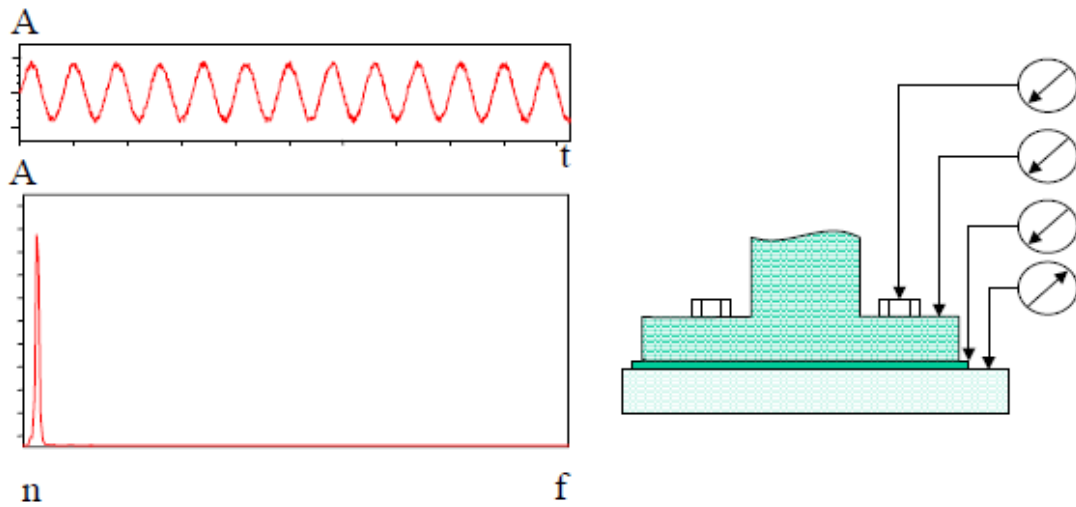


KUVA 7. Taipunut akseli (9, s. 10)

Ennen käyttöönottoa syntynyt taipuma on vika, joka ei poistu käytön aikana vaan saattaa jopa lisätä taipumista. Pysähdyksissä olevan koneen akselin omasta painosta aiheutuva taipuma voi suoristua pyörittäessä. (2, s. 301.)

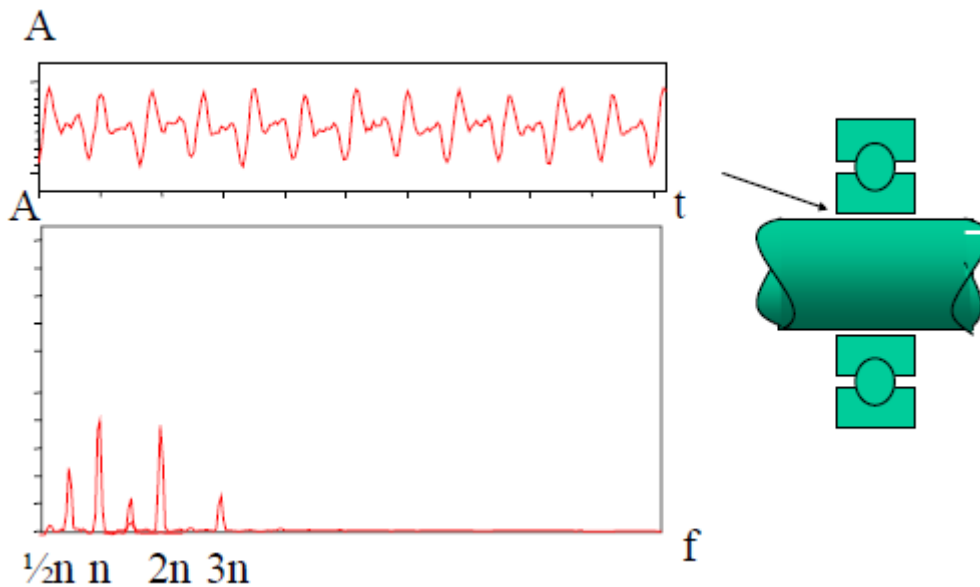
#### 4.5 Mekaaninen väljyys

Mekaaninen väljyys voi aiheuttaa kuvien 8 ja 9 mukaista värähtelyä. Väljien osien vaikutuksesta värähtely on epälineaarista dynaamisiin voimiin nähden. Väljyys aiheuttaa usein aliharmonisia komponentteja tai niiden monikertoja. Kuvan 8 värähtely johtuu esimerkiksi löysistä kiinnityspulteista, tukirakenteista tai laakerituissa olevista halkeamista. (9, s. 12.)



KUVA 8. Löysä kiinnitys (9, s. 12)

Väljyyden salliman liikevaran loppuessa aikatasosignaali typistyy ja spektriin muodostuu herätteen moninkertoja (kuva 9). Mekaaninen väljyys pyrkii käytön aikana suurenemaan. Oireiden voimakkuudesta voidaan päätellä väljyyden vakavuus. Esimerkiksi liitoksen irrotessa oireet muuttuvat äkillisesti. (2, s. 310.)



KUVA 9. Huono sovitus (9, s. 13)

## 4.6 Vierintälaakeriviat

Vierintälaakerilla on tyypillisiä vikaantumisvaiheita, joiden kautta vika kehittyy. Jatkuessaan vika johtaa lopulta vierintälaakerin ja myös akselin vaurioitumiseen. Pääsääntöisesti vierintälaakerin vikojen kehittyessä oireiden voimakkuus kasvaa ja niiden määrä lisääntyy (9, s. 14).

Laakerivaurioiden aiheuttamien iskujen voimakkuus on usein vähäinen verrattuna laitteiden muuhun värähtelyyn, varsinkin jos pyörimisnopeus on matala. Laakerivian havaitsemiseen käytetäänkin usein taajuusspektrin lisäksi erilaisia korkeataajuus menetelmiä vian havaitsemiseksi, kuten verhokäyräanalyysiä, PeakVue-menetelmää, iskusysäys-, eli SPM- mittausta, kiihtyvyyttä korkeampiasteisia aikaderivaattoja tai akustista emissiota. (2, s. 311.)

Normaalisti viat ilmestyvät ensin vierintäradoille edeten vierintäelimiin ja pidikkeeseen. Ulko- ja sisäkehien sysäystaajuudet (BPFO, BPFI) tulevat näkyviin ennen vierintäelimen sysäystaajuutta (BSF). Vikaantumisen edetessä pidikkeen taajuus (FTF) tavallisesti ilmenee joko perustaajuutena tai jonkin toisen taajuusnivunauhoina. Vierintäelimen sysäystaajuus ilmenee joskus sisä- tai ulkokehä sysäystaajuuden sivunauhoina. (9, s. 16.)

Laakerissa oleva vaurio aiheuttaa iskusysäyksen, joka aiheutuu vierintäelimen törmäämisestä kehällä olevaan kuoppaan tai esteeseen. Isku leviää pallomaisena aaltona lähiympäristöön. Rajapinnoilla osa iskusta heijastuu takaisin ja osa menee läpi. (2, s. 314.)

Ulkokehän värähtely näkyy tyypillisesti voimakkaampana kuin sisäkehän, sillä värähtelyanturi on usein lähempänä ulkokehää kuin sisäkehää. Sisäkehän signaalilla on useampi rajapinta kohdattavanaan ennen kuin se saavuttaa anturin. Sisäkehän pyörimisestä johtuen vikakohta tulee kuormitusalueelle kerran kierroksen aikana. Tämä näkyy voimakkaina pyörimistaajuuden sivunauhoina sisäkehätaajuuden molemmin puolin. Vastaavasti kun vikoja syntyy itse vierintäelimiin, ne aiheuttavat taajuuskomponentteja perustaajuuden ( $f_r$ ) lisäksi pidikkeen taajuudella ( $f_p$ ), koska ne tulevat kuormitusalueelle pitimen pyörimistaajuuden välein. Vierintäelimen taajuuskomponentin ilmestyminen ei välttämättä tarkoita,

vikaa vierintäelimestä. Se saattaa ilmaista, että pidike on vaurioitunut ja kuulat törmäilevät pidikettä vasten. (2, s. 315; 9, s. 16.)

Ulkokehän vikataajuus lasketaan kaavalla 1 (2, s. 313).

$$f_u = BPFU = \frac{N}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta\right) \cdot n \quad \text{KAAVA 1}$$

$N$  = vierintäelinten lukumäärä

$d$  = vierintäelimen halkaisija

$D$  = vierintäelinten keskilinjasta mitattu laakerin halkaisija

$n$  = akselin pyörimistaajuus

$\beta$  = kuormituskulma

Sisäkehän vikataajuus lasketaan kaavalla 2 (2, s. 313).

$$f_s = BPSI = \frac{N}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \beta\right) \cdot n \quad \text{KAAVA 2}$$

$N$  = vierintäelinten lukumäärä

$d$  = vierintäelimen halkaisija

$D$  = vierintäelinten keskilinjasta mitattu laakerin halkaisija

$n$  = akselin pyörimistaajuus

$\beta$  = kuormituskulma

Vierintäelimen vikataajuus lasketaan kaavalla 3 (2, s. 313).

$$f_v = BSF = \frac{D}{2d} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \cos \beta \right)^2 \right] \cdot n \quad \text{KAAVA 3}$$

$N$  = vierintäelinten lukumäärä

$d$  = vierintäelimen halkaisija

$D$  = vierintäelinten keskilinjasta mitattu laakerin halkaisija

$n$  = akselin pyörimistaajuus

$\beta$  = kuormituskulma

Pitimen vikataajuus lasketaan kaavalla 4 (2, s. 313).

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

KAAVA 4

$N$  = vierintäelinten lukumäärä

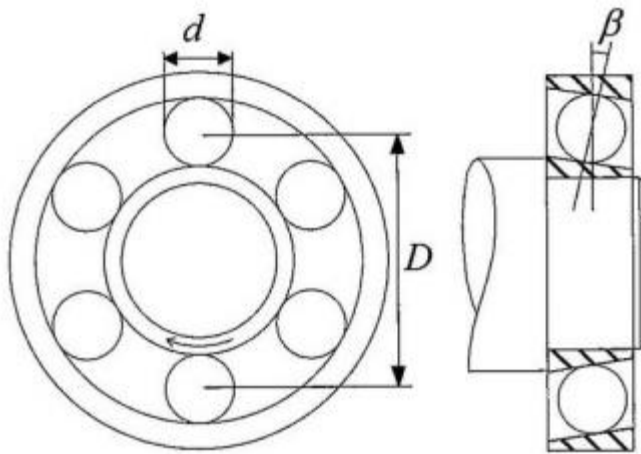
$d$  = vierintäelimen halkaisija

$D$  = vierintäelimien keskilinjasta mitattu laakerin halkaisija

$n$  = akselin pyörimistaajuus

$\beta$  = kuormituskulma

Laakerien mitat saadaan laakerien valmistajilta. Kuvassa 10 on selvennetty laakerin geometriaa. Kaavoissa 1, 2, 3 ja 4  $n$  on akselin pyörimisnopeus siinä tapauksessa, että ulkokehä on kiinteä ja akseli pyörii. Jos ulkokehä pyörii nopeammin kuin sisäkehä, on miinusmerkki kaavassa 4 muutettava plusmerkiksi. On huomioitava, etteivät kaavoilla lasketut arvot ole absoluuttisia. Virheitä aiheuttavat mm. sisäinen esikuormitus, aksiaalikuormitus, vierintäelimien liukuminen ja laakerin geometrian muuttuminen sitä kuormittaessa. (2, s. 313.)



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

KUVA 10. Laakerin geometria (2, s. 313)

Mikäli mitattavan laakerin geometriaa ei tunnetta, voidaan olettaa vikataajuuksi-  
 en perustuvan tavanomaiseen laakerigeometriaan. Mikäli vierintäelimien luku-  
 määrää ei myöskään tunnetta, voidaan arvata sen olevan yhdeksästä yhteen-  
 toista. (2, s. 313.)

Pitimen vikataajuus, jos laakerin geometriaa ei tunneta, lasketaan kaavalla 5 (2,  
 s. 313).

$$f_p = FTF = 0,4n$$

KAAVA 5

$n$  = akselin pyörimistaajuus

Ulkokehän vikataajuus, jos laakerin geometriaa ei tunneta, lasketaan kaavalla 6  
 (2, s. 313).

$$f_u = BPFO = 0,4n \cdot N$$

KAAVA 6

$n$  = pyörimistaajuus

$N$  = vierintäelinten lukumäärä

Sisäkehän vikataajuus, jos laakerin geometriaa ei tunneta, lasketaan kaavalla 7  
 (2, s. 313).



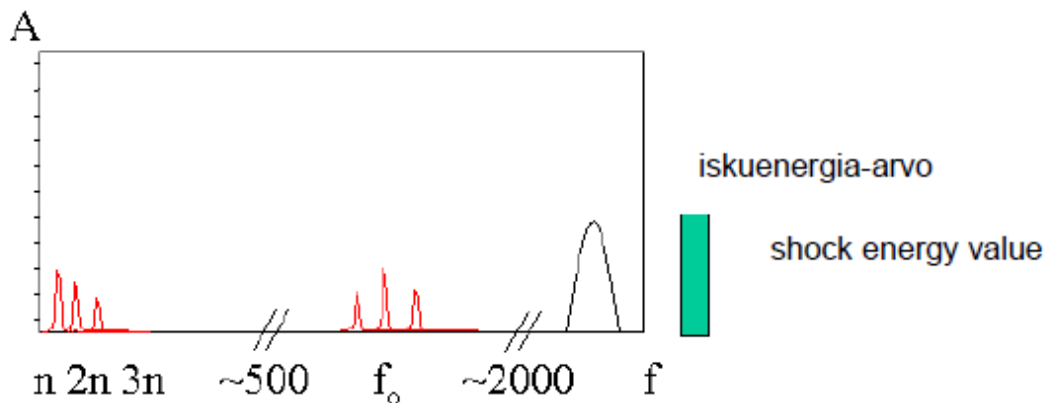
$$f_s = BSF = 0,6n \cdot N$$

KAAVA 7

$n$  = pyörimistaajuus

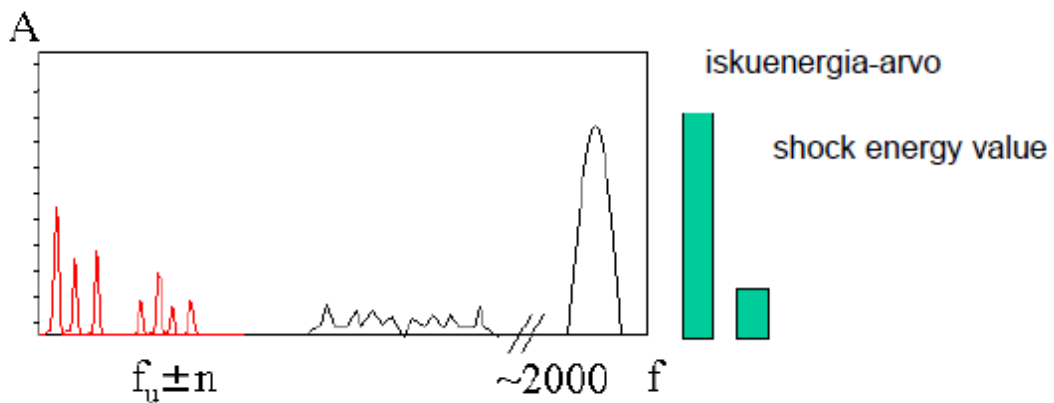
$N$  = vierintäelinten lukumäärä

Laakerin vikaantuminen näkyy sysäystaajuuksien lisäksi niiden monikerroilla (kuva 11). Paikallinen vika vierintäpinnalla aiheuttaa tyypillisesti kasvaneita iskusysäysarvoja sekä huippuja taajuusalueella, joka vastaa laakerin osien ominaistaajuutta  $f_0$  tyypillisesti 500...2 000 Hz. Kulumisen edetessä sysäystaajuuksien monikertojen määrää lisääntyy. (2, s. 314; 9, s. 16.)



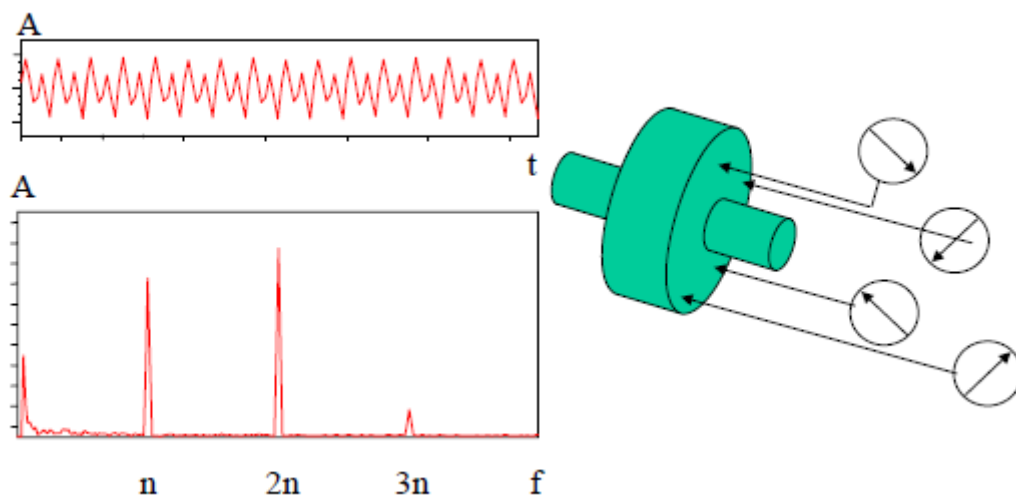
KUVA 11. Yksittäiset laakerivauriot (9, s. 15)

Lähellä vaurioitumista amplitudi nousee pyörimistaajuudella ja sen monikerroilla (kuva 12). Erilliset spektriipiikit laakerin sysäys- ja ominaistaajuuksilla alkavat hävitä ja niiden tilalle ilmestyy laajakaistaista värähtelyä. Iskuenergia-arvot saattavat laskea, mutta yleensä vähän ennen lopullista vaurioitumista kasvavat hyvin suuriksi. (9, s. 16.)



KUVA 12. Kehien kulumisen loppuvaihe (9, s. 17)

Vinosti asennettu laakeri aiheuttaa akselin suuntaista värähtelyä pyörimistäajuuudella. Kiertyvä liike aiheuttaa värähtelyyn 180 asteen vaihe-eron vastakkais-ten sivujen välille (kuva 13). (9, s. 17.)

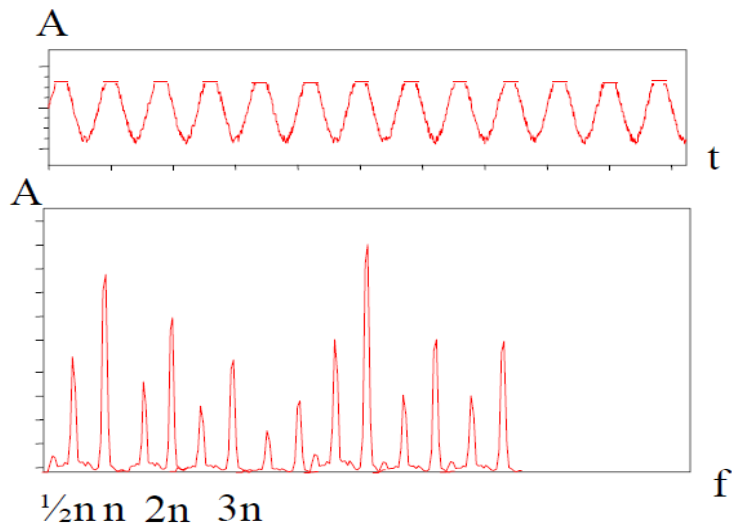


KUVA 13. Vinosti asennettu vierintälaakeri (9, s. 17)

#### 4.7 Roottorin hankaaminen

Linjausvirhe tai koneen väärä kokoonpano aiheuttaa roottorin hankausta toista koneen komponenttia vasten. Hankaus voi olla osittaista tai jatkuvaa, ja se aiheuttaa yhden tai useamman ominaistaajuuden (kuva 14). Usein esiintyy pyö-

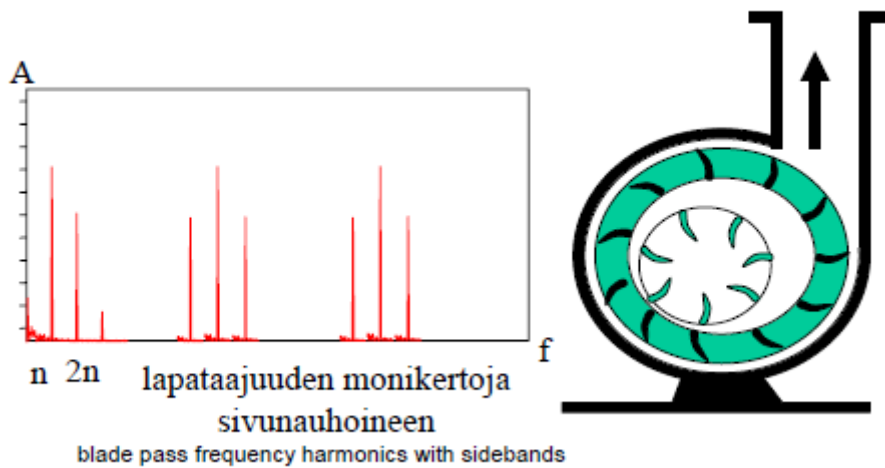
rimistaajuuden aliharmonisia komponentteja, mutta hankaus saattaa aiheuttaa myös korkeataajuisia, laajakaistaista värähtelyä. (9, s. 19.)



KUVA 14. Roottorin hankaaminen (9, s. 19)

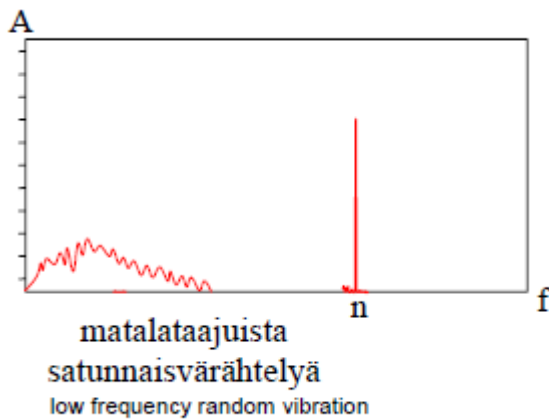
#### 4.8 Lapataajuus ja kavitaatio

Värähtelyn esiintyminen lapataajuudella pumpuissa, puhaltimissa ja kompresso-reissa ei välttämättä merkitse vikaa. Värähtelyn voimistuminen lapataajuudella saattaa johtua sen ja rungon ominaistaajuuden läheisyydestä, kammion raken-nevaurioista, roottorin epäkeskeisyydestä tai virtausta haittaavista tekijöistä put-kistoissa. Hydrauliset ja aerodynaamiset häiriöt aiheuttavat putkien ja laitteiden kulumista. Oireitta seuraamalla saadaan käsitys vian kehityksestä (kuva 15). (9, s. 21.)



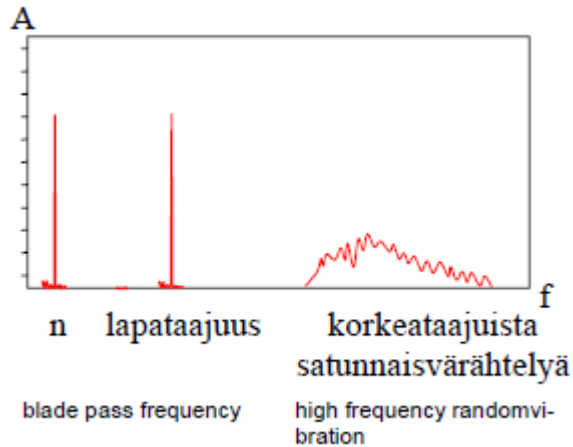
KUVA 15. Hydrauliset ja aerodynaamiset häiriöt (9, s. 21)

Turbulenssi eli virtaan nesteen tai kaasun pyörteily johtuu väliaineessa tapahtuvista nopeuden tai paineen vaihteluista. Turbulenttinen virtaus aiheuttaa matalataajuisia värähtelyä, tyypillisesti alle 50 Hz:n taajuudella (kuva 16). (2, s. 320; 9, s. 21.)



KUVA 16. Turbulenttinen virtaus (9, s. 21)

Kavitaatio aiheuttaa normaalisti korkeataajuisia, laajakaistaista satunnaisvärähtelyä, joka esiintyy usein lapataajuudella ja sen monikerroilla (kuva 17). Kavitaatio johtuu yleensä liian pienestä imupaineesta. Kavitaatio kuluttaa voimakkaasti pumppua ja putkistoa. (9, s. 22.)



KUVA 17. Kavitaatio (9, s. 22)

#### 4.9 Hihnakäytöt

Kuluneet, löysät tai sopimattomat hihnat aiheuttavat värähtelyä hihnataajuudella ja sen monikerroilla (kuva 18). Värähtely on usein vallitsevaa toisella monikerroilla. Hihnapyörän linjausvirhe aiheuttaa värähtelyä pääasiallisesti akselin suunnassa sekä käyttävän että käytettävän hihnapyörän pyörimistaajuuksilla. (9, s. 26.)

Hihnataajuus voidaan laskea kaavalla 8. (2, s. 325).

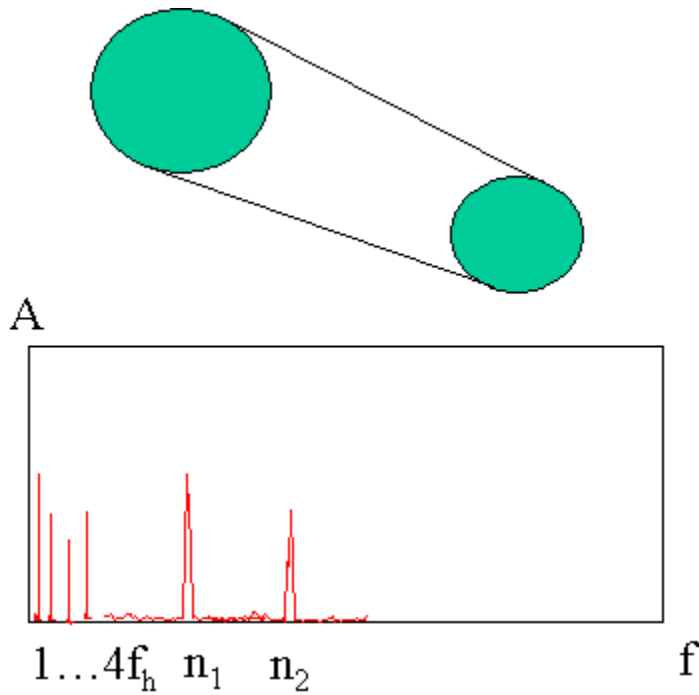
$$f_h = \frac{f_{hp} d_k \pi}{l_h}$$

KAAVA8

$f_{hp}$  = hihnapyörän pyörimistaajuus

$d_{hp}$  = hihnapyörän jakohalkaisija

$l_h$  = hinnan pituus

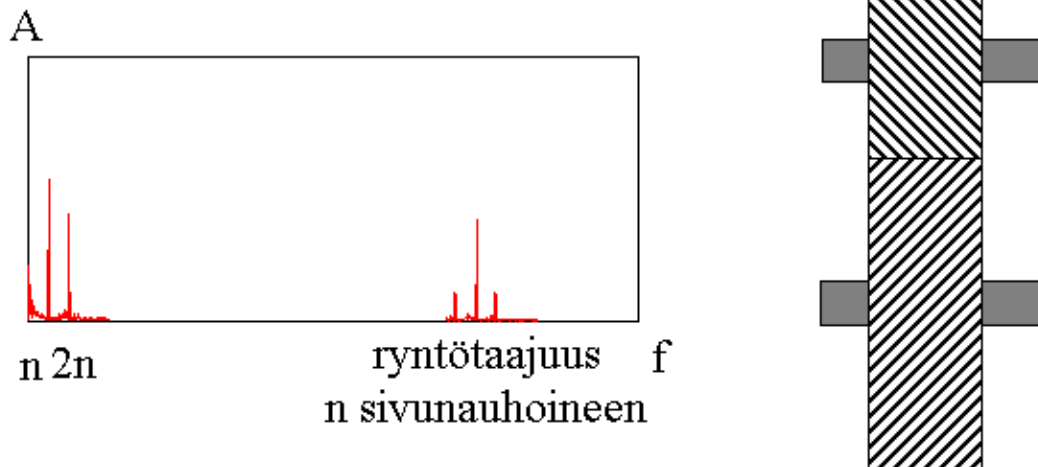


KUVA 18. Kuluneet, löysät tai sopimattomat hihnat (9, s. 26)

#### 4.10 Vaihteisto

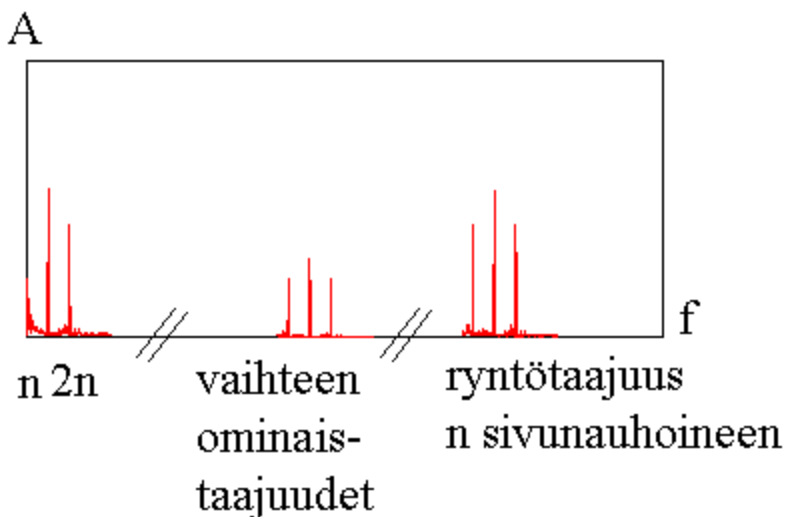
Vaihteissa on suuri määrä värähtelyä aiheuttavia tekijöitä, mikä tekee diagnostiikasta varsin vaikeaa. Onkin tärkeää tuntea suuri määrä laitetietoja luotettavan vianmäärityksen aikaansaamiseksi. Hammaspyörävälityksen vikaantumiseen liittyy olennaisesti kuormitustekijät. Ryntötaajuuden värähtelyn amplitudin voimistuminen ei välttämättä tarkoita vian kehittymistä, vaan amplitudi on verrannollinen kuormituksesta. (2, s. 321.)

Normaalissa spektrissä näkyvät akselien pyörimistaajuudet sekä ryntötaajuudet ja mahdollisesti niiden monikerrat. Värähtelyn voimakkuus ryntötaajuudella riippuu kuormituksesta, joten se ei ole merkinä viasta, varsinkin jos sivunauhojen voimakkuudet ovat pienet (kuva 19). (9, s. 22.)



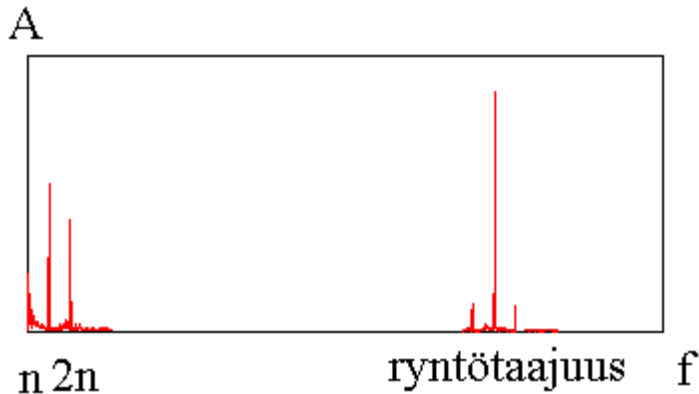
KUVA 19. Normaalikuntoisen hammasvaihteen spektri (9, s. 22)

Hampaiden kuluessa värähtelyn voimakkuus ryntötaajuudella saattaa pysyä muuttumattomana. Kun ryntötaajuuden ympäristöön ilmestyvät voimakkaat sivunauhat kuluneen hammaspyörän pyörimistaajuuden välein, kuluminen on vakavaa (kuva 20). Tällöin rakenteen paikalliset ominaistaajuudet voivat herätä. Aikakeskiarvostettua signaalia voidaan käyttää kulumisasteen arviointiin. (9, s. 23.)



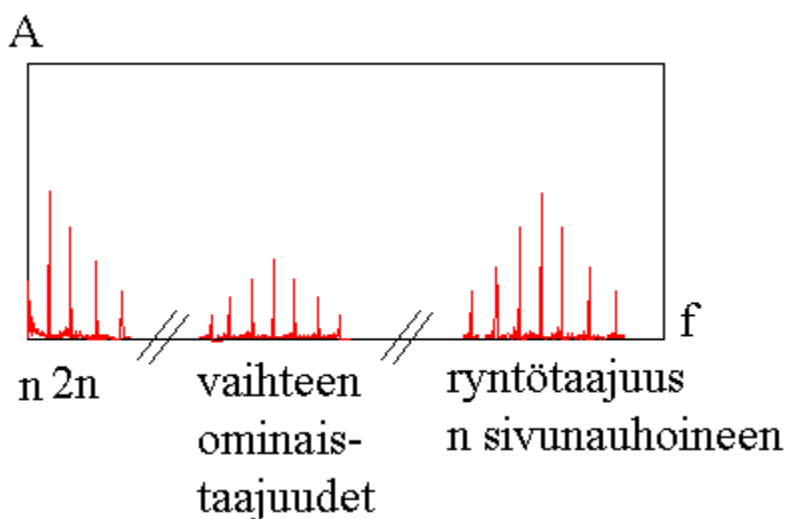
KUVA 20. Hampaiden kuluminen (9, s. 23)

Vaikka voimakas amplitudi ryntötaajuudella ei välttämättä merkitse vikaa, näkyy vaihteen ylikuormitus spektrissä amplitudin nousuna ryntötaajuudella (kuva 21). (9, s. 23.)



KUVA 21. Vaihteen ylikuormitus (9, s. 23)

Voimakkaat ryntötaajuuden sivunauhat ilmaisevat hammaspyörien epäkeskeisyyttä, virheellistä hammasvälystä tai akselien yhdensuuntausvirhettä. Viallinen hammaspyörä moduloi ryntötaajuista amplitudia, jolloin syntyy voimakkaita sivunauhoja. Virheellinen hammasvälys aiheuttaa värähtelyä rakenteen ominaistaajuuksilla, joiden molemmille puolille syntyy sivunauhoja. Epäkeskeisyys näkyy voimakkaana värähtelynä pyörimistaajuudella (kuva 22). (9, s. 24.)

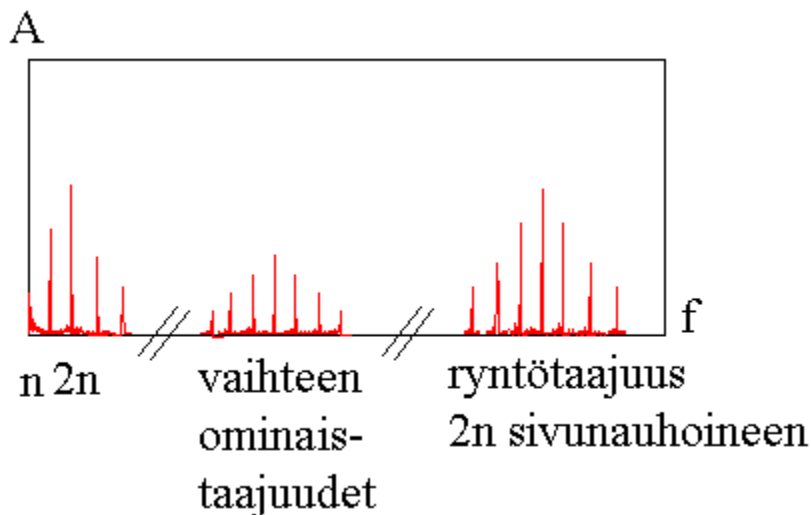


KUVA 22. Epäkeskeisyys, virheellinen hammasvälys ja akselien yhdensuuntaisuusvirhe vaihteistossa (9, s. 24)



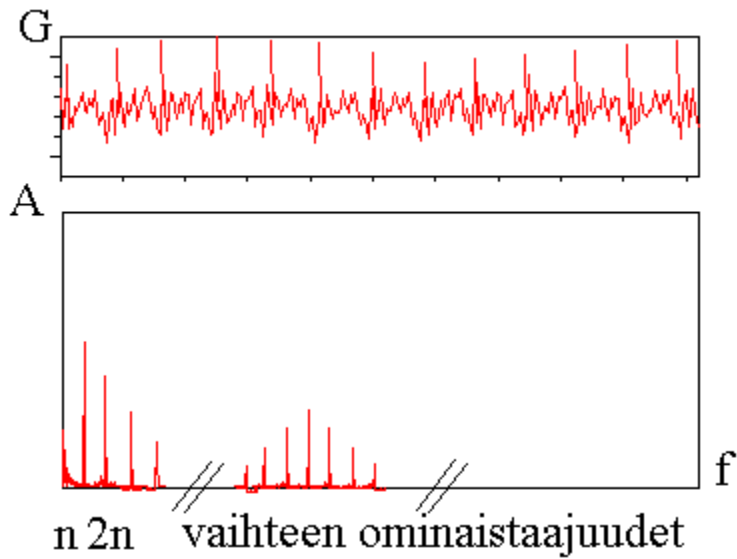
Hammaspyörän linjausvirhe aiheutuu siitä, että hammaspyörä ei ole koh-tisuorassa akseliin nähden esimerkiksi vinosti poratun akselireiän tai hammaspyörän väärän kiilauksen takia. Hammaspyörän linjausvirhe herättää lähes aina värähtelyä ryntötaajuuden monikerroilla, joiden molemmin puolin muodostuu sivunauhoja. (9, s. 24.)

Usein amplitudi pyörimistaajuuden toisella monikerralla on voimakkaampi kuin ensimmäisellä monikerralla. Sivunauhat ovat  $2n$  etäisyyksillä ryntötaajuuden ja sen monikertojen molemmin puolin (kuva 23). Sivunauhat ryntötaajuuden ja sen monikertojen eri puolin eivät ole yhtä voimakkaita. Linjausvirhe aiheuttaa hammaspyörän epätasaista kulumista. (9, s. 24.)



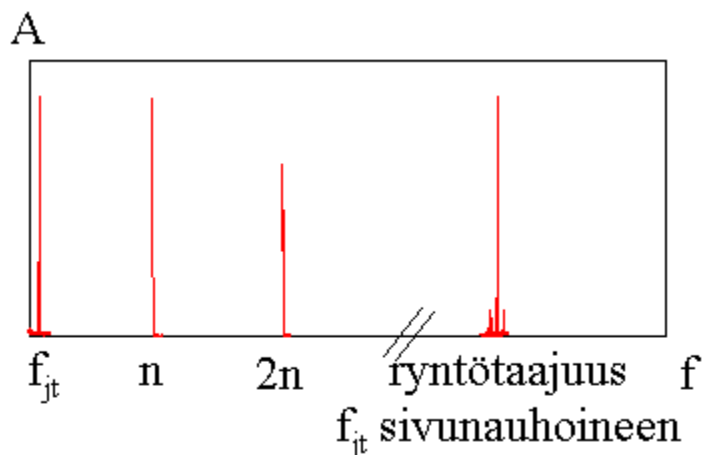
KUVA 23. Hammaspyörän linjausvirhe (9, s. 24)

Viallinen hammas havaitaan selvimmin aikatasosignaalista. Ollessaan rynnössä viallinen hammas aiheuttaa huippukohdan signaaliin. Tahdistamalla mittausta hammaspyörän pyörimisen mukaan tai käyttämällä mittausten keskiarvoa saadaan ilmiö selvemmin näkyviin. Spektrissä ilmenee värähtelyä pyörimistaajuudella ja sen monikerroilla, jotka voimistuvat vaihteen ominaistaajuuksien lähellä (kuva 24). (2, s. 324.)



KUVA 24. Viallinen hammas (9, s, 25)

Viallinen hammaspyöräpari syntyy kuljetuksessa, valmistuksessa, varastoinnissa tai asennuksessa tapahtuneista käsittelyvirheistä tai jos hampaiden lukumäärä on kokonaislukukerrannainen. Viallinen hammaspari näkyy taajuudella, joka voidaan laskea kaavalla 9. Syntynyt värähtely saattaa olla voimakasta, mutta koska se esiintyy matalilla taajuuksilla, se jää usein havaitsematta (kuva 25). (9, s. 25.)



KUVA 25. Viallinen hammaspari (9, s. 25)

Hammasparin vikataajuus voidaan laskea kaavalla (2, s. 313).

$$f_{jt} = \frac{f_{rt} N_a}{Z_1 Z_2}$$

KAAVA 9

$f_{jt}$  = samojen hampaiden kohtaamistaajuus

$f_{rt}$  = ryntötaajuus

$N_a$  = hammaslukujen  $Z_1$  ja  $Z_2$  suurin yhteinen tekijä

$Z_1$  = ensimmäisen hammaspyörän hammasluku

$Z_2$  = toisen hammaspyörän hammasluku

## 5 TOTEUTUS

Työ aloitettiin kartoittamalla Ylivieskan yksikön toiminnan kannalta kriittiset laitteet. Tarkoituksena oli, että mittausten piiriin tulisivat sellaiset laitteet, jotka viikaantuessaan aiheuttavat prosessin, lastausten tai vastaanoton pysähtymisen. Lisäksi kaikki taloudellisesti merkittävät laitteet päätettiin ottaa mukaan mittauskiertoon. SPM Instrument Oy:n Condmaster-värähtelymittausohjelmisto oli luonnollinen valinta kunnonvalvontajärjestelmäksi Raision yksikössä saatujen käyttökokemusten perusteella.

Ylivieskan yksikössä osa linjastoista on kahdennettu, eli rikkoutuminen aiheuttaa vain tuotantokapasiteetin heikentymisen. Vastaanotto ja lastaus ovat tehtaan kuormitetuimmat linjat. Valmistuksessa on myös kaksi toisistaan riippumattonta linjaa, lukuun ottamatta sekoitusta, jossa valmistetaan seokset molemmille raekoneille.

### 5.1 Vastaanotto

Vastaanottolinjoja on kolme: vastaanottoallas kippausautoilla tai traktoreilla saapuvalle raaka-aineille, nestevastaanotto nesteille ja puhallusvastaanotto puhallusautoilla saapuville raaka-aineille. Vastaanottoallas on erityisen merkittävä, sillä sen kautta saapuu 90 % tehtaan käyttämistä raaka-aineista. Vastaanotto toimii käytännössä kellon ympäri, joten se on yksi tärkeimmistä linjoista. Vastaanottolinjasto on kahdennettu vastaanottoaltaan jälkeen, joten vastaanottoelevaattoreiden rikkoontuessa voidaan siirtolinjaston elevaattoreilla vastaanottaa raaka-aineita.

Värähtelymittausten piiriin päätettiin ottaa vastaanottoaltaan kuljettimet, vastaanoton sekä siirtolinjan molemmat elevaattorit sekä puhaltimet. Vaakojen jälkeen raaka-aineet siirtyvät siloihin pienemmillä ketjukolakuljettimilla, jotka ovat nopeasti korjattavissa tai vaihdettavissa, joten ei nähty tarvetta ottaa niitä mittausten piiriin. Puhallinvastaanottolinjastossa ja nestevastaanotossa ei ole suuria sähkömoottoreita, joten ne jäivät mittausten ulkopuolelle.

## 5.2 Sekoitus

Sekoituksessa raaka-aineet annostellaan neljän vaa'an kautta pääsekoittajaan, jossa lisätään nestemäiset raaka-aineet. Linjastoon kuuluu useita pienempiä ruuvikuljettimia, jotka annostelevat raaka-aineet siiloista vaa'oilta. Vaakojen jälkeen elevaattori nostaa annostellut raaka-aineet pääsekoittajan yläsäiliöön, mistä seos tippuu sekoittajaan. Sekoituksen jälkeen elevaattori nostaa valmiin seoksen rakeistussiilon odottamaan rakeistusta.

Sekoituslinjasto on erityisen arka rikkoontumisille, koska mitään linjastosta ei ole kahdennettu. Sekoittajan läpi kulkee päivässä lähes 600 tonnia raaka-aineita, mikä tekee siitä tärkeimmän yksittäisen linjan prosessin kannalta. Pääsekoittajan moottori, vaihdelaatikko ja akselin laakerit tulivat mittausten piiriin. Lisäksi päätettiin ottaa elevaattorit sekä viisi vaakojen alapuolista ketjukolajuttinta valvontaan. Sekoituksesta mittausten ulkopuolelle jäivät siis ruuvikuljettimet, jotka alle kilowatin moottoreilla ovat nopeasti korjattavissa eivätkä rikkoontuessaan aiheuta prosessin pysähtymistä.

## 5.3 Rakeistus

Rakeistus linjoja on kaksi, ja niihin molempiin kuuluu raekone, jäähdytin, valmentin sekä useita elevaattoreita, kuljettimia ja vaakoja. Valmis seos annostellaan vaa'an kautta sekoittimiin missä lisätään nestemäinen melassi, kasviöljy sekä höyry. Tämän jälkeen ruuvisyöttimet siirtävät seoksen valmentimeen, jossa seos sekoittuu pyörivien lapojen ansiosta tasalaatuisiksi. Valmentimesta ruuvikuljettimet annostelevat seosta raekoneelle, jossa seos saa raemaisen muotonsa. Valmis rae jäähdytetään välittömästi rakeistuksen jälkeen ilmavirralla suuressa jäähdyttäjässä. Tästä valmis rehu nostetaan elevaattoreilla tuotesiiloihin odottamaan lastausta.

Näissä kahdessa linjastossa on useita varsin suuria sähkömoottoreita ja vaihdelaatikoita. Oli siis selvää valita nämä mittausten piiriin jo taloudellisen menetyksen kannalta. Itse kuljettimet ja elevaattorit ovat pieniä, joten ne jäivät mittausten ulkopuolelle. Molemmista linjoista valittiin mitattaviksi: jäähdyttäjän puhallin laakereineen, valmentimen moottori ja vaihdelaatikko, melassisekoittimen moottori laakereineen, höyrysekoittimen moottori laakereineen ja raekoneen moottori

ja vaihdelaatikko. Vaikka mitattavia laitteita ei määrällisesti ole paljoa tuli mittauspisteitä 40 molempiin linjoihin moottoreiden ja vaihdelaatikkojen suuren koon vuoksi.

#### **5.4 Lastaus**

Lastauslinjastossa valmis rehuseos annostellaan tuotesiiloista ketjukolakuljettimien ja elevaattoreiden välityksellä rekka-autoon. Linjaa ei missään vaiheessa ole kahdennettu, vaikka sen läpi kulkee kaikki tehtaan valmistamat tuotteet.

Tämän linjaston rikkoontuessa ei tehtaalta lähde valmista tuotetta lainkaan, eikä valmistusta pystytä jatkamaan siilojen täytyttyä. Onkin siis tärkeää, että tämä linja otetaan kokonaisuudessaan valvontaa, ettei yllätyksiä pääse tapahtumaan.

Linjastossa on yhteensä neljä ketjukolakuljetinta ja yksi elevaattori, joten linjasto on varsin yksinkertainen. Pienin ketjukolakuljetin, joka sijaitsee lastaushallin katossa, jätettiin mittausten ulkopuolelle pienen kokonsa ja luoksepääsemättömyytensä vuoksi.

#### **5.5 Mittauspisteiden tiedot**

Condmaster Nova -ohjelmistoa varten tarvittiin riittävästi tietoa mitattavasta pisteestä, esimerkiksi pyörimisnopeus, akselin halkaisija, hammasluku ja laakerin tyyppi. Laitteiden valmistajat toimittivat koneiden tiedot, joista koottiin tarvittavat tiedot position mukaan Excel-taulukkoon. (Liite 2.) Mittausnippojen asennusta varten haastateltiin kunnonvalvontajärjestelmien asiantuntijaa Juha Kauttoa sekä Raision yksikön kunnossapitoinsinööriä Hannu Tähtistä. Heiltä saatiin tietoa tarvittavasta mittausnippojen määrästä ja parhaasta sijoitustavasta kohteisiin.

Mittauspisteitä tuli laitetta kohden keskimäärin kuusi kappaletta. Järjestelmän piiriin tuli noin 40 laitetta, joissa on 250 mittauspistettä. Laitteet jakautuvat kahdelle mittausreitille, kunkin reitin mittaaminen kestää mittaajasta riippuen noin tunnin. Mittausväliksi valittiin kolme viikkoa, jolloin alkava laakerivika voidaan havaita ennen rikkoutumista.

## 6 TULOKSET

Ensimmäisten mittausten perusteella saatiin hyviä kokemuksia koneiden tilasta. Moottoreista löytyi paljon linjausvirheitä, jotka aiheuttivat voimakasta tärinää pyörimisnopeuden taajuudella. Tämän vuoksi hankittiin erillinen linjauslaite, jotta laitteiden värähtelytaso saadaan siedetylle tasolle. Järjestelmän hyöty tulee esille vasta vuosien käytön jälkeen, jolloin mittaustietoa eri mittauspisteistä on kertynyt tarpeeksi. Tämä tieto auttaa vianhaussa, ja työntekijöiden on helpompi tehdä päätöksiä tarvittavasta kunnossapidosta.

Pienellä investoinnilla pystyttiin parantamaan tehtaan käyttövarmuutta. Kokeusten perusteella juuri kriittisten laitteiden kunnonvalvonta on osoittautunut hyväksi ratkaisuksi. Tuotannon lisäys on kuormittanut tehdasta, ja tarkoituksena on laajentaa järjestelmää tulevaisuudessa. Ennakoivan kunnossapidon merkitystä ei silti pidä unohtaa.

Järjestelmän käyttöönotto tuo myös välittömiä parannuksia kunnossapitoon, kun työntekijät kiinnittävät mittauskierroksella huomiota myös mittauksen ulkopuolisiin laitteisiin. Näin pystytään havaitsemaan vialliset laitteet ennen rikkoutumista ja tehtaalle tyypilliset putkistovuodot voidaan ehkäistä ajoissa.

## 7 YHTEENVETO

Tämä työ tehtiin naudanrehuja valmistavalle Raisioagro Oy:n Ylivieskan rehu-  
tehtaalle. Työssä suunniteltiin ja toteutettiin kunnonvalvontajärjestelmän käyt-  
töönnotto palvelemaan tehtaan kunnossapidossa ja tuotannossa.

Työ aloitettiin kartoittamalla mahdolliset mitattavat laitteet ja koneet. Valintakri-  
teereinä olivat kriittisyys prosessin toiminnan kannalta sekä taloudellinen mene-  
tyksen rikkoutuessa äkillisesti. Mittauksen piiriin tuli noin 40 laitetta, joissa  
on noin 250 mittauspistettä. Mittaukset suoritetaan kolmen viikon välein.

Tarvittavat laakeritiedot saatiin laitteiden valmistajilta muutamaa poikkeusta lu-  
kuun ottamatta. Pyörimisnopeudet pystyttiin laskemaan tai mittaamaan. Mittaus-  
pisteiden valinnassa haastateltiin kunnossapidon ammattilaisia, kuten Raisioa-  
gro Oy:n Raision yksikön kunnossapitoinsinööriä Hannu Tähtistä. Heiltä saatiin  
tarvittavaa käytännön tietoa järjestelmän käytöstä ja toiminnasta.

Ensimmäisten mittauskierrosten jälkeen saatiin paljon tietoa tehtaan kunnosta.  
Laitteissa esiintyi paljon linjausvirhettä, mikä aiheuttaa tärinää pyörimisnopeu-  
den taajuudella. Järjestelmän todellinen hyöty tulee esille vuosien käytön jäl-  
keen, jolloin ohjelmaan on kertynyt riittävästi mittausdataa tukemaan työntekijöi-  
tä vianhaussa.



## LÄHTEET

1. Raisioagro Oy. 2012. Saatavissa <http://www.raisioagro.com/>. Hakupäivä 12.5.2012
2. Mikkonen, Henry – Miettinen, Juha – Leinonen, Pertti – Jantunen, Erkki – Kokko, Voitto – Riutta, Erkki – Sulo, Petri – Komonen, Kari – Lumme, Veli Erkki – Kautto, Juha – Heinonen, Kari – Lakka, Sami – Mäkeläinen, Risto. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. 1 painos. Helsinki. KP-Media Oy.
3. PSK 5704. 2011. Kunnonvalvonnan tärinärasitusrajat. 6.painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
4. Nohynek, Petri – Lumme, Veli Erkki. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset.2. täydennetty painos. Rajamäki. KP-Media Oy.
5. SPM Instruments Oy. 2012. Saatavissa <http://www.spmstruments.fi>. Hakupäivä 14.2.2012
6. PSK 6201. 2003. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
7. SFS-EN 13306. 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 2.painos. Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry.
8. ABB. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita –käsikirja. Luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto.
9. PSK 5707. 2011. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Vianmääritys. 5.painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Aatos Similä

Tilaaja Raisioagro Oy

Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot

Pasi Eskola

0400-259934, pasi.eskola@raisio.com

Työn nimi Ennakoivan kunnossapidon kehittäminen

Työn kuvaus Laakereiden kunnonvalvonta iskusysäysmenetelmää hyödyntäen. Työssä kartoitetaan tehtaan käynnin kannalta tärkeysluokan A koneet ja laitteet. Nämä laitteet otetaan mittausohjelmaan.

Työn tavoitteet

Saada tärkeysluokan A koneet ja laitteet ennakoivaan seurantaan ja saada mittaustietoa, jonka pohjalta tarvittavat huollot ja alkavat laakeriviivat saadaan ennakoidusti korjattua.

Tavoiteaikataulu

Käytännön toimenpiteet 2012

- Mitattavat koneet ja laitteet
- Lisäkäyttälisenssi
- Paikallinen koulutus (Tähtinen Hannu)
- Mittapisteiden selvitys, merkintä ja asennus
- Mittapisteiden teknisten tietojen selvitys (mm. laakeritiedot, pyörimisnopeus)
- Mittausreitti/ ohjelma
- Työ täysin valmis huhtikuu 2012

Päiväys ja allekirjoitukset

26.10.2011

Aatos Similä

Pasi Eskola

Positio	Nimi	Fyysinen Mittausp	Ohjelman mittauspiste	Kerros
3544	Suodattimen puhalin 2.linja	Sähkömoottorin N-pää		8
3544	Suodattimen puhalin 2.linja	Sähkömoottorin D-pää		8
3544	Suodattimen puhalin 2.linja		Värähtely Horiz.	8
3544	Suodattimen puhalin 2.linja	Puhaltimen D-pää		8
3544	Suodattimen puhalin 2.linja	Puhaltimen N-pää		8
3544	Suodattimen puhalin 2.linja		Värähtely Horiz.	8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot	Sähkömoottorin N-pää		8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot	Sähkömoottorin D-pää		8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot		Värähtely Horiz.	8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot	Vaihdelaatikko 1	2-akselin laakeri	8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot		3-akselin laakeri	8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot	Vaihdelaatikko 2	2-akselin laakeri 2	8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot		3-akselin laakeri 2	8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot	Vaihdelaatikko 3	Ulosakselin laakeri	8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot	Vaihdelaatikko 4	Ulosakselin laakeri 2	8
1062	Ketjukulakuljetin A-siilot		Värähtely Horiz.	8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot	Sähkömoottorin N-pää		8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot	Sähkömoottorin D-pää		8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot		Värähtely Horiz.	8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot	Vaihdelaatikko 1	2-akselin laakeri	8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot		3-akselin laakeri	8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot	Vaihdelaatikko 2	2-akselin laakeri 2	8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot		3-akselin laakeri 2	8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot	Vaihdelaatikko 3	Ulosakselin laakeri	8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot	Vaihdelaatikko 4	Ulosakselin laakeri 2	8
1142	Ketjukulakuljetin A-siilot		Värähtely Horiz.	8



