



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

YARA SUOMEN TUOTANNON RUMPUJEN KUNNONVALVONTA

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Markku Turunen			
Työn nimi Yara Suomen tuotannon rumpujen kunnonvalvonta			
Päiväys	5.12.2018	Sivumäärä/Liitteet	51
Ohjaaja(t) Lehtori Pertti Varis, Lehtori Mika Mäkinen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Yara Suomi Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Yara Suomen tuotantolaitoksille ja pääsääntöisesti Siilinjärven toimipaikalle. Opinnäytetyössä keskityttiin tuotantorumpujen kantopyörien ja niiden laakereiden vikaantumisten oikea-aikaiseen havaitsemiseen, jolloin vikaantumisten korjaaminen voidaan suorittaa suunnitellusti (seisokkisuunnittelu).</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa esitellään erilaisia tuotannon rumpuja, kunnonvalvontamenetelmiä sekä mittaus- tekniikoita ja -tapoja.</p> <p>Työssä käytettävät kunnonvalvontamenetelmät perustuvat kiinteään kunnonvalvontajärjestelmään, josta voidaan käyttää termiä online-mittaus. Koska kyseessä ovat hitaasti pyörivät tuotannon rummut, kantopyörien pyörimisnopeudet vaihtelevat noin 2–60 rpm:n välillä, ja hitaan pyörimisnopeuden takia mittausajat ovat pitkiä. Ainoa hyväksi havaittu keino on kiinteä kunnonvalvontajärjestelmä, ja sillä havaitaan oikea-aikaisesti alkavat vikaantumiset kantopyörissä ja laakereissa.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena esitellään kyseisellä kunnonvalvontamenetelmällä saavutetut tulokset.</p>			
Avainsanat kunnonvalvonta, mittausmekaniikat, ennakkohuolto, tuotannon rummut, laakerivauriot			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Pertti Varis			
Title of Thesis Yara Finland productions drums condition monitoring			
Date	5.12.2018	Pages/Appendices	51
Supervisor(s) Lecturer Pertti Varis , Lecturer Mika Mäkinen			
Client Organisation /Partners Yara Finland Oy			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was written for the production plants of Yara Suomi and mainly for Siilinjärvi plant. In this thesis the focus was on the failure of the carrying wheels of the production drums, the bearings and the timely observation. Then failures can be carried out as planned (shutdown planning).</p> <p>The theory part of the thesis handles different production drums, methods of condition monitoring, measuring techniques and measuring methods.</p> <p>The condition monitoring methods in the work are based on a fixed condition monitoring system, which can be classified as online metering. Because it is slowly revolving production drums, the revolving speeds of the carrying wheels are between 2 and 60 RPM. Because of the slow revolving speed the measuring times are long, fixed condition monitoring system is the only proven and tested method for monitoring. With fixed condition monitoring it is possible to detect the beginning failures in the carrying wheels and the bearings in a timely manner.</p> <p>As the conclusion in this thesis is the representation of the results utilizing the condition monitoring method in question.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Condition monitoring, measurement techniques, preventive maintenance, production drums, bearing damages</p>			

ESIPUHE

Ensimmäiseksi haluaisin kiittää kaikkia, jotka ovat tukeneet opiskeluani ja opinnäytetyöprosessia. Lisäksi haluan kiittää vaimoani ja lapsiani kaikesta tuesta ja ymmärryksestä reilun neljän vuoden opiskelujen aikana ja muutenkin.

Opiskelu ja oppiminen vanhemmalla iällä asettaa tietyt haasteet ajan käyttöön, mutta elämänkokemus ja näkemys asioista auttavat jatkamaan kohti päämäärää.

Siilinjärvi 5.12.2018

Markku Turunen

SISÄLTÖ

1	TAUSTATIEDOT	7
1.1	Yara International ASA.....	7
1.2	Yara Suomi.....	7
1.2.1	Siilinjärvi.....	7
1.2.2	Uusikaupunki.....	7
1.2.3	Kokkola	7
1.2.4	Kotkaniemi.....	7
2	JOHDANTO	9
2.1	Työn tausta	9
2.2	Työn tavoite	9
2.3	Työn rakenne	9
3	TUOTANNON RUMMUT	10
3.1	Rakeistusrummut	10
3.2	Jäähdytysrummut.....	10
3.3	Pinnoitusrummut.....	11
3.4	Neutralointirummut	12
4	KUNNOSSAPITO	13
4.1	Kunnossapidon tavoitteet.....	13
4.2	Kunnossapitolajit.....	13
5	KUNNONVALVONTA.....	15
5.1	Kunnonvalvonta yleisesti	15
5.2	Mittaava kunnonvalvonta Yara Suomi	15
5.2.1	Periodinen reittimittaus.....	16
5.2.2	Online-mittaus, kiertävä.....	16
5.2.3	Jatkuvatoiminen suojausjärjestelmä	16
6	VÄRÄHTELYMITTAUS.....	17
6.1	Värähtelykäsitteitä ja -määritelmiä	17
6.1.1	Valvottavat suureet.....	17
6.1.2	Nopeus.....	17
6.1.3	Kiihtyvyys	17
6.1.4	Siirtymä	17

6.1.5	Envelope-suodatus.....	18
6.2	Anturityypit	18
6.2.1	Siirtymäanturi.....	18
6.2.2	Nopeusanturi.....	19
6.2.3	Kiihtyvyyssanturi	19
6.2.4	Iskuanturi	20
6.2.5	Duotech-anturi	20
6.3	Erilaiset mittaustavat ja -tekniikat	20
6.3.1	HD ENV	20
6.3.2	Iskusysäys	22
6.3.3	Spm HD.....	24
7	VIKOJEN DIAGNOSOINTI	28
7.1	Trendi.....	28
7.2	Aikataso.....	28
7.3	Spektri.....	29
7.4	Yleisimmät vikaoireet.....	29
8	TULOKSET	30
8.1	Tapaus 1: Kantopyörän laakerin (24164B Fag) ulkokehäoire Online 16 rpm	30
8.2	Tapaus 2: Kantopyörän vierintäelinvaurio BSF (23144 Skf rpm 10 Online BSF = elementin pyörintätaajuus).....	32
8.3	Tapaus 3: Kantopyörän laakerin 23144 Skf ulkokehävaurio (BPFO)	34
8.4	Tapaus 4: Kantopyörän pinnan rikkoutuminen rpm 26 OnLine	36
8.5	Tapaus 5: Kantopyörän laakerivaurion seuranta 23024C Skf 2 kpl rpm 20.....	39
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	43
10	KUNNONVALVONNAN ASENNUSVALOKUVAT.....	44
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	50

1 TAUSTATIEDOT

1.1 Yara International ASA

Yara perustettiin vuonna 1905 nimellä Norsk Hydro helpottamaan Euroopan nälänhätää. Yara on maailmanlaajuinen yhtiö ja työllistää yli 16 000 henkilöä. Yara tuottaa viljelijöille, jakelijoille ja teollisuusasiakkaille muun muassa kivennäislannoitteita, teollisuuskemikaaleja ja ympäristönsuojelutuotteita. Yaran pääkonttori sijaitsee Oslossa, ja toimipaikkoja Yaralla on yli 60 maassa. Yara myy tuotteitaan yli 160 maahan, ja vuosittainen lannoitteiden myynti on noin 27,2 miljoonaa tonnia. Teollisuustuotteiden myynti 6,9 miljoonaa tonnia. Yaran liikevaihto on noin 10 miljardia euroa. (Yara 2018.)

1.2 Yara Suomi

Yara Suomi on Yara Internationalin tytäryhtiö, jonka päätuotteita ovat teollisuuskemikaalit, lannoitteet ja ympäristönsuojelutuotteet. Suomessa on toiminnassa kolme tuotantolaitosta, Siilinjärvi, Kokkola ja Uusikaupunki, ja lisäksi Siilinjärvellä sijaitsee ainoa fosfaattikaivos, joka on Suomen suurin avolouhos. Vihdissä sijaitsee tutkimuslaitos. Suomen Yaran työntekijöiden lukumäärä noin 900 henkilöä ja työllisyysvaikutus noin 4000 henkeä. Lisäksi kesätöihin harjoittelijoiksi palkataan noin 100 henkilöä vuosittain. (Yara 2018.)

1.2.1 Siilinjärvi

Siilinjärven tehdas sijaitsee Pohjois-Savossa, jossa päätuotteita ovat fosforihappo ja lannoitteet. Alueella on Länsi-Euroopan ainoa fosfaattikaivos, jota hyödynnetään fosforihapon valmistuksessa. Avolouhoksesta saatava apatiitti kuuluu maailman puhtaimpiin. (Yara 2018.)

1.2.2 Uusikaupunki

Yaran Uudenkaupungin toimipaikka sijaitsee Vakka-Suomessa. Toimipaikan päätuotteita ovat typpi-happo ja lannoitteet. Hyvä laitoksen sijainti mahdollistaa lannoitteiden merikuljetukset kauko- ja lähimarkkinoille. (Yara 2018.)

1.2.3 Kokkola

Yaran Kokkolan toimipaikka sijaitsee Kokkolan Suurteollisuusalueella. Päätuotteita ovat kaliumsulfaatti ja rehufosfaatti. Tehdasalueella myös varastoidaan fosforihappoa ja ammoniakkia. Kaliumsulfaattia käytetään suoraan lannoitteena ja sen valmistuksessa. Rehufosfaattia käytetään eläinrehun parantamiseen ja sillä parannetaan maidon ja lihan laatua. (Yara 2018.)

1.2.4 Kotkaniemi

Vihdissä sijaitsee Yara Suomen Kotkaniemen tutkimusasema. Tutkimuslaitoksella tehdään kehitystyötä ja tutkitaan lannoitteita ja niiden vaikutuksia peltoihin sekä kehitetään lannoitevalikoimaa ja lannoitusmenetelmiä täyttämään nykyiset ja tulevaisuuden tarpeet. Tutkimusasema on ollut käytössä vuodesta 1961 lähtien. (Yara 2018.)

2 JOHDANTO

2.1 Työn tausta

Opinnäytetyön tavoitteena on tuoda esille Yaran Suomessa käytössä olevien tuotantorumpujen kunnonvalvonta. Työ keskittyy kantopyörien kunnonvalvontamittauksiin kiinteällä järjestelmällä (OnLine SPM), koska kyseessä on hidas pyörintä (alle 1 Hz = 60 rpm) ja pyörintätaajuus asettaa haasteita kunnonvalvontamittaukselle ja -järjestelmälle. Työssä esittelen erilaisia kantopyörävaurioita, joita on havaittu oikea-aikaisella analysoinnilla, mittausparametreilla ja online-järjestelmillä.

2.2 Työn tavoite

Tavoitteena on kerätä kantopyörien kunnonvalvonnasta erilaisia vikaantumistapauksia olemassa olevilla mittausjärjestelmillä (ks. kuva 1). Saatuja tuloksia on tarkoitus hyödyntää Yaran toimipaikoilla.



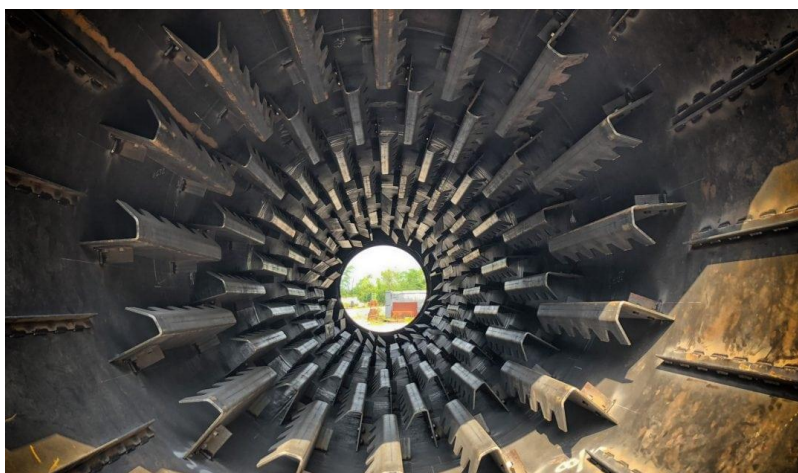
KUVA 1. Kantopyörä (Turunen 2018-11.)

2.3 Työn rakenne

Työ koostuu Yara Suomen tuotantorummuilla tehdyistä kantopyörien kunnonvalvonnasta saaduista tuloksista, jotka esitellään tämän opinnäytetyön lopussa.

3 TUOTANNON RUMMUT

Periaatteeltaan yksinkertaisin lannoiteteollisuuden käyttämä rakeistuslaite on rakeistusrumpu (kuva 2). Rakeistusrumpu koostuu hieman kaltevassa kulmassa pyörivästä sylinteristä, kiintoaineen ja nesteen syöttölaitteista ja pidätysrenkaasta, joka pitää rummun täyttöasteen riittävänä. Kaapimet estävät materiaalin tarttumisen rummun seinämiin. (Kiiski 2010, 90.)



KUVA 2. Rumpu (Stansteel 2018.)

3.1 Rakeistusrummut

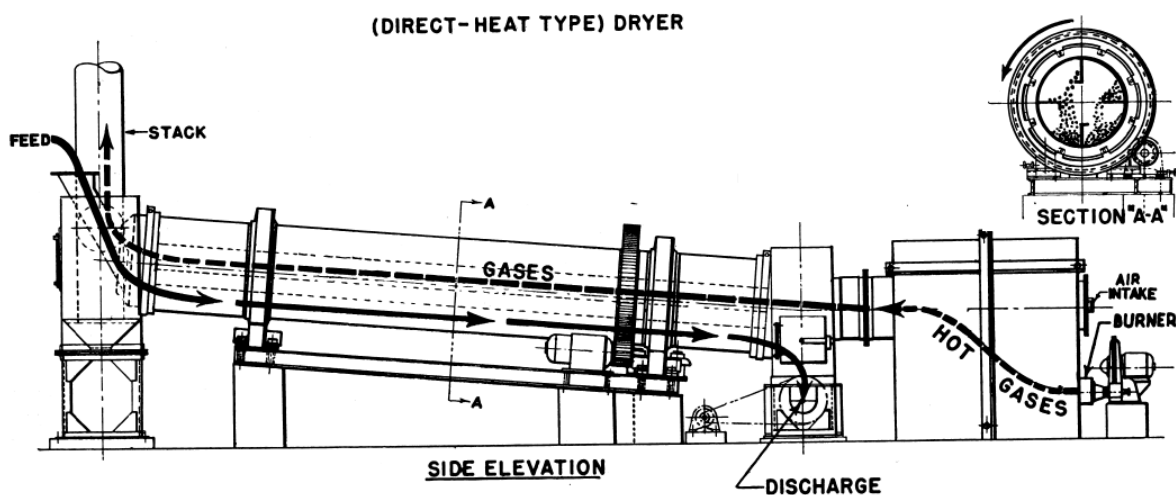
Rakeistus- ja agglomerointirumpuja käytetään mm. lannoiteteollisuudessa ja rautamalmin pelletoinnissa (Feeco, ei pvm.). Lannoiteteollisuudessa rakeistusrumpuja käytetään lannoitteen rakeistukseen. Rakeistusrummut ovat sylinterin mallisia rumpuja, joita pyöritetään kantokehien varassa kantopyörien päällä. Siilinjärven tehtaalla käytössä olevien rakeistusrumpujen alkupäähän syötetään raealkioita/lannoiteytimiä, ja rummun pyöriessä sisäpinnan kauhat nostavat alkioita ylös. Alkiot muodostavat alas pudotessaan raeverhon, johon sumutetaan lannoitelietettä. Rummun pyöriessä alkioiden raekoko kasvaa ja lannoitelietteestä saadaan rakeita. (Hukkamäki ja Makkonen 2018.)

3.2 Jäähdytysrummut

Jäähdytysrumpujen tehtävänä on nimensä mukaisesti jäähdyttää materiaalia. Jäähdytysrumpuja käytetään mm. lannoiteteollisuudessa lannoiterakeiden jäähdyttämiseen. Kantopyörien päällä pyörivään rumpuun syötetään rakeistettu lannoite ja sekaan johdetaan ilmaa tai savukaasuja. Rummun sisäpinnalla olevat kauhat nostavat lannoiterakeet ylös, ja alas pudotessaan rakeet jäähtyvät ohi virtaavan ilman vaikutuksesta. Rummut asennetaan hieman vaakasuorasta poikkeavaan kulmaan, jotta rakeita saadaan painovoiman avulla kuljetettua alkupäästä loppupäähän. (Hukkamäki ja Makkonen 2018.)

3.3 Pinnoitusrummut

Pinnoitusrumpuja käytetään mm. rakeisen lannoitteen, eläinten ruoan ja esimerkiksi kissanhiekan valmistuksessa. Lannoiteteollisuudessa rakeistetut ja kuivatetut rakeet syötetään pinnoitusrumpuun, jossa niiden pintaan sumutetaan raetta suojaavia aineita (pinnoitusöljy ja talkkiseos). Rumpuja on esitelty kuvissa 3 ja 4.



KUVA 3. Rummut asennetaan pieneen kulmaan materiaalin liikkeen aikaansaamiseksi (Stansteel 2018.)



<http://go.feeco.com/acton/attachment/12345/f-0128/1/-/-/-/-/Coating-Drum-for-Ammonium-Sulfate.pdf>
 KUVA 4. Neutralointirumpu (Feeco, ei pvm.)

Sulfate.pdf

4 KUNNOSSAPITO

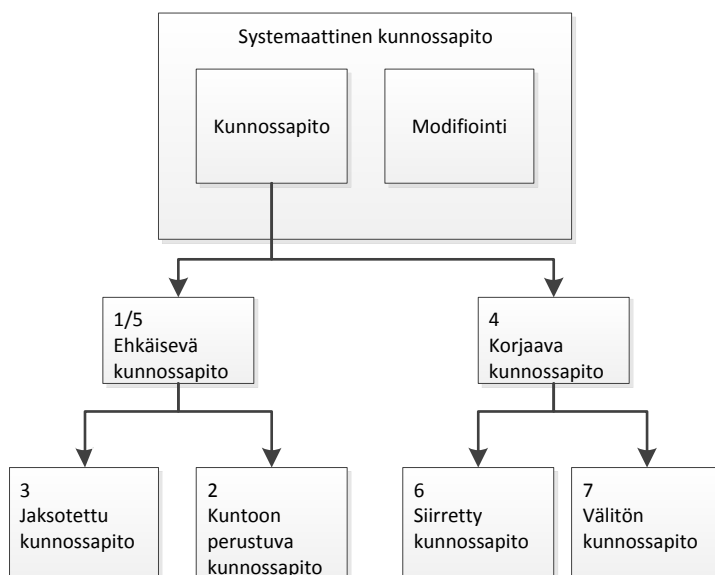
Kunnossapito on ison kokonaisuuden hallintaa, ja siinä tulee ottaa huomioon kokonaisuus, joka pitää sisällään luotettavuuden, turvallisuuden ja häiriöttömän käynnin. Toimenpiteillä pyritään varmistamaan kohteen tai kokonaisuuksien mahdollisimman pitkä elinkaari. (Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät 2011, 2.)

4.1 Kunnossapidon tavoitteet

Kunnossapidon tavoitteita ovat kokonaistehokkuus ja käyttövarmuus. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan hyvä toimintavarmuus kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta. Lisäksi on otettava huomioon kustannukset, ympäristö ja turvallisuus. (Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät 2011, 4.)

4.2 Kunnossapitolajit

Erilaisilla kunnossapitolajeilla todetaan koneiden, laitteiden tai niihin liittyvien tekijöiden toimintakunto ja toiminnoilla varmistetaan niiden tila (ks. kuva 6). (Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät 2011, 21.)



KUVA 6. Kunnossapitolajeja.

Yaran sisäisissä dokumenteissa kunnossapitolajien luokittelu perustuu standardiin EN 13306. Lajittelu Yaran TOPS:ssa on seuraavanlainen:

1. Ehkäisevä kunnossapito

Kunnossapitoa, jota tehdään säännöllisin välein tai asetettujen kriteerien täytyessä ja jonka tavoitteena on vähentää kohteen vikaantumisen todennäköisyyttä tai toimintakyvyn heikkene- mistä.

2. Kuntoon perustuva kunnossapito

Ehkäisevää kunnossapitoa, jossa toimenpiteet perustuvat kohteen suorituskyvyn tai muiden parametrien seurantaan. Seuranta voi olla aikataulutettua, tarvittaessa tehtävää tai jatkuvaa.

3. Jaksotettu kunnossapito

Ehkäisevää kunnossapitoa, jossa kunnossapitotoimien käynnistävänä tekijänä ovat kalenteriaika tai käytön määrä ja jossa kohteen kunto ei vaikuta toimenpiteiden käynnistämiseen

4. Korjaava kunnossapito

Kunnossapitoa, joka suoritetaan vikaantumisen havaitsemisen jälkeen ja jonka tavoitteena on palauttaa kohde tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon.

5. Suunniteltu kunnossapito

Ehkäisevää kunnossapitoa, joka tehdään määritetyn aikataulun tai käytön määrän mukaan.

6. Siirretty kunnossapito

Korjaavaa kunnossapitoa, jota ei suoriteta välittömästi vikaantumisen jälkeen vaan viivästetysti sovittujen ohjeiden mukaisesti.

7. Välitön kunnossapito

Kunnossapitoa, joka suoritetaan heti vian havaitsemisen jälkeen, jotta vältetään seuraamuksiltaan, jotka eivät ole hyväksyttävissä.

5 KUNNONVALVONTA

5.1 Kunnonvalvonta yleisesti

Kunnonvalvonnalla määritetään kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehittyminen mahdollisen vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohdan määrittämiseksi. Kohteen kuntoa tarkkailaan ja/tai mitataan joko kannattavilla mittalaitteilla määrääjain tai kiinteillä valvontajärjestelmillä jatkuvasti.

Kun lähestyvä vikaantuminen havaitaan ajoissa, jää riittävästi aikaa korjauksen suunnitteluun ja sopivan seisokkiajankohdan määrittämiseen. Kunnonvalvonta tuottaa lähtötietoja huollon ja korjauksen suunnitteluun, joten korjaus voidaan tehdä oikea-aikaisesti.

5.2 Mittaava kunnonvalvonta Yara Suomi

Ennakkohuoltomittaukset ovat vain yksi osa ennakkohuoltotoimenpiteitä, ja se edesauttaa kunnossapitotöiden suunnittelua. Ennakointia voidaan parantaa ja siten selvittää alkavat vikaantumiset, mutta tämä vaatii koko kunnossapito- ja ennakkohuoltoketjun yhteistyötä.

Mittaavan kunnossapidon perustana ovat oikeat laitetiedot. Laitetietojen perusteella voidaan määrittää kyseiselle laitteelle sopivat mittausparametrit, joiden pohjalta pystytään tekemään laadukas mittausanalysointi. Laitetiedoista tulee ilmetä vähintään laakeritiedot ja hammaspyörien hammasluvut. Laakereista tarvitaan laakerinumero, kirjainkoodit sekä valmistaja. Lisäksi tarvitaan tieto voimasuunnista. Valmistajan tietokannoista saatavien laakeritietojen avulla voidaan selvittää laakerin ohitustaajuudet, ja hammasluku kertoo ryntötaajuuden.

Mittaavassa kunnonvalvonnassa käytetään vikojen havaitsemiseen erilaisia mittaustekniikoita, joilla tarkastellaan kiihtyvyyttä, nopeutta, envelopea ja laakerin iskuja (Shock pulse method = SPM). Näitä käyttämällä voidaan varmistaa riittävän laadukas analyysi esimerkiksi laakerin kunnosta.

Mittaustapahtuma tulee ajoittaa siten, että prosessi on mahdollisimman stabiili ja samantyyppinen kuin edellisellä mittauskerralla. Tällä varmistetaan vertailukelpoisuus mittaustulosten välillä. Mittaustuloksiin vaikuttaa myös ympäröivien laitteiden kunto sekä prosessin tila. Vaihteiden ym. petien kunto pitäisi pystyä varmistamaan, mutta se vaatii esimerkiksi operaattoreilta aktiivista toimintaa ja siisteys- ja järjestyskierron tulee olla tarpeeksi kattavia. Laitteen luoksepäästävyys on myös varmistettava. Mikäli kohteeseen liittyy suojaverkkoja tms. tai se on hankalassa paikassa, on harkittava puoli-kiinteää tai kiinteää (On-Line) kunnonvalvontaa. Hyvä mittaustulos vaatii, että mittaus voidaan tehdä turvallisesti ja toistettavasti. Jos kunnonvalvontamittaaja on huonossa asennossa tai kohde on vaikeasti saavutettavassa paikassa, on mahdollista, että mittaustulokset eivät ole vertailukelpoisia ja analyysi on virheellinen.

5.2.1 Periodinen reittimittaus

Periodisen reittimittausvälin määrittää kohteen kriittisyysmäärittely. Mittausvälin on oltava sellainen, että vian havaitsemisen ja vaurion väliin jää riittävästi aikaa korjauksen tekemiseen. Yleensä kriittisissä kohteissa, jotka eivät ole jatkuvassa valvonnassa (On-line ja/tai konesuoja), aika on yksi kuukausi. Yaran käytössä on laitteita ja kohteita, joiden mittausväli on 1–4 kuukautta, 6 kuukautta ja 12 kuukautta. Mittausväli määritetään ottaen huomioon käytettävä valvontamenetelmä, kohteen häiriöherkkyys, vikojen kehittymisnopeudet ja historiatiedot. Mittausväleihin ei saa vaikuttaa resurssien riittävyys.

Kunnonvalvontaa aloitettaessa tai koekäyttövaiheessa valitaan tavanomaista lyhyempi mittausväli. Kun valvottavissa suureissa havaitaan merkittävä muutos, pitää mittaustoimintaa tehostaa väliaikaisesti vian kehittymisnopeuden ja vikaantumisen seuraamiseksi. Nykyistä mittausväliä voidaan tihentää tai voidaan ottaa käyttöön jatkuvatoiminen järjestelmä kannettavan tueksi. Lisäksi voidaan käyttää muita täydentäviä menetelmiä varsinkin, jos vian esiintymisväli on epämääräinen. Pitkään käytössä olleille koneille kunnonvalvontaa aloitettaessa suositellaan tehtäväksi kuntokartoitus tai -tutkimus.

5.2.2 Online-mittaus, kiertävä

Online-järjestelmillä pystytään valvomaan luotettavasti koneita, laitteita ja laitosten käyntiä. Mittaus tulokset ovat hyvälaatuisia ja toistettavia. Yleensä tätä mittausväliä käytetään kohteissa, joissa mittausväli on pienempi kuin normaali reittimittausväli pienimmillään (1 kk) tai joissa on hidas pyörintänopeus ja kohde on kriittinen tuotannolle. Reagointiaika kasvaa alkavan vian havaitsemisesta järjestelmien ansiosta, ja luotettavuus paranee. Mittaaminen tapahtuu yhdellä kanavalla kerrallaan ja annettujen mittausväliaikojen mukaan. Online-järjestelmä parantaa toimipaikkojen turvallisuutta, luotettavuutta ja tuotantoa.

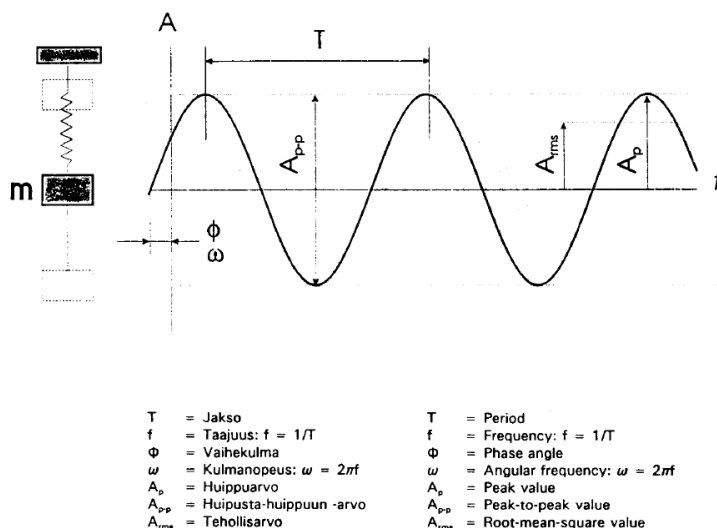
5.2.3 Jatkuvatoiminen suojausjärjestelmä

Jatkuvatoimista suojausjärjestelmää käytetään tärkeissä koneissa tai laitteissa, esimerkiksi turbiniissa ja generaattoreissa, jotka ovat varmistamattomia, joiden vauriokehitys on nopeaa ja jotka vaativat koneen automaattista alasajoa ja nopeaa tiedonkeruuta. Mittaaminen tapahtuu jatkuvatoimisesti kaikilla kanavilla, ja tätä kutsutaan suojausjärjestelmäksi.

6 VÄRÄHTELYMITTAUS

6.1 Värähtelykäsitteitä ja -määritelmiä

Värähtelymittaukseen liittyvät peruskäsitteet on esitelty kuvassa 7.



KUVA 7. Värähtelymittaukseen liittyvät peruskäsitteet (Kunnonvalvonnan värähtelymittaus 2015.)

6.1.1 Valvottavat suureet

Valvottavan koneen rakenteeseen, käytettävään mittaustekniikkaan ja ennakoitaviin vikatyyppeihin perustuen tärinää valvotaan siirtymänä, nopeutena, kiihtyvyytenä tai kiihtyvyyden derivaattoina. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaus 2015, 2.)

6.1.2 Nopeus

Nopeudesta käytetään yleensä tunnuslukua mm/s, kun selvitetään tärinää. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaus 2015, 2.)

6.1.3 Kiihtyvyys

Kiihtyvyydestä käytetään yleisesti tunnuslukua m/s^2 silloin, kun halutaan saada selville korkeataajuisista tärinää. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaus 2015, 2.)

6.1.4 Siirtymä

Siirtymästä käytetään tunnuslukua μm matalataajuisien värähtelyjen selvityksessä. Lisäksi liukulaa- kereita valvotaan siirtymänä, jolloin akselin värähtely ilmaisee akselin aseman laakeripesässä. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaus 2015, 2.)

6.1.5 Envelope-suodatus

Envelope-suodatus perustuu digitaaliseen laskentaan. Envelope-suodatukseen on yleensä käytettävissä kaistanerotussuodattimia tai ali-, yli- tai kaistanpäästösuodattimia. Alipäästöllä suodatetaan korkeita taajuuksia ja puristetaan alemmat taajuudet esille. Ylipäästöllä suodatetaan matalat taajuudet ja puristetaan korkeat taajuudet esille. Kaistanpäästösuodattimella tietty taajuuskaista tuodaan esille, kun taas kaistanerotuksella erotellaan tietty kaista pois mittauksesta. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 202.)

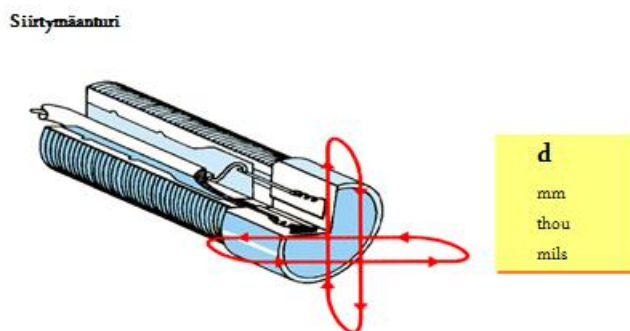
Esimerkki:

Alkavan laakerivian havaitseminen tapahtuu aluksi korkealla taajuudella, ja viat saadaan näkyviin erilaisilla suodatustekniikoilla. Esimerkiksi Envelope 4 filterillä mitataan taajuuskaista 5000–40000 Hz, ja se puristetaan 2–1000 Hz:n kaistalle, koska emme ole kiinnostuneita kyseisellä tekniikalla mitatuista alhaisista taajuuksista. Korkeataajuisia ja heikkotehoisia signaaleja vahvistetaan kohteen ominaistaajuuksilla.

6.2 Anturityypit

6.2.1 Siirtymäanturi

Siirtymäantureilla (ks. kuva 8) mitataan siirtymää (liikkeen pituutta). Siirtymäantureita käytetään pääasiassa liukulaakereissa suojausjärjestelmän kanssa. Tyypillisiä käyttökohteita ovat voimateollisuuden turbiinit ja suuret pumput ja kompressorit kemianteollisuudessa. Siirtymä mitataan millimetreissä tai tuuman tuhannesosina (thou). (SPM Instrument 2017.)

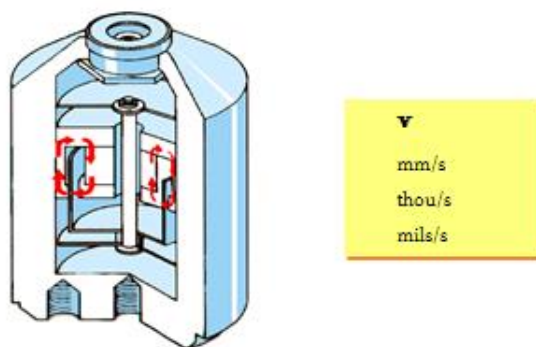


KUVA 8. Siirtymäanturi (SPM 2017.)

6.2.2 Nopeusanturi

Nopeusanturit (ks. kuva 9) koostuvat liikkuvasta käämistä ja jousilla kiinnitetystä magneetista. Magneetin ja kelan suhteellinen liike tuottaa virtaa, joka on verrannollinen liikkeen nopeuteen. Nopeusanturit ovat painavia ja monimutkaisia laitteita ja siksi kalliita. Nopeusantureilla on myös kapea taajuusalue, noin 10–1000 Hz. Käyttökohteita ovat esimerkiksi turbiinien mittaukset. Mittarit korvataan usein kiihtyvyyssantureilla, joilla voidaan mitata myös nopeutta. (SPM Instrument 2017.)

Nopeusanturi

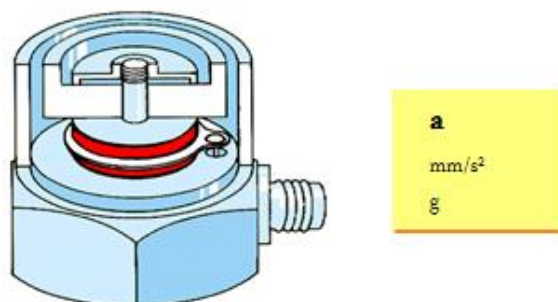


KUVA 9. Nopeusanturi (SPM 2017.)

6.2.3 Kiihtyvyyssanturi

Kiihtyvyyssanturit (ks. kuva 10) ovat yleisimmin käytettyjä antureita värähtelymittauksessa. Signaali tuotetaan vertailumassan ja pietsosähköisen kiteen avulla. Kiihtyvyyssanturit ovat lujia ja edullisia. Kiihtyvyys ilmaistaan yksikössä m/s^2 tai putoamiskiihtyvyyden g ($9,81 m/s^2$) avulla. ICP-anturi standardoidulla arvolla 100 mV/g on laajasti käytetty. (SPM Instrument 2017.)

Kiihtyvyyssanturi

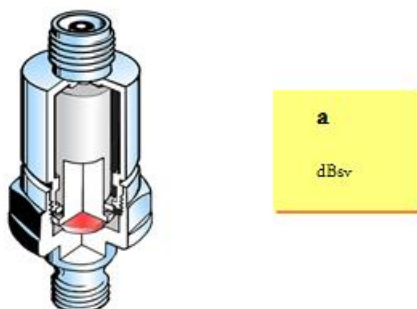


KUVA 10. Kiihtyvyyssanturi (SPM 2017.)

6.2.4 Iskuanturi

Iskusysäysanturi (ks. kuva 11) on kiihtyvyyssmittari, vaikka se eroaa monella tapaa värähtelymittauksista. Iskut oletetaan usein koneen värinäksi, sillä ne näkyvät värähtelyn aikajanalla. Ne eivät näy tavallisessa skaalassa, koska ne eivät ole jatkuvaa liikettä vaan yksittäisiä iskuja, joten niillä ei ole taajuutta. Iskusysäysanturin liikkuvia osia ovat jousitetut vertailupainot. (SPM Instrument 2017.)

Iskusysäysanturi



KUVA 11. Iskusysäysanturi (SPM 2017.)

6.2.5 Duotech-anturi

Duotech-anturissa (ks. kuva 12) yhdistyvät värähtely ja iskusysäys. Anturi toimii kuten 100 mV/g:n kiihtyvyyssanturi, mutta lisäksi on iskusysäys.



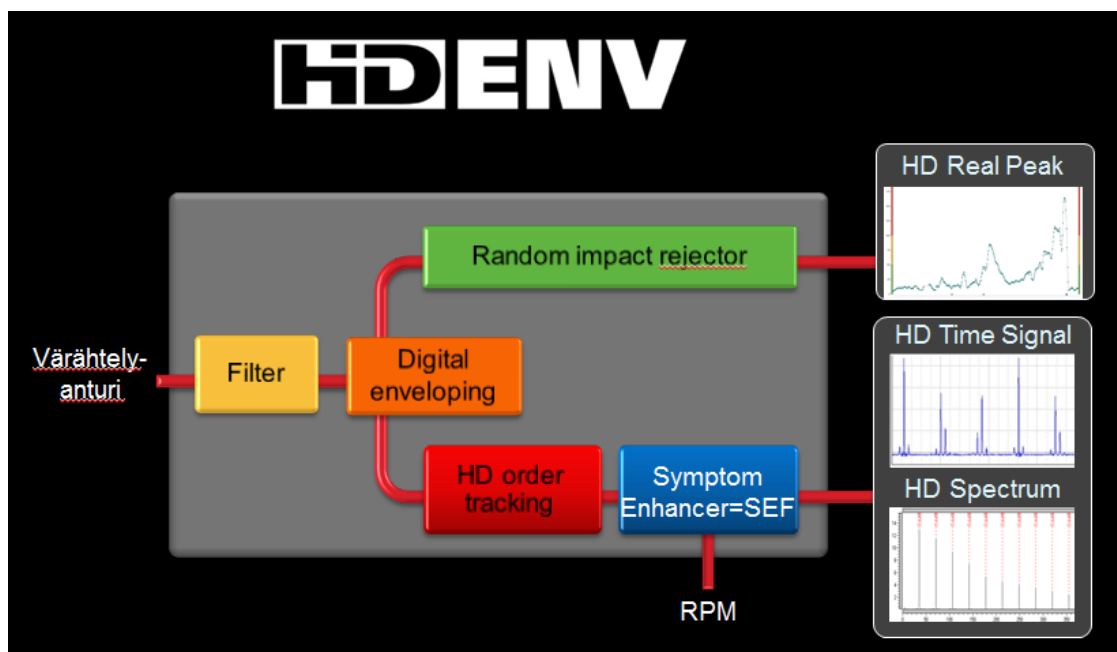
KUVA 12. Duotech-anturi (SPM 2017.)

6.3 Erilaiset mittaustavat ja -tekniikat

6.3.1 HD ENV

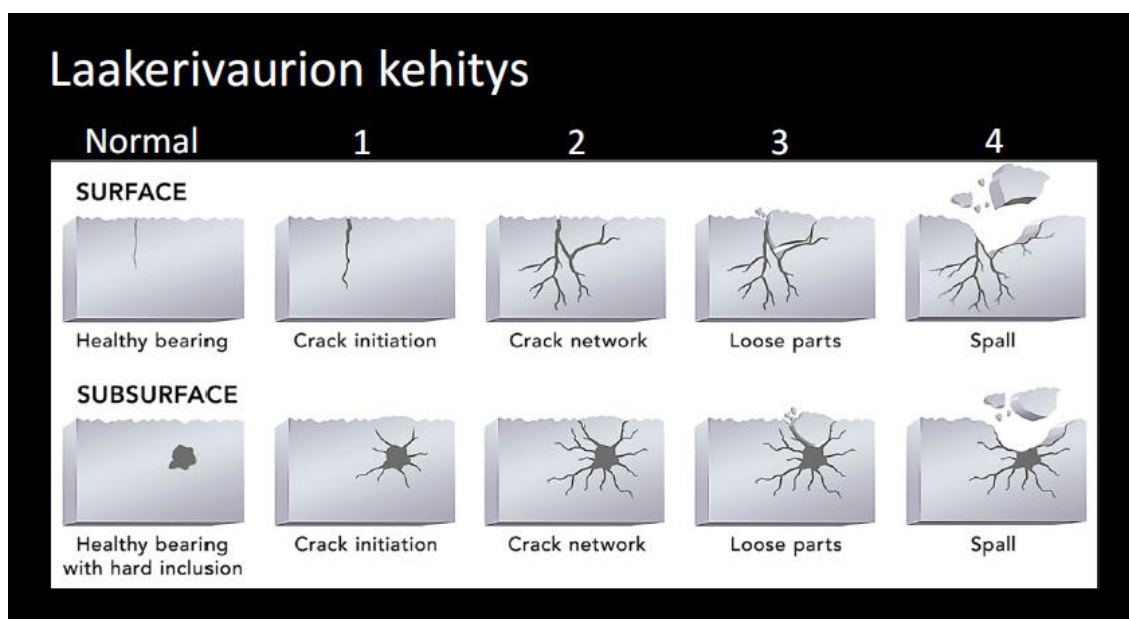
Spm hd env -tekniikka perustuu raakavärähtelysignaalin käsittelyyn, ja tekniikan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 13. Signaali johdetaan ensin suodattimille, joissa poistetaan matalia taajuuksia, jotka ovat hyvin vahvoja signaaleja. Suodatus tapahtuu digitaalisesti. Digitaalinen algoritmi erottaa äärimmäisen heikot vaikutukset signaaliin. Suodatettu signaali syötetään järjestelmän seuranta-algoritmeihin, jotka hyödyntävät rpm-informaatiota näytteenottotaajuuden säätämisessä. Lopputuloksena on selkeä spektri, jossa ei ole hajontaa. Toistuvia signaaleja tehostetaan ja satunnaiset signaalit poistetaan mittaauksista. (SPM Instrument 2017.)

Poistamalla satunnaiset signaalit saadaan aikaan puhdas trendiseuranta. Satunnaisesti esiintyvät korkeat lukemat, jotka voivat aiheuttaa vääriä hälytyksiä, poistetaan tarkoitukseen luodulla algoritmilla. (SPM Instrument 2017.)



KUVA 13. Spm HD ENV -tekniikan toimintaperiaate (SPM 2017.)

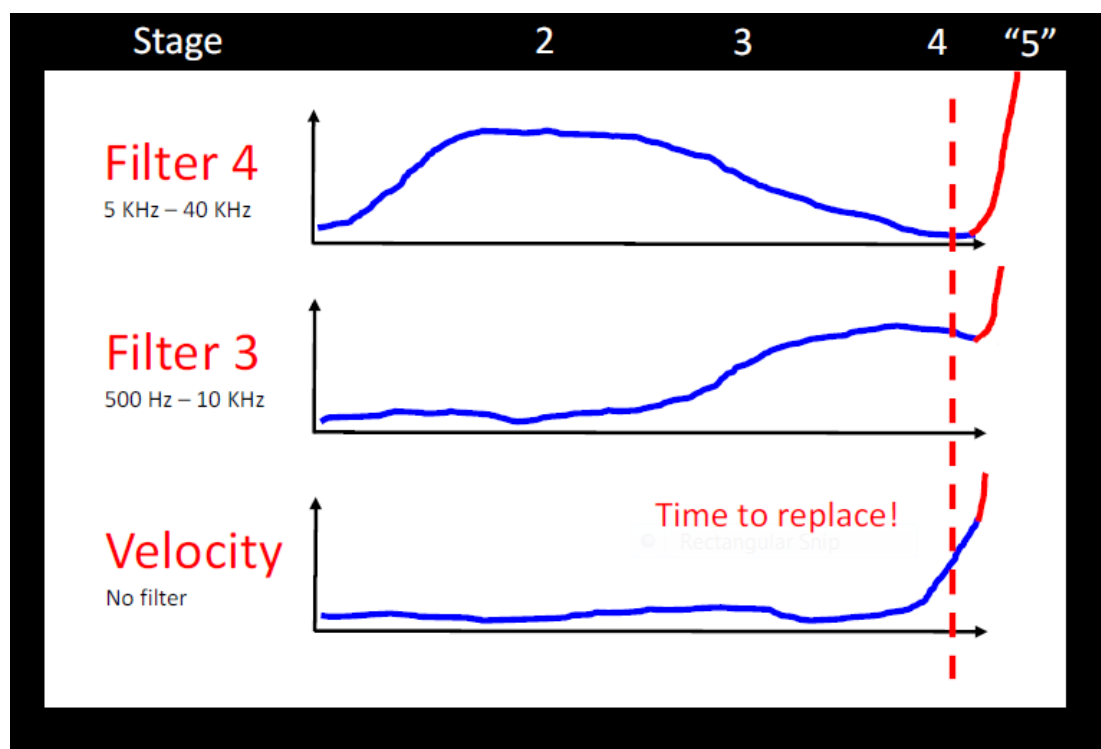
Signaalien suodattamisella pyritään varmistamaan esimerkiksi alkavien laakerivaurioiden havaitseminen varhaisessa vaiheessa. Esimerkiksi laakerivauriot alkavat tyypillisesti materiaalin pinnan alta ja etenevät pintaa kohti. Suodattimia käytetään, jotta esimerkiksi laakerin vierintäradan rikkoutuminen/vaurio havaitaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. (Ks. kuvat 14, 15 ja 16.) (SPM Instrument 2017.)



KUVA 14. Laakerivaurion kehitys materiaalin pinnalla ja sen alapuolella (SPM 2017.)



KUVA 15. Vaurioiden havaitseminen erilaisilla mittausmäärityksillä (SPM 2017.)

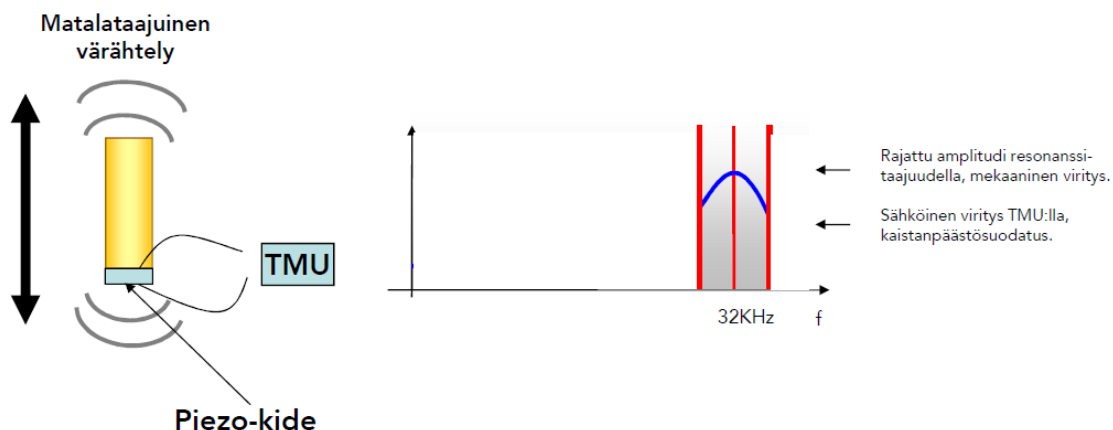


KUVA 16. Reagointiaika vaurion havaitsemisesta eri suodatuksilla ja ilman (SPM 2017.)

6.3.2 Iskusysäys

SPM-iskusysäysanturin mittaus perustuu anturin 32 kHz:n resonointiin. Värähtely johtuu anturissa piezo-levyyn, jolloin pystytään mittaamaan värähtelyä. Anturin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 17. (SPM Instrument 2017.)

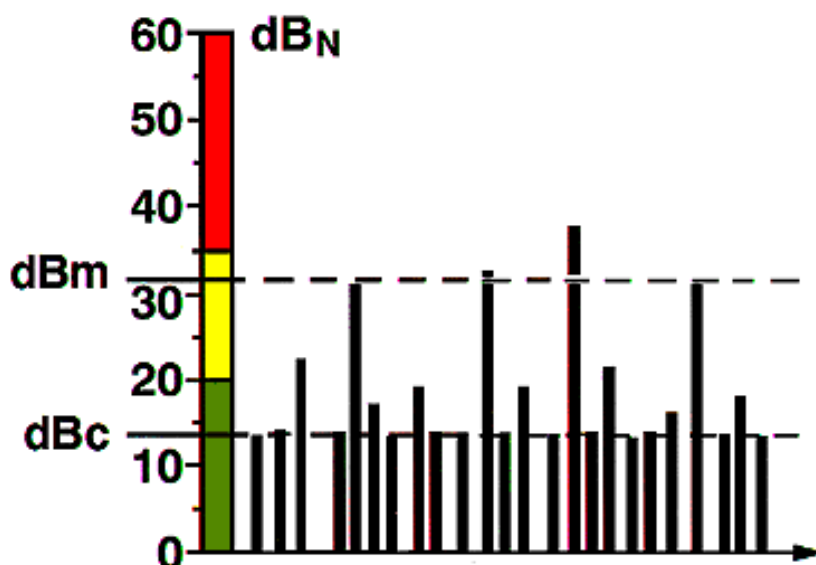
SPM-anturi



“SPM-iskusysäysanturi on mekaanisesti ja sähköisesti viritetty”

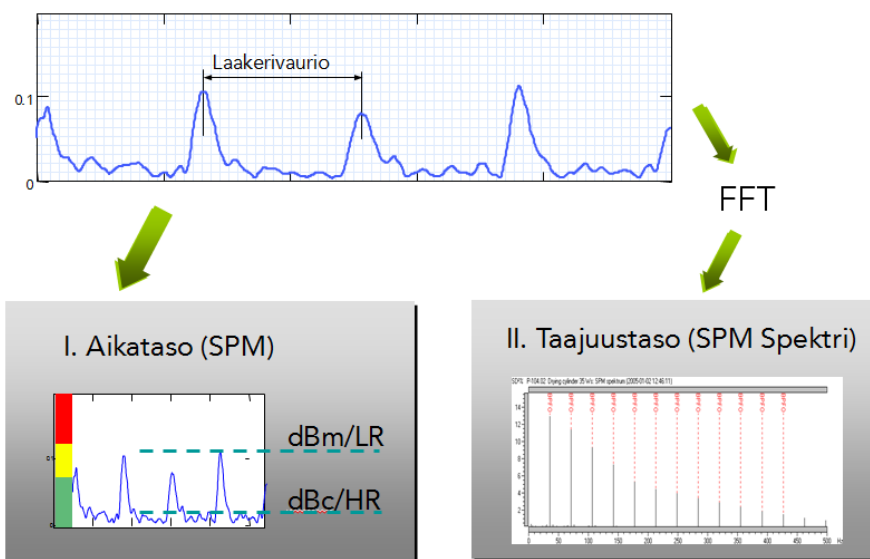
KUVA 17. Spm-anturin toimintaperiaate (SPM 2017.)

Mittauksessa on käytössä kaksi arvoa, dBm ja dBc. dBm ilmaisee signaalien korkeimman piikkiarvon ja dBc signaalin kohinamattoon kuuluvien heikkojen pulssien arvon. Mittausyksikkö maksimiarvolle dBm ja dBc on dBn normalisoitu iskun arvo, johon vaikuttaa laakerin koko ja pyörintänopeus. Käytännössä dBn-asteikko jaetaan kolmeen tilaan “liikennevalot”: vihreä: 0–20, keltainen: 21–34, punainen: 35 tai yli. (Ks. kuvat 18 ja 19.) (SPM Instrument 2017.)



KUVA 18. Iskusysäyksen mitta-asteikko (SPM 2017.)

SPM-aikatasosignaalin käsittely



KUVA 19. Spm-aikatasosignaalin käsittely (SPM 2017.)

6.3.3 Spm HD

Spm HD -tekniikassa käytetään spektriä ja ikätasoa, jotka helpottavat vaurioiden havaitsemista oikea-aikaisesti ja mitatun signaalin kuuntelua. Mittausasteikko alkaa -40 dB:stä, joka ilmaisee suoraan esimerkiksi laakerin kunnon. HDi-arvo lasketaan akselin halkaisijasta ja kierrosluvusta. Yleensä käytetään normalisoituja asteikkoja, jolloin käytössä ovat liikennevalot. (Ks. kuvat 20 ja 21.) (SPM Instrument 2017.)

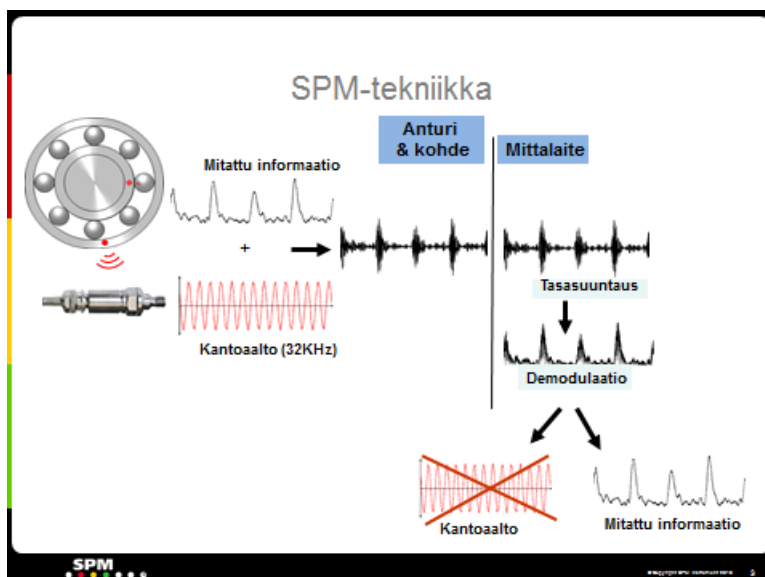
HDi = Laakerin alkuarvo

HCc = Mattoarvo

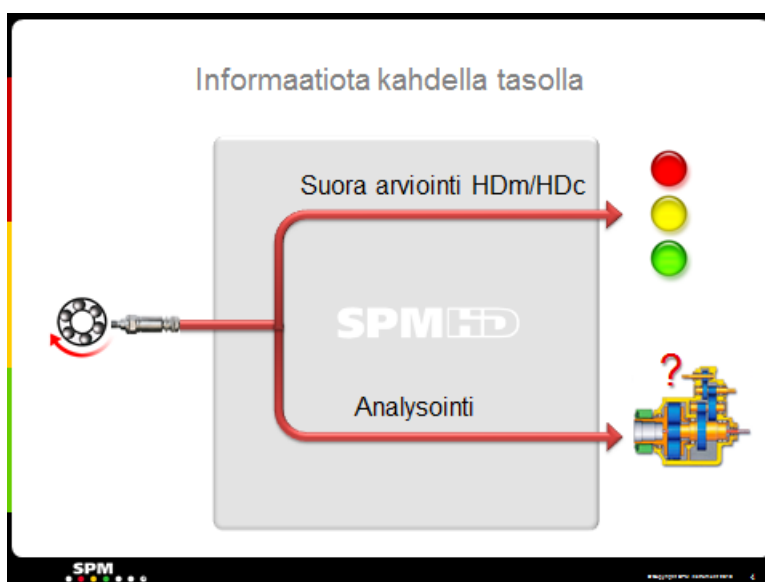
HDm = Maksimiarvo

HDn = Yksikkö normaalille iskuarvolle

HDsv = Absoluuttinen iskuarvo

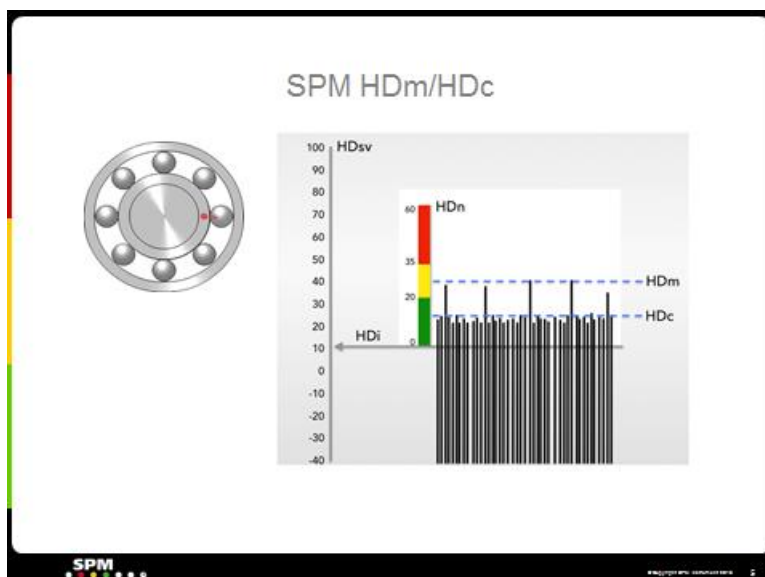


KUVA 20. Spm-tekniikka (SPM 2017.)



KUVA 21. Spm Hd -toimintaperiaate (SPM 2017.)

HD-tekniikan antamat iskuarvot näkyvät vihreänä, keltaisena ja punaisena, ja tekniikka on vähemmän herkkä häiriöille, jotka eivät aiheuta laakerin aiheuttamia häiriöitä. Tekniikka antaa mahdollisuuden parannettuihin iskuanalyysiin, jotta iskun lähdettä voidaan tutkia yksityiskohtaisesti. (Ks. kuva 22.) (SPM Instrument 2017.)



KUVA 22. Spm HDm/HDc -asteikko (SPM 2017.)

Asteikko alkaa HDi-arvosta -40 dB ja asettaa herkkyuden, joten arvioidaan vain se osa kokonaisiskun arvoa, joka liittyy suoraan laakerin toimintaolosuhteeseen. HDi-arvo lasketaan automaattisesti kierrosluvusta ja akselin halkaisijasta (d). Normaalilukujen mittayksikkö on HDN (decibel normalisoitu). Normalisoiduilla lukemilla on helppo ymmärtää laakeritilanne, joka näkyy värillisenä mittauserona. (Ks. kuva 23.) (SPM Instrument 2017.)

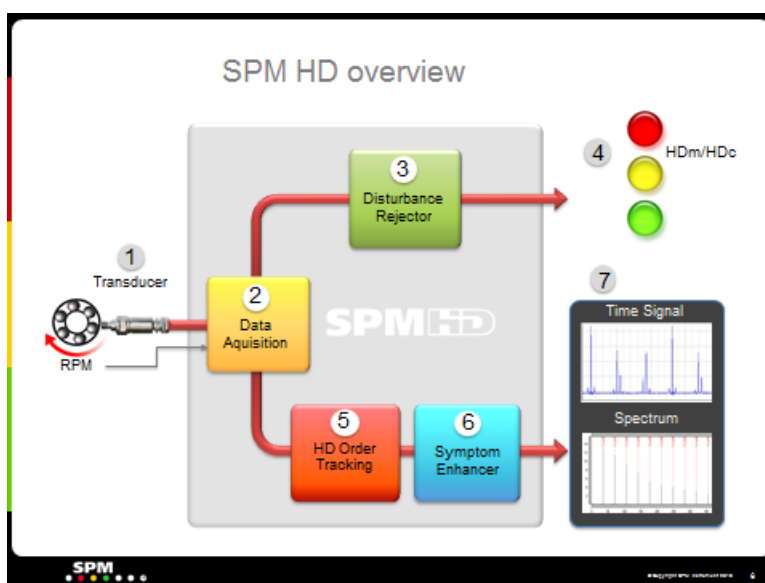
HDi = Laakerin alkuarvo

HCc = Mattoarvo

HDm = Maksimiarvo

HDn = Yksikkö normaalille iskuarvolle

HDsv = Absoluuttinen iskuarvo



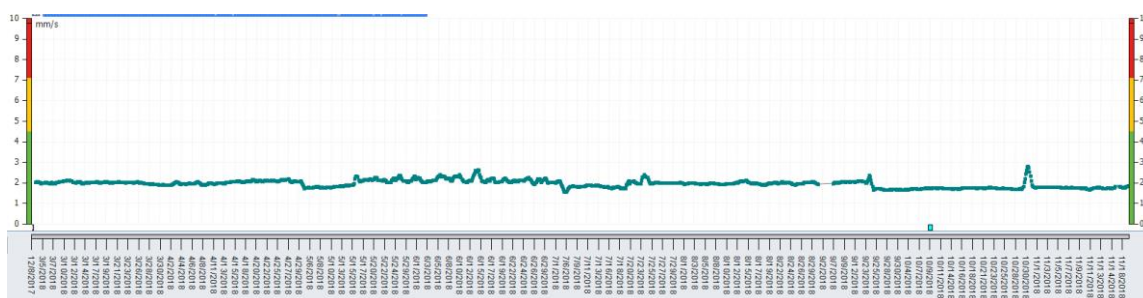
KUVA 23. Spm HD -menetelmän kuvaus (SPM 2017.)

SPM HD:tä voidaan rutiinimittauksissa käyttää trendin arvioituihin HD-lukemiin perinteisenä SPM-menetelmänä, ja se voidaan näyttää aikasignaaleina ja spektrinä, kun signaalilähde auttaa tarkistamaan vahingon tyyppin. Uusi SPM-menetelmä tuottaa huomattavasti tarkempia tietoja laakeritilanteesta verrattuna värähtelyanalyysiin ja perinteisiin SPM-tekniikkoihin, erityisesti pieniin RPM-sovelluksiin. Aikasignaali HD on hyödyllinen laakerivikojen tunnistamiseksi varhaisessa vaiheessa. Mittausaika asetetaan RPM-arvoon, jotta saadaan oikeat tiedot. Tämä on pakollinen RPM-sovelluksissa (< 40 RPM). Kohinansuodattimet tuottavat stabiileja HDm-arvoja. SPM Hd -menetelmä on helppokäyttöinen, eikä suodattimen säätöjä tarvita. (SPM Instrument 2017.)

7 VIKOJEN DIAGNOSOINTI

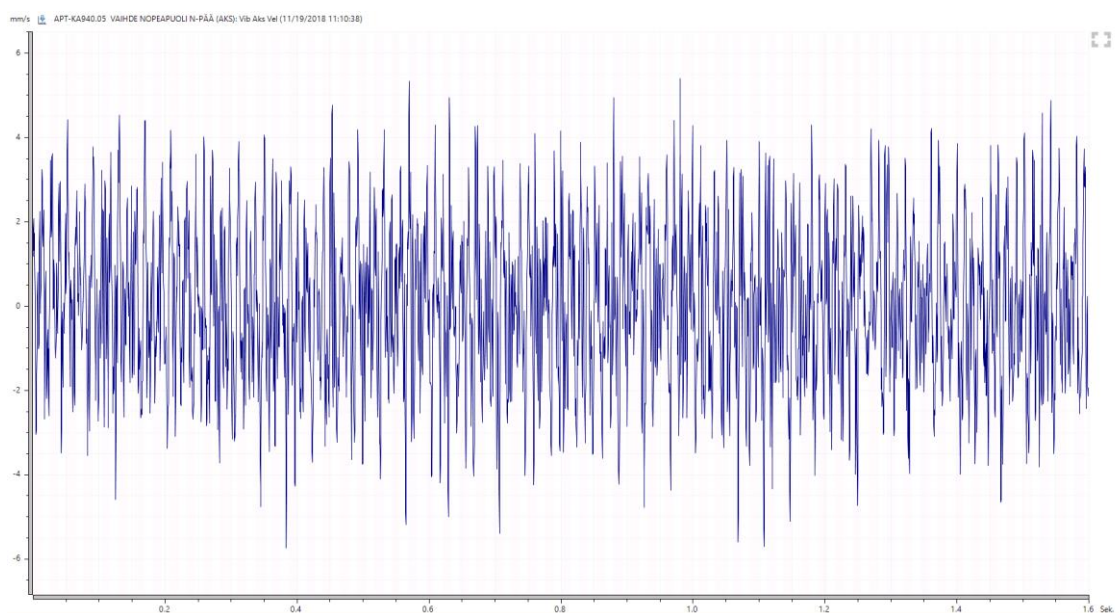
Vikojen diagnosointia voidaan tehdä useilla eri tavoilla. Koneen kuntoa voidaan arvioida pelkän trendiseurannan perusteella, ja siinä tutkitaan kokonaistasojen nousua tai laskua. Tarkemman vikadiagnosoinnin analyysin tekemiseen tarvitaan mittauksista aikataso ja spektri, ja tärkeitä ovat oikeat mitausmääritykset, pyörintänopeus, anturit ja niiden kiinnitystavat. Seuraavassa on tarkasteltu kuvien avulla trendiä, aikatasoa, spektriä ja yleisimpiä vierinlälaakerin vikaoireita (kuvat 24–27).

7.1 Trendi



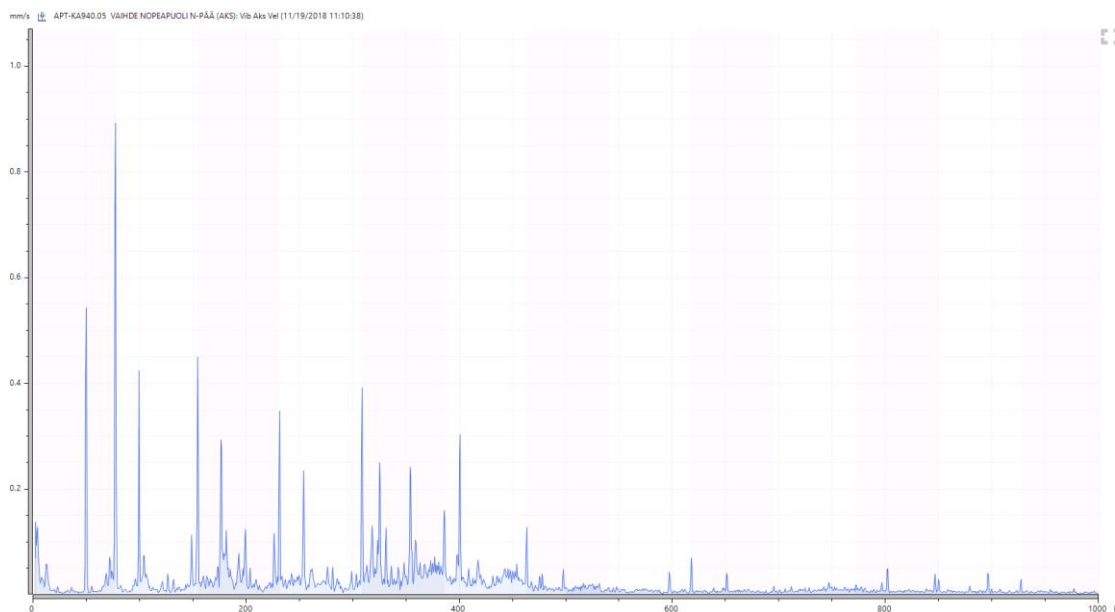
KUVA 24. Värähtelyn trendikuvaaja mm/s (Turunen 2017-11.)

7.2 Aikataso



KUVA 25. Värähtelyn aikataso mm/s (Turunen 2017-11.)

7.3 Spektri



KUVA 26. Värähtelyn spektri mm/s (Turunen 2017-11.)

7.4 Yleisimmät vikaoireet

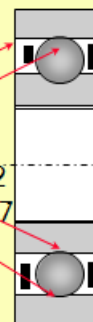
Yleisimpiä vikaoireita ovat epätasapaino, linjausvirheet, mekaaninen löysyys, laakerin ohitustaajudet ja hammaskosketus "ryntötaajuus".

Vierintälaakerin ohitustaajuus esimerkki

$$\begin{aligned} \text{FTF} &= 0.381 * R_{ps} \\ \text{BSF} &= 1.981 * R_{ps} \\ \text{BPFI} &= 4.952 * R_{ps} \\ \text{BPFO} &= 3.047 * R_{ps} \end{aligned}$$

Yhden kierroksen aikana:

Pidike pyörii 0.381 kierrosta
 Elementit pyörii 1.981 kierrosta
 Elementit ohittaa sisäkehän vauriota $\times 4.952$
 Elementit ohittaa ulkokehän vauriota $\times 3.047$

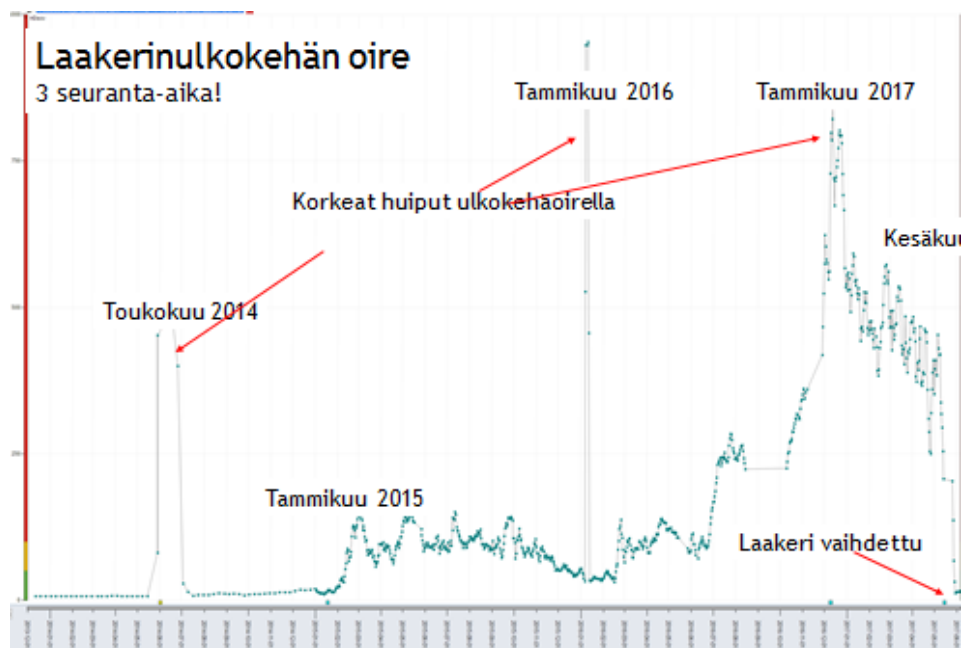


KUVA 27. Vierintälaakereiden ohitustaajuus, esimerkki (SPM Instrument 2017.)

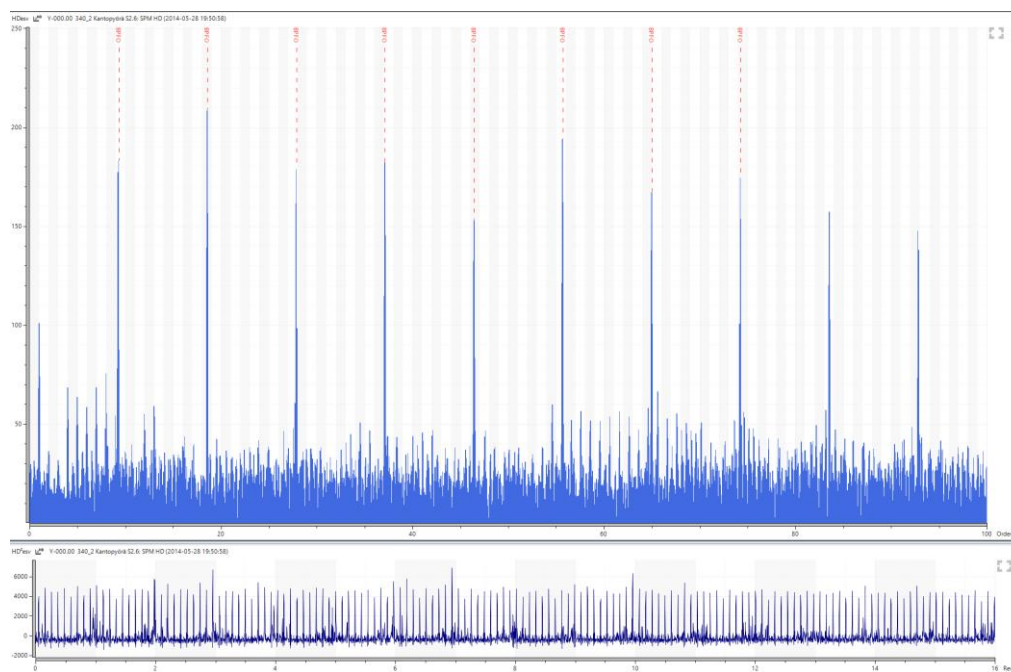
8 TULOKSET

8.1 Tapaus 1: Kantopyörän laakerin (24164B Fag) ulkokehäoire Online 16 rpm

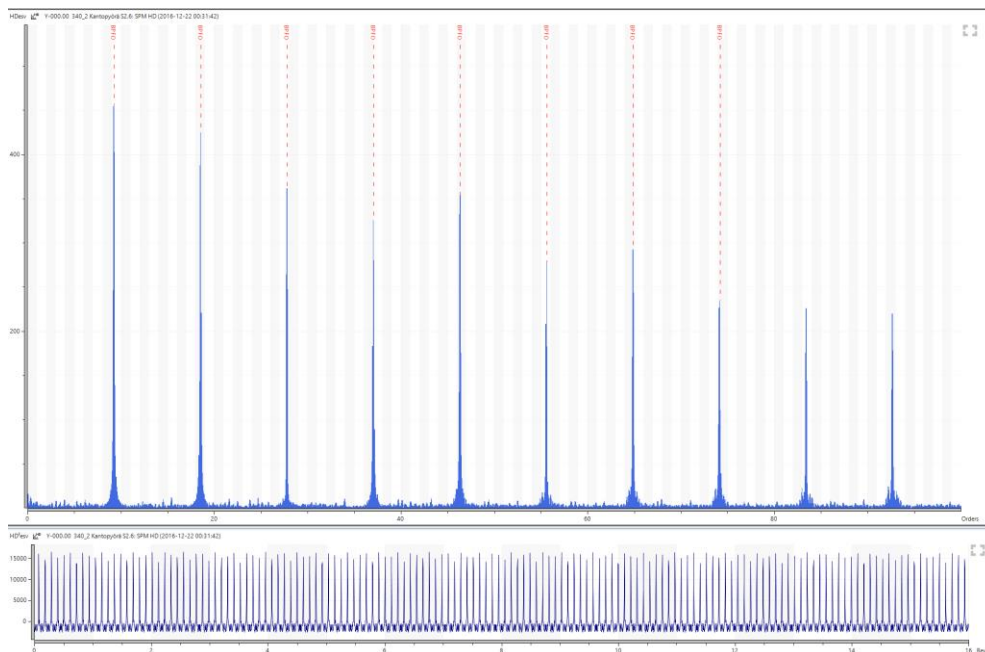
Seuraavassa on tarkasteltu kuvien avulla kantopyörän laakerin (24164B Fag) ulkokehäoireita (kuvat 28–31).



KUVA 28. Laakerin ulkokehän oireen trendi (Turunen 2017-11.)



KUVA 29. Ensimmäinen laakerin vaurioilmoitus 28.5.2014 ulkokehäoireesta (Turunen 2017-11.)



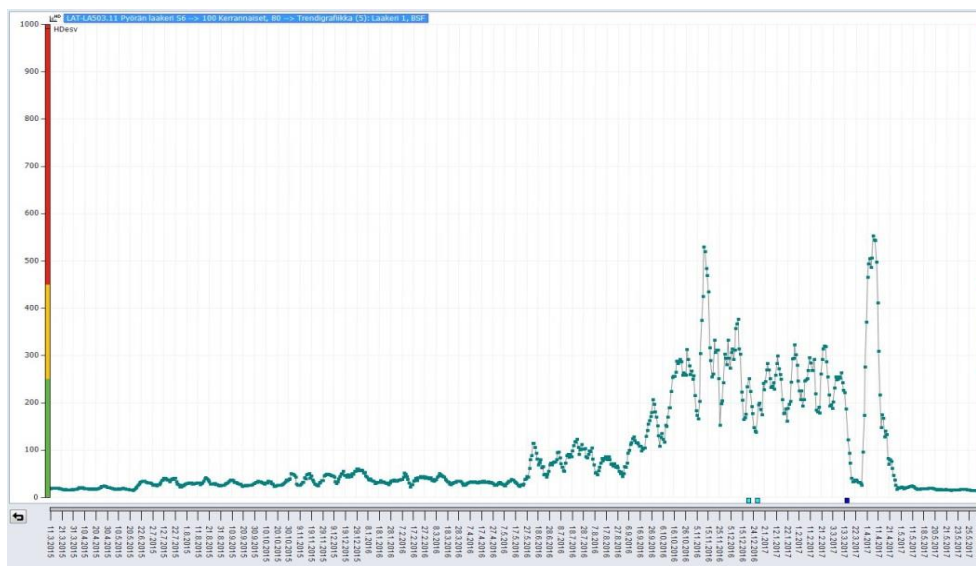
KUVA 30. Voimakkaat ja selkeät ulkokehäoireet 22.12.2016 (Turunen 2017-11.)



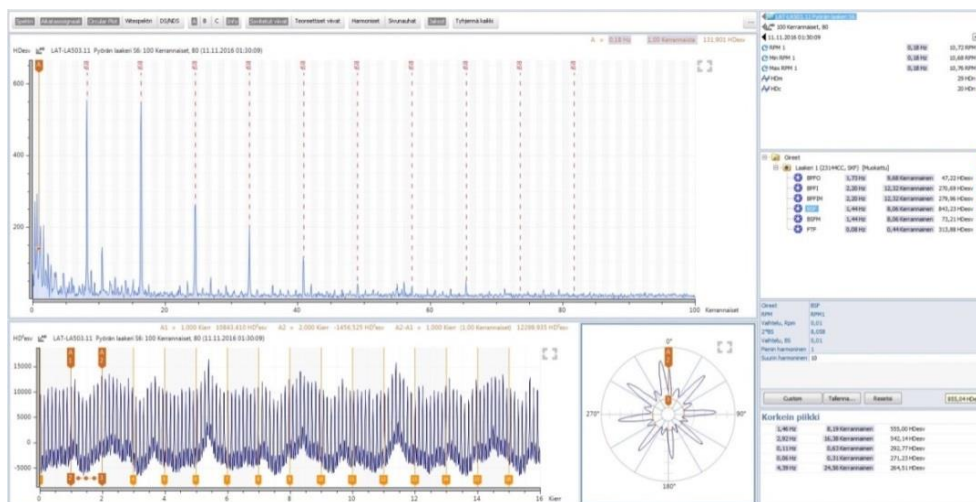
KUVA 31. Laakerin ulkokehän vauriojäljet (Laulajainen 2017-06.)

8.2 Tapaus 2: Kantopyörän vierintäelinvaurio BSF (23144 Skf rpm 10 Online BSF = elementin pyörintätaajuus)

Seuraavassa on tarkasteltu kantopyörän vierintäelinvauriota BSF (kuvat 32–37).



KUVA 32. BSF-oiroen trendi (Turunen 2017-11.)



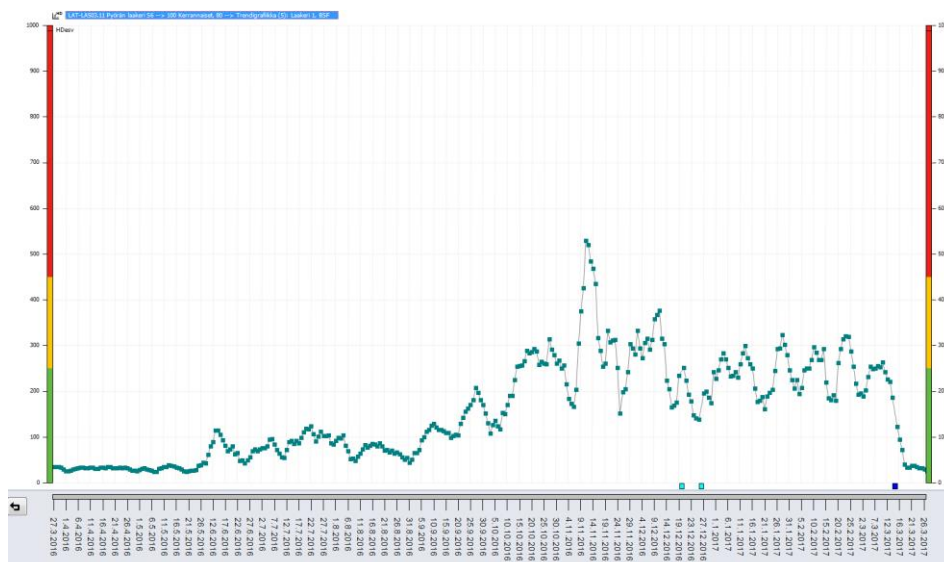
KUVA 33. Vierintäelimen (BSF) ohitustaajuudet nousevat voimakkaasti spektrissä, aikatasossa ja circular plotissa (Turunen 2017-11.)



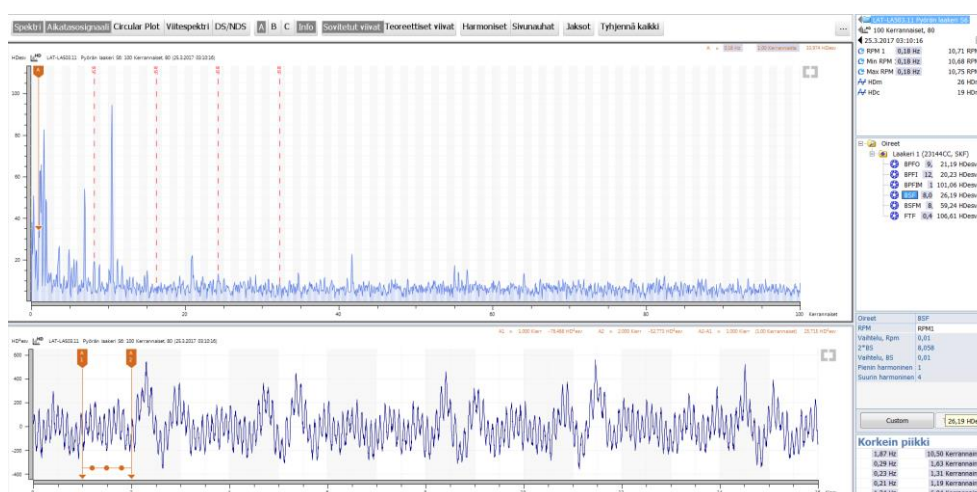
KUVA 34. Lieriörullalaakerin pinta (Turunen 2017-06.)



KUVA 35. Lieriörullalaakerin pinta 8 kertaa suurennettuna (Turunen 2017-06.)



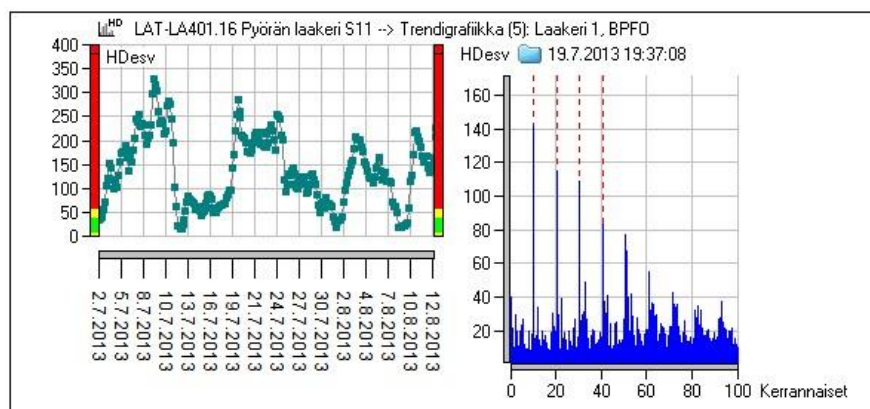
KUVA 36. BSF-oireen trendi laakerinvaihdon jälkeen (Turunen 2017-11.)



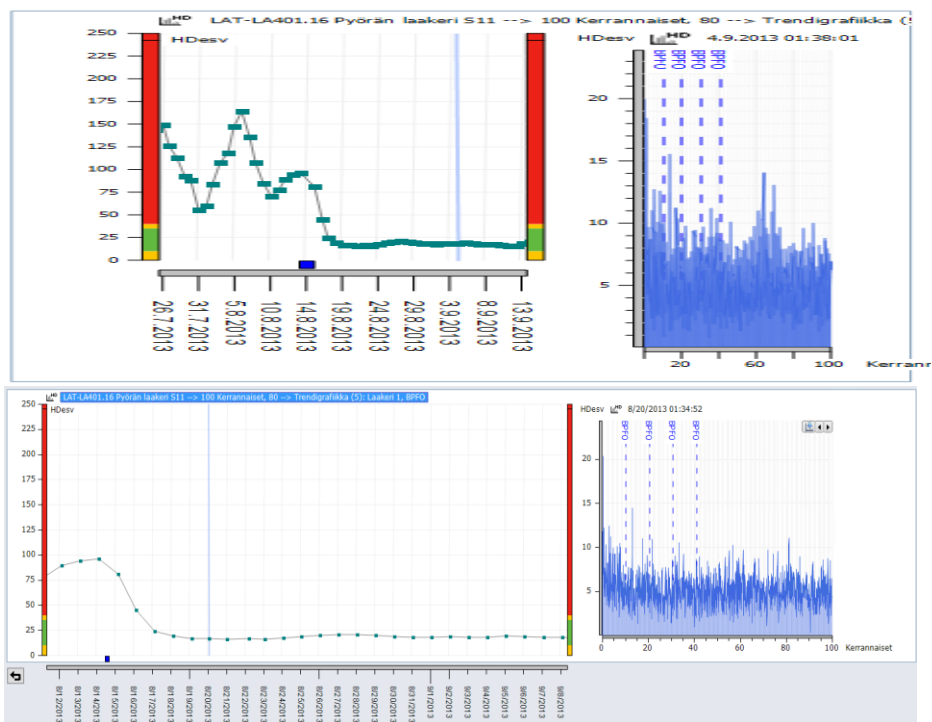
KUVA 37. BSF-oireen spektri ja aikataso laakerinvaihdon jälkeen (Turunen 2017-11.)

8.3 Tapaus 3: Kantopyörän laakerin 23144 Skf ulkokehävaurio (BPFO)

Rummun kantopyörän laakerissa havaittiin OnLinessa vuoden 2013 vuosiseisokin jälkeen kohonneet iskuarvot laakerin ulkokehän ohitustaajuudella BPFO (23144 Skf). Tapausta on tarkasteltu kuvien 38–41 avulla.



KUVA 38. BPFO-oireen trendi ja spektri ennen kantopyörän ja laakerin vaihtoa (Turunen 2017-11.)



KUVA 39. BPFO-oireen trendi ja spektri kantopyörän ja laakerin vaihdon jälkeen (Turunen 2017-11.)



KUVA 40. Laakerin ulkokehän vauriojäljet 23144 Skf (Turunen 2013-10.)

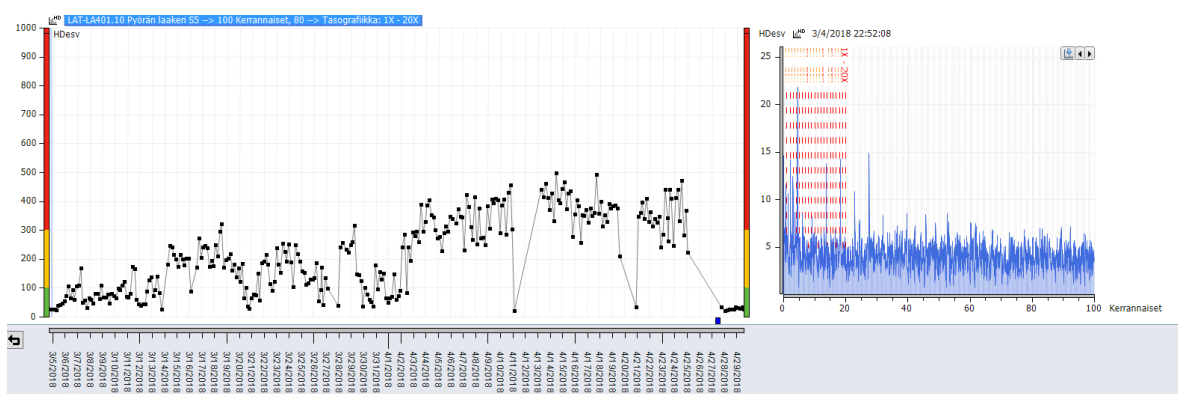


KUVA 41. Laakerin ulkokehän vauriojäljet (Turunen 2013-10.)

Vaurion aiheuttajaksi selvisi vuosiseisokissa 2013 kantopyörän laakeripesään joutunut pesuvesi, ja korroosion vaikutuksesta laakerin ulkokehään syntyi kuoppia alapuolisten rullien kohdalle. Kantopyörän kierrosluku oli 26 rpm.

8.4 Tapaus 4: Kantopyörän pinnan rikkoutuminen rpm 26 OnLine

Seuraavassa on tarkasteltu kantopyörän pinnan rikkoutumista (kuvat 42–47).



KUVA 42. Kantopyörän pyörinnän kerrannaiset 1x20 trendi ja spektri 3.4.2018 (Turunen 2017-11.)



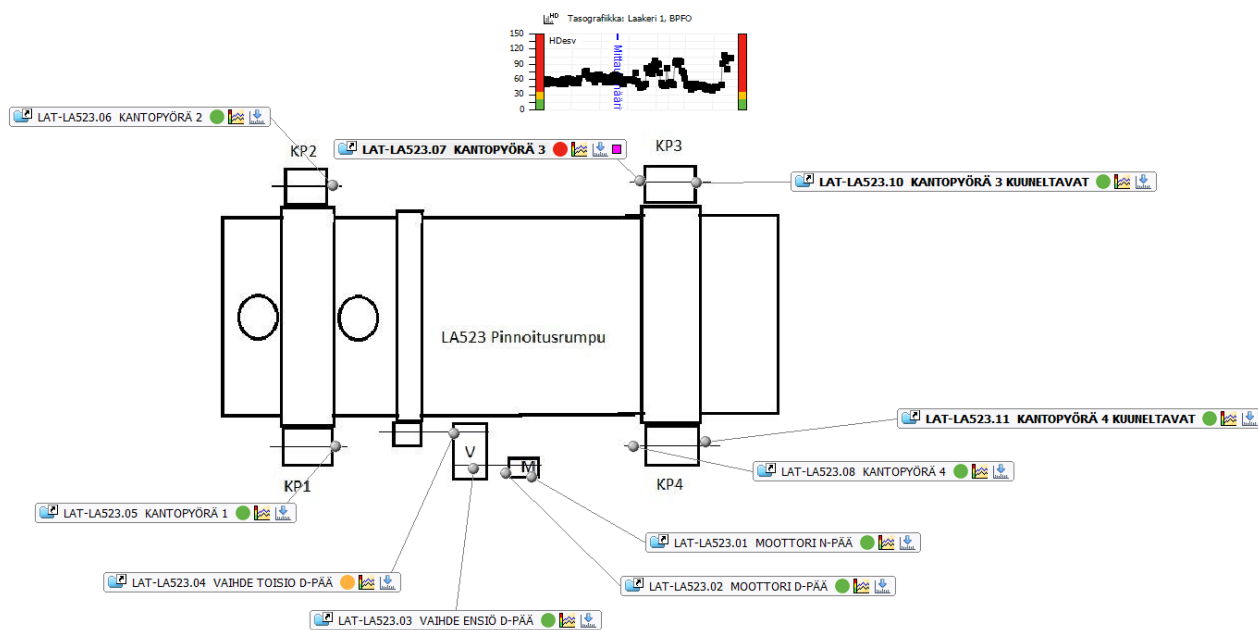
KUVA 46. Rikkoutuneen kantopyörän pinta edestä (Turunen 2018-05.)



KUVA 47. Rikkoutuneen kantopyörän pinta sivulta (Turunen 2018-05.)

8.5 Tapaus 5: Kantopyörän laakerivaurion seuranta 23024C Skf 2 kpl rpm 20

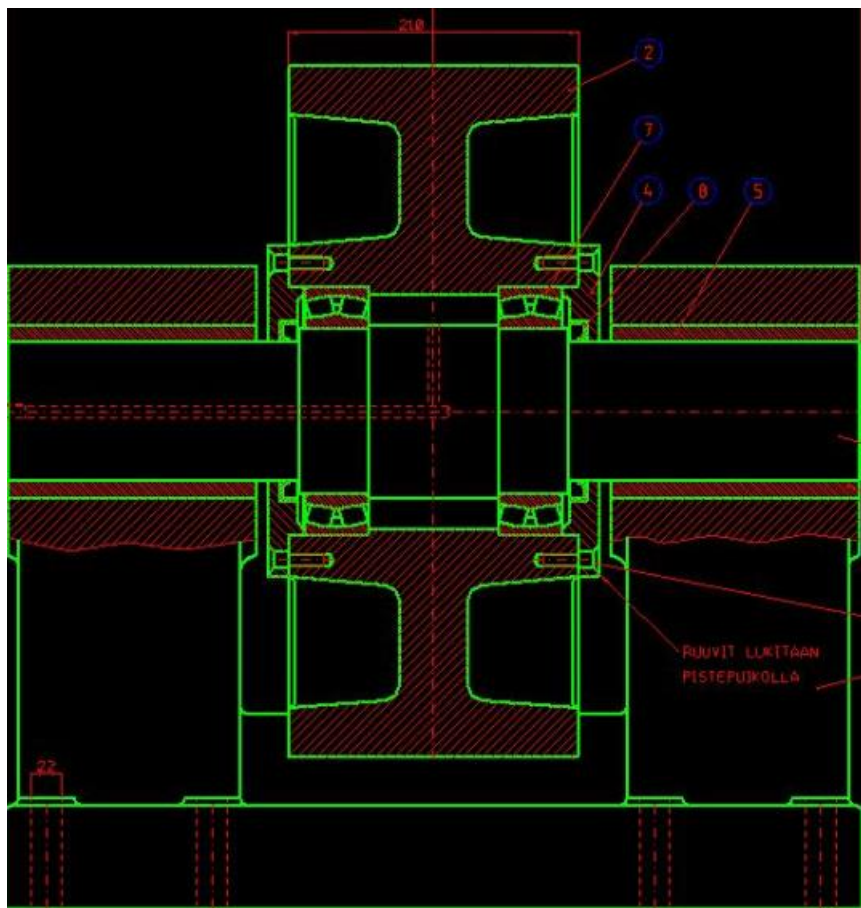
Seuraavassa on tarkasteltu kantopyörän laakerivaurion seuranta (kuvat 48–56).



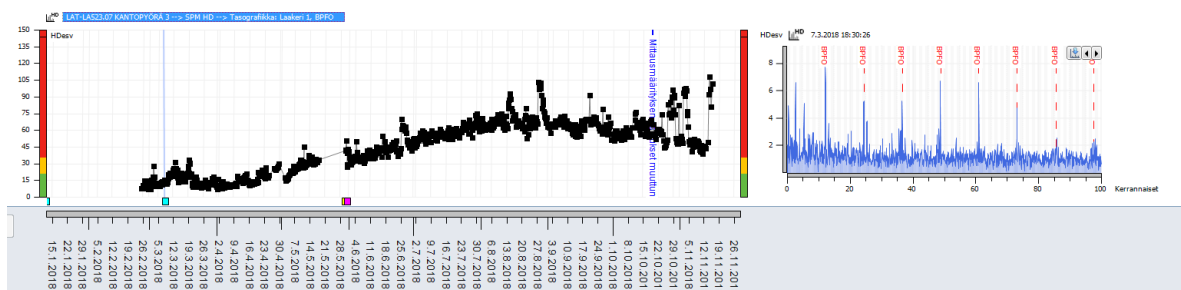
KUVA 48. Pinnoitusrummun kunnonvalvontamittauspisteet Online (Turunen 2018-11.)



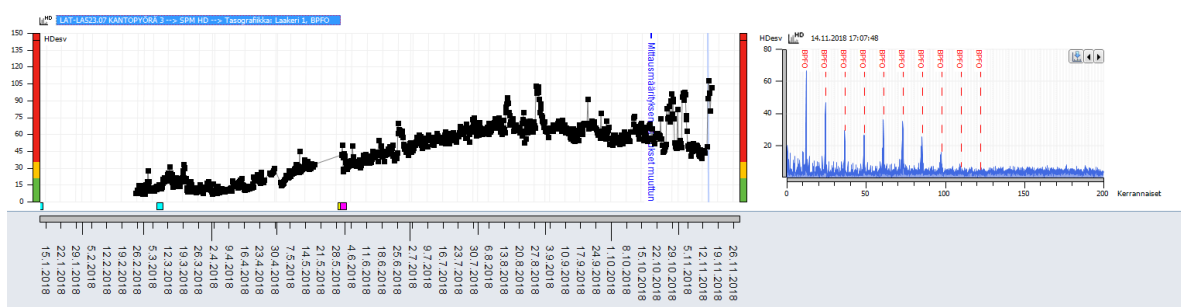
KUVA 49. Kantopyörä 3 anturoituna Spm duoTech (Turunen 2018-11.)



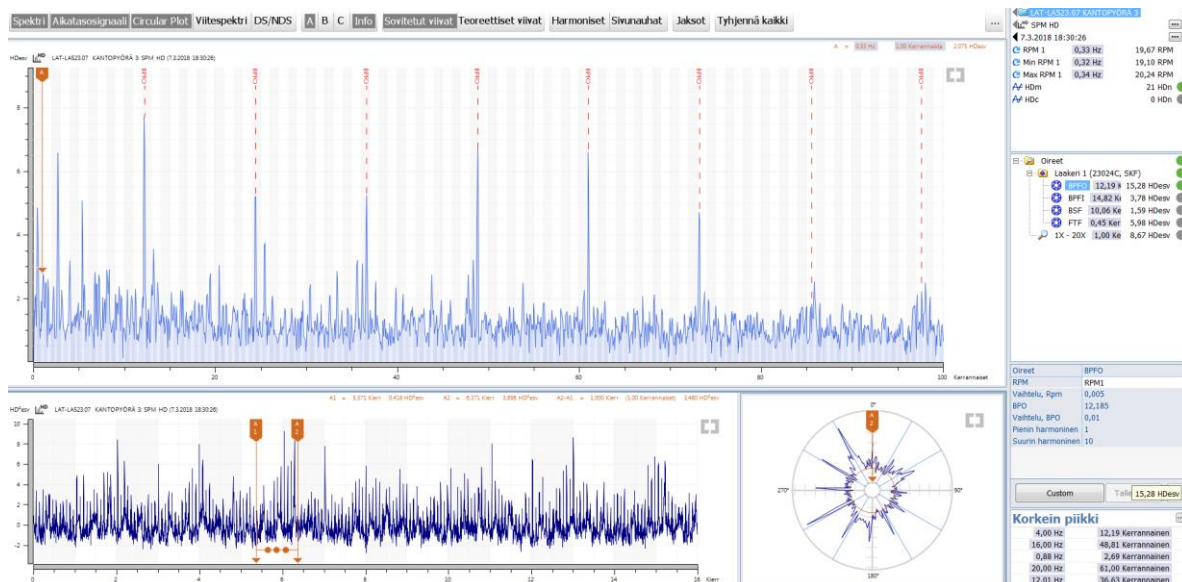
KUVA 50. Kantopyörän mittapiirros (Turunen 2018-11.)



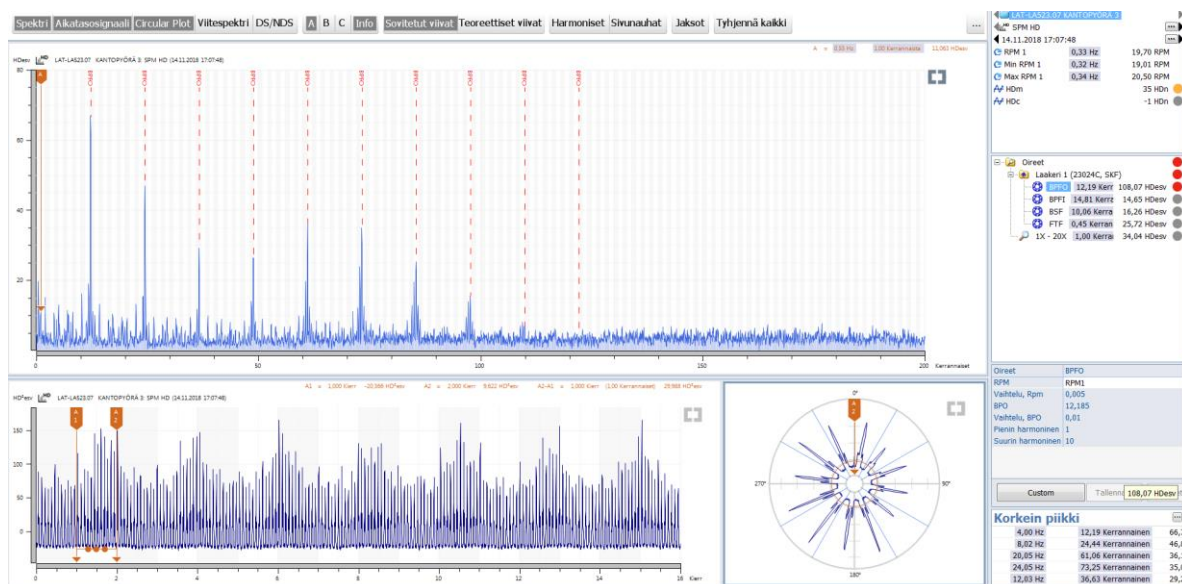
Kuva 51. SPM HD:n ensimmäinen ilmoitus laakerin ulkokehän vauriosta, trendi ja spektri 7.3.2018 (Turunen 2018-11.)



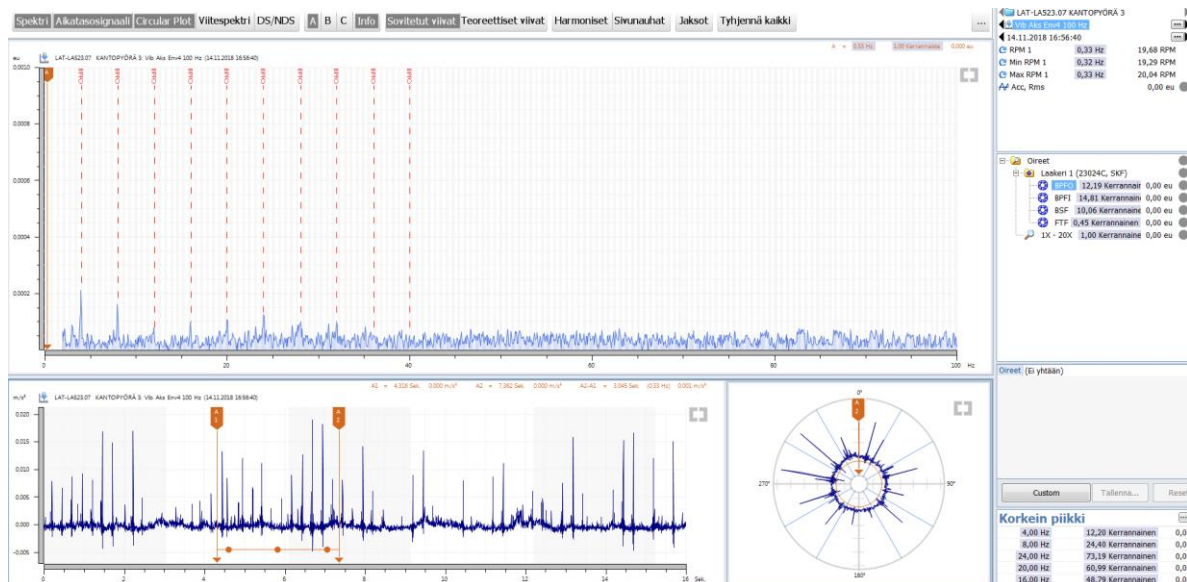
KUVA 52. SPM HD:n voimakkaat laakerin ulkokehän ohitustaajuudet, trendi ja spektri 14.11.2018 (Turunen 2018-11.)



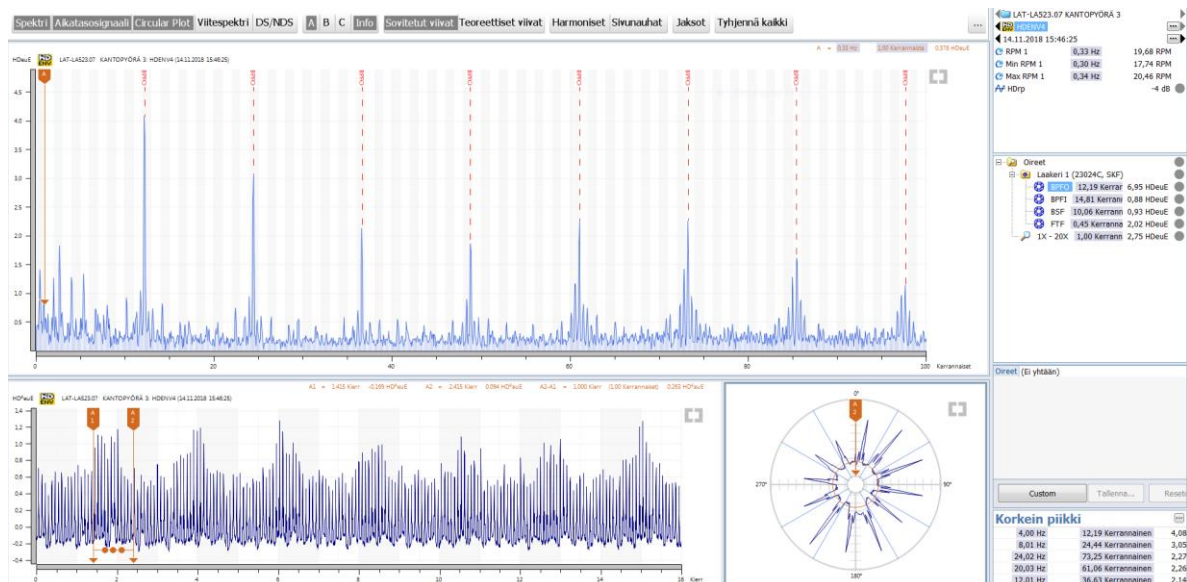
KUVA 53. Spm Hd:n spektri, aikataso ja circular plot 7.3.2018 (Turunen 2018-11.)



KUVA 54. Spm Hd:n spektri, aikataso ja circular plot 14.11.2018 (Turunen 2018-11.)



KUVA 55. Värähtely envelope 4 filterin (5000–40000 Hz) spektri, aikataso ja circular plot 14.11.2018 (Turunen 2018-11.)



KUVA 56. Spm HDENV 4 filterin (5000–40000 Hz) spektri, aikataso ja circular plot 14.11.2018 (Turunen 2018-11.)

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena oli tuoda esille tapauksia, joita on saatu selville kantopyörien alkaessa vikaantua. Työssä oli käytössä kiinteä kunnonvalvontajärjestelmä (Spm), jolla oli tarkoitus tuottaa riittävä määrä mittaussignaalista hyvälaatuisia mittaustuloksia, jotta kantopyörien ja niiden laakerointien oireet voidaan saada näkyville mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Vikaantumiset etenevät maltillisesti hitaasti pyörivissä kantopyörissä. Matalat kierrosnopeudet tuovat haasteita värähtelysignaalille.

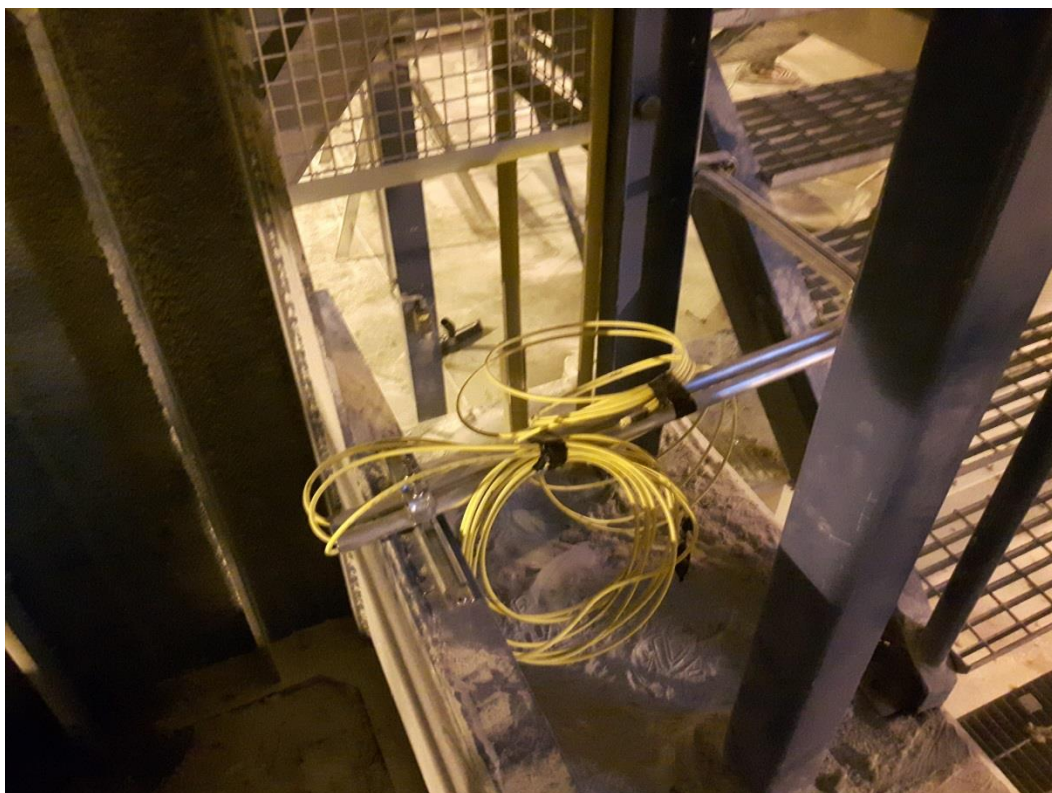
Saavutettuihin tuloksiin perustuvia tapauksia esiteltiin viisi. Kuvissa 30-42 on esitelty tapauksien mittaustuloksia ja valokuvia kohteista. Monissa tuotantorunmuissa oli näkyvissä alkavia laakerivikoja, mutta vauriokehitystä seurataan päivä- ja viikkotasolla, joten ne eivät aiheuta vielä toimenpiteitä. Mittaavan kunnossapidon yksi olennaisin merkitys on auttaa tuotantoa seisokisuunnittelussa. Opinnäytetyöni on hyvä esimerkki siitä, kuinka oikealla mittausjärjestelmällä voidaan havaita vikaantumiset ajoissa.

10 KUNNONVALVONNAN ASENNUSVALOKUVAT

Seuraavassa on esitelty valokuvin kunnonvalvonnan asennus (kuvat 57–67).



KUVA 57. Mittauskaapeleiden suojausputket (Turunen 2018-03.)



KUVA 58. Mittauskaapelit kunnonvalvontayksikölle (Turunen 2018-03.)



KUVA 59. Mittauskaapeleiden veto mittayksikölle (Turunen 2018-03.)



KUVA 60. Mittauskaapelit suojausputkessa (Turunen 2018-03.)



KUVA 61. Mittauskaapelit suojaputkessa (Turunen 2018-03.)



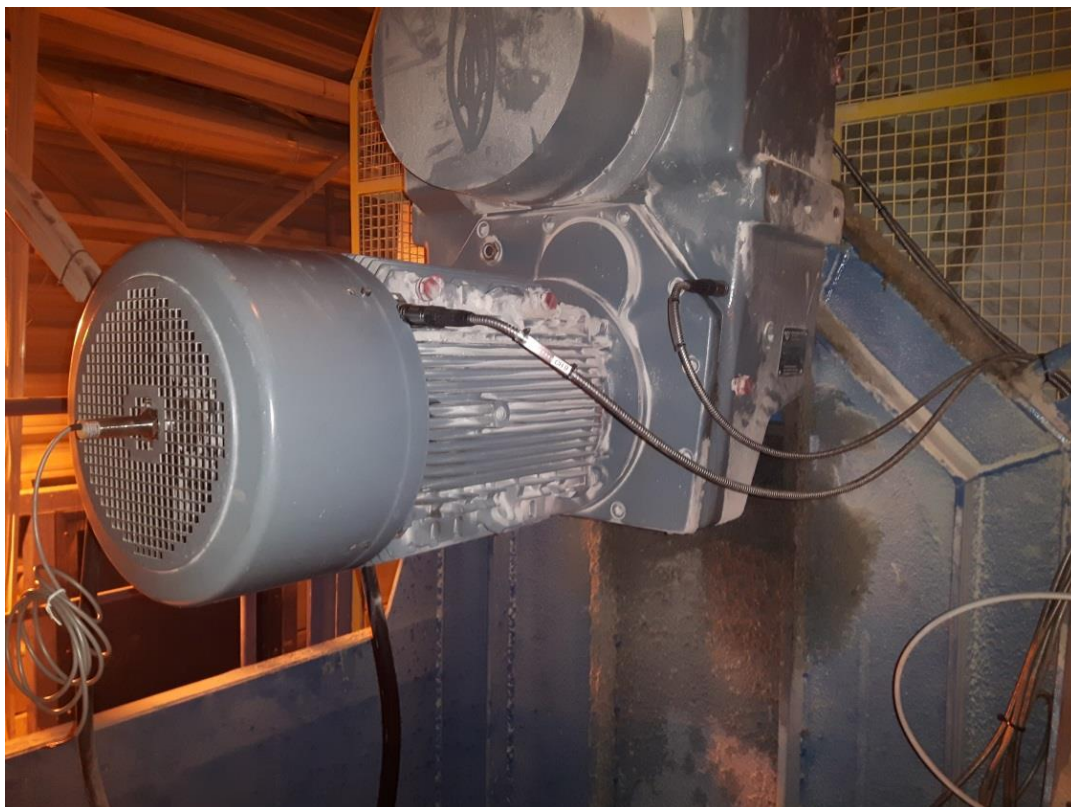
KUVA 62. Mittauskaapelit kaapelihyllylle "kammattuna" (Turunen 2018-03.)



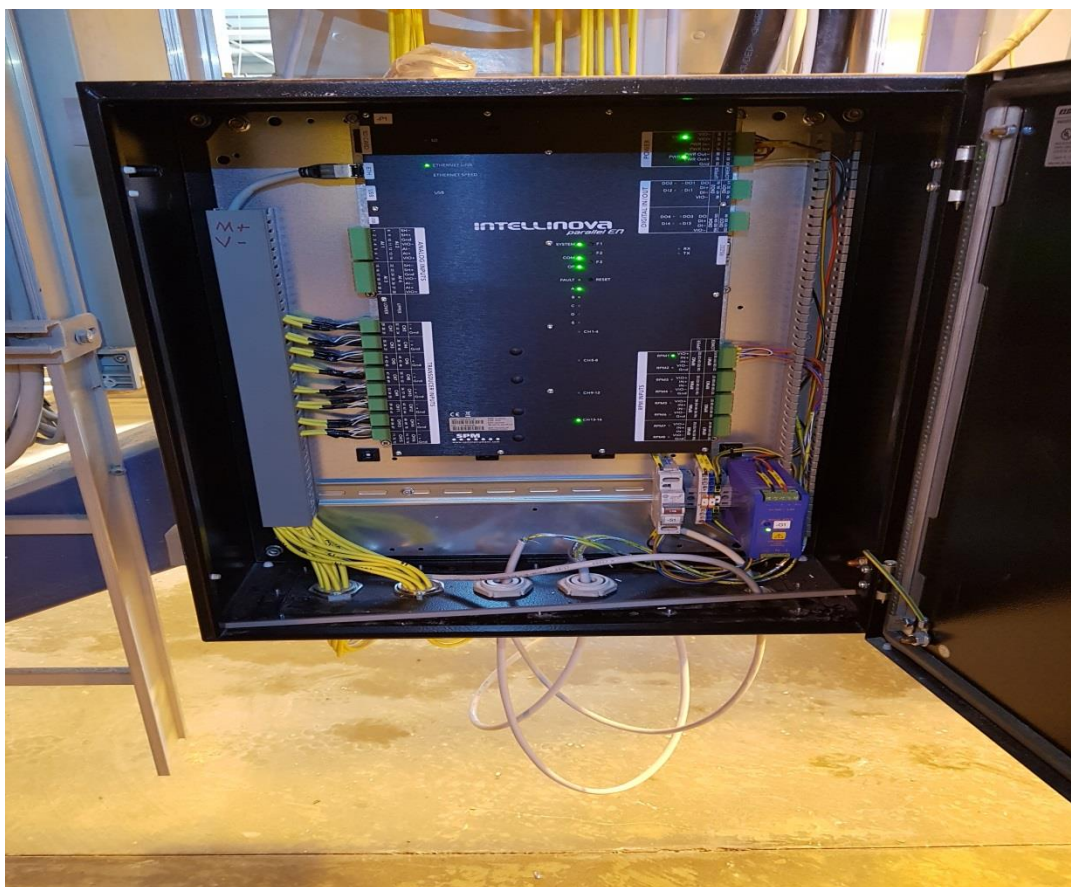
KUVA 63. Spm DuoTech -anturi haitarisoojaputkessa (Turunen 2018-03.)



KUVA 64. Päälaakeri ja vaihdelaatikon anturointi (Turunen 2018-03.)



KUVA 65. Moottori ja vaihde anturoituna (Turunen 2018-03.)



KUVA 66. SPM Intellinova Parallel EN -mittausjärjestelmä sisältä (Turunen 2018-03.)



KUVA 67. SPM Intellinova Parallel EN -mittausjärjestelmä (Turunen 2018-03.)

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Feeco International, ei pvm. Coating Drum for Ammonium Sulfate. [Nettijulkaisu]. Saatavissa: <http://go.feeco.com/acton/attachment/12345/f-0128/1/-/-/-/Coating-Drum-for-Ammonium-Sulfate.pdf>

Feeco International, ei pvm. Rotary drum. [Nettisivu] Agglomeration Drums vs Granulation Drums- What's the Difference? [Viitattu 11.9.2018] Saatavissa: <http://feeco.com/agglomeration-drums-granulation-drums-difference/>

Hukkamäki, Jukka ja Makkonen, Timo 2018. NPK-prosessikuvaus. [Yara SVI:n sisäinen materiaali]

Kiiski, Harri 2010. Lannoitteiden valmistus ja ominaisuudet. [Yara SVI:n sisäinen perehdytysmateriaali]

Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Käsitteet ja määritelmät. PSK 5701-7. Vahvistettu 2015-05-08. PSK Standardisointiyhdistys ry. 7. painos.

Kunnonvalvonnan värähtelymittaus 2012. Valvontamenetelmät. PSK 5706. Vahvistettu 2015. 4. painos. PSK Standardisointiyhdistys.

Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät 2011. Yleiset määrittelyt. PSK 6201. Vahvistettu 2011. PSK Standardisointi. 3. painos.

Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Käsikirja. 1. painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Maintenance 2010. SFS-EN 13306. Vahvistettu 2010. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys.

SPM Instrument 2017. [Koulutusmateriaalit, ei julkisia]

Stansteel 2018. Drums & Dryers. [Viitattu: 26.10.2018] Saatavissa: <https://stansteel.com/drums-dryers/>

Sweco 2009. Klasun prosessikuvaus. [Yaran sisäinen prosessikuvaus].

Turunen, Markku 2018. [valokuva]

Yara 2012. TOPS 2-01 Systematic maintenance. [Sisäinen dokumentti].

Yara International ASA 2018. Tietoa Yarasta. [Nettisivu] Yara Suomi. Toimipaikat. [Viitattu 14.11.2018] Saatavissa: <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/toimipaikat/>

Yara International ASA 2018. Tietoa Yarasta. [Nettisivu] Yara lyhyesti. [Viitattu 14.11.2018] Saatavissa: <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/>

Yara International ASA 2018. Tietoa Yarasta. [Nettisivu] Yara Suomi. [Viitattu 14.11.2018] Saatavissa: <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/>