

Petri Huhtala

RUORIPOTKURILAITTEEN LAAKEREIDEN
KUNNONVALVONTA

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
2023

RUORIPOTKURILAITTEEN LAAKEREIDEN KUNNONVALVONTA

Huhtala, Petri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Marraskuu 2023
Sivumäärä: 44
Liitteitä: 1

Asiasanat: kunnonvalvonta, värähtely, ruoripotkurilaite

Tämä opinnäytetyö tehtiin Rolls-Royce Oy Ab:n Rauman huolto-osastolle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia jo olemassa olevaa kunnonvalvontaa ja olla mukana kehittämässä uutta online kunnonvalvonta tekniikka.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käytiin läpi yleisiä kunnonvalvonnan tapoja, syitä kunnonvalvontaa ja sen tarpeellisuuten.

Tutkimuksen empiirisessä osassa käytiin läpi AQM-laitteen rakenne ja kuinka soveltaa värähtelytekniikkaan perustuvaa kunnonvalvontatekniikkaa AQM-laitteisiin.

Lisäksi työhöni kuului olla mukana asentamassa ensimmäisiä mitta-antureita AQM-laitteeseen.

Tutkimuksen perusteella AQM-laitteen kunnonvalvonta parani ja helpottui. AQM-laitteen käyttäjillä on hyviä kokemuksia uudesta kunnonvalvontatekniikassa. Värähtelytekniikkaan perustuvalla kunnonvalvonnalla säästytään ennen aikaisilta laakereiden vaihdolta sekä laitteiden käytettävyys paranee ja näin AQM-laitteen omistajat saavat huomattavia säästöjä.

Azimuth thruster bearings condition monitoring

Huhtala, Petri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical Engineering

Nov 2023

Number of pages: 44

Appendices: 1

Keywords: vibration, azimuth thrusters, maintenance

This thesis was produced for Rolls-Royce Ab's service department. The idea of the thesis was to examine the condition monitoring already existing, as well as, to take part into developing the new techniques of Online condition monitoring.

The theory part of this thesis examines the common methods used in condition monitoring, it's causes and necessity. The empiric part focuses on the structure of AQM device, as well as it examines the implementation of vibration technology based condition monitoring into AQM devices. Important part of my work was to take part into installing the first operative sensors into AQM devices.

This thesis illustrates improvement in condition monitoring of AQM device; AQM device users have expressed positive experiences using the new techniques of condition monitoring. Using vibration technology in condition monitoring can evoke far longer endurance for bearings, as well as increased usability of devices used, thus enabling significant economical advantages to AQM device users.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	HISTORIA	6
3	RAUMAN YKSIKKÖ – TUOTTEET JA LIKETOIMINTA	8
4	KUNNONVALVONTA	10
5	ÖLJYANALYYSIT	11
5.1	Öljyn perusominaisuudet ja käyttökohteet.....	11
5.2	Viskositeetti	11
5.3	Viskositeetti-indeksi (V.I).....	12
5.4	Öljyn vanheneminen	12
5.5	Öljyn hapettuminen.....	12
5.6	Vesi öljyssä	13
5.7	Liuennut vesi.....	13
5.8	Vapaa vesi / Emulsio	13
5.9	Kosteuden mittaaminen.....	14
5.10	Lika partikkelit.....	14
5.11	Lämpökamera	15
6	VÄRÄHTELY.....	16
6.1	Värähtelyn suureet	17
6.2	Värähtelysuureen valinta	17
7	ANTURIT	18
7.1	Kiihtyvyyssanturi	18
7.2	Nopeusanturi	20
7.3	Siirtymäanturi	22
7.4	Anturin kiinnitys	23
7.4.1	Vaarnaruuvikiinnitys	23
7.4.2	Kiinnityslaitteet (nipat).....	24
7.4.3	Liimaus	24
7.4.4	Magneettikiinnitys.....	24
7.4.5	Koetinpuikon käyttö	25
7.4.6	Anturin soveltuvuus mittauksiin.....	25
8	MITTAUSPAIKAN VALINTA	25
9	VÄRÄHTELYVALVONNAN SUORITUS	28
9.1	Tunnuslukuvalvonta.....	28
9.2	Aikatasovalvonta.....	28
9.3	Spektrivalvonta	31
9.4	Verhokäyrävalvonta.....	33

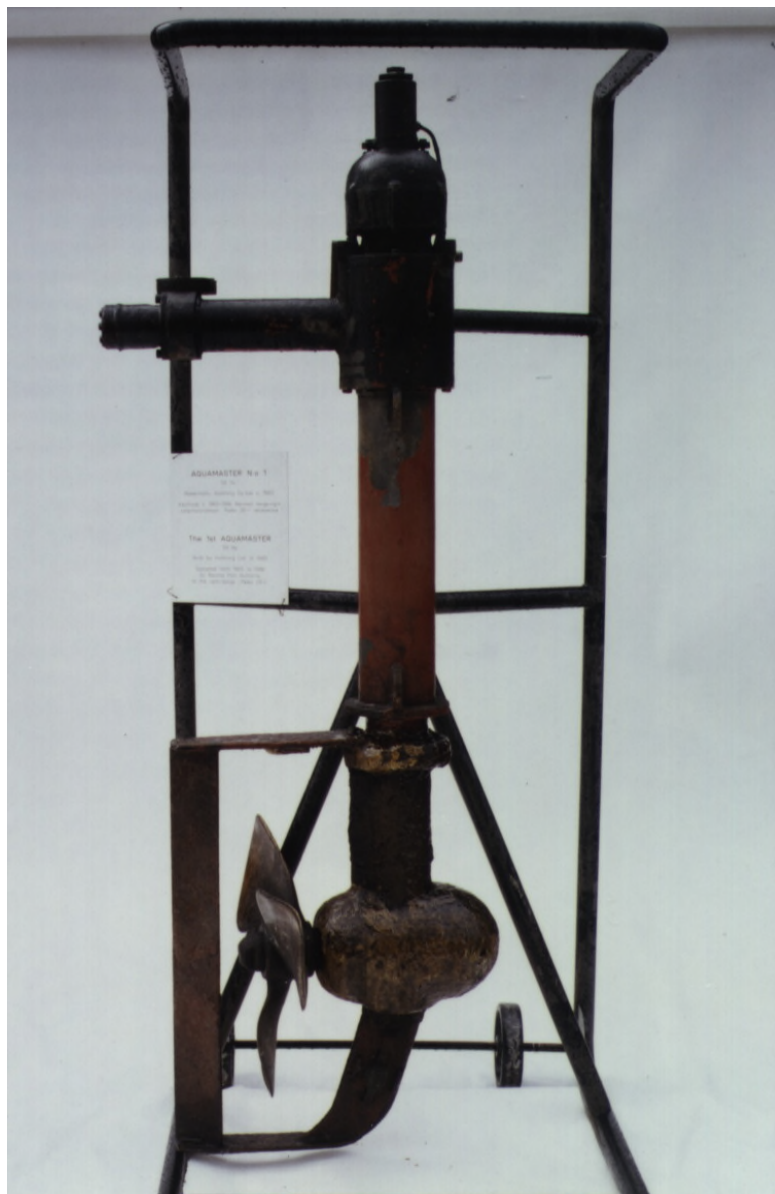
9.5	Kepstrivalvonta.....	33
9.6	Vektorivalvonta.....	34
10	RUORIPOTKURILAITTEEN KUVAUS	34
10.1	Kunnonvalvonta ruoripotkurilaitteissa.....	41
10.2	Ruoripotkurilaitteiden laakereiden kunnonvalvonta värähtelymittauksella	41
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Kunnossapidon rooli on merkittävästi kasvanut. Voimalaitoksissa värähtelymittauksella tehtävää kunnonvalvontaa on harjoitettu jo vuosikymmeniä, mutta ruoripotkurilaitteisiin tätä sovellusta ei ole aikaisemmin ollut. Tämän insinööriyön aiheena oli tutkia värähtelymittauksella tehtävää kunnonvalvontaa ruoripotkulaiteissa. Työ tehtiin Rolls-Royce Oy Ab:n huolto-osastolle.

2 HISTORIA

Yrityksellä on pitkä ja maineikas historia meriteollisuuden parissa. Yhtiö on läpikäynyt myös useita omistajavaihdoksia vuosien saatossa. Rolls- Royce Oy Ab:n historia pähkinänkuoressa: 1940- luvulla valmistettiin ensimmäiset RAUMA-vintturit. Vuonna 1965 valmistui ensimmäinen AQUAMASTER- potkurilaitte. (Rolls-Royce Oy Ab 02/2007)



Kuva 1 ensimmäinen AQM- ruoripotkurilaite (Rolls-Royce Oy Ab)

Vuonna 1988 perustettiin Aquamaster- Rauma Oy yhdistämällä silloisen Hollming Oy:n Aquamaster- konepajan ja Rauma- Repolan kansikonetehtaan toiminnot (nykyisin Aker Finnyards). Huhtikuussa vuonna 1995 englantilainen pörssi-yhtiö Vickers P.L.C osti Aquamaster- Rauma Oy:n. Tämä johti kiinteään yhteistyöhön ruotsalaisen potkurilaitevalmistajan Kamewa Ab:n kanssa. Vuoden 1998 alussa nimi muuttuu Kamewa Finland Oy:ksi. Vuoden 1999 keväällä Vickers plc osti norjalaisen kilpailijan Ulsteinin, jolloin syntyi Vickers Ulstein Marine Systems (VUMS), jonka tuotevalikoimaan kuuluivat tuotteemme mukaan lukien kulkukoneistot, paikannus- ja

vakautusjärjestelmät, kansikoneet sekä laivojen suunnittelu. (Rolls-Royce Oy Ab 02/2007)

Marraskuussa 1999 koko Vickers konserni, VUMS mukaan lukien siirtyi englantilaisen Rolls- Roycen omistukseen. Maailmankuulu Rolls- Royce tunnetaan nykyisin ennen kaikkea kaasuturbiinimoottoreistaan, joihin luotetaan sekä maalla, merellä että ilmassa. VUMS- kaupan kautta Rolls- Royce vahvisti asemaansa maailmanlaajuisesti merialan tuotteiden valmistajana. 17.7.2000 alkaen yrityksen nimi on ollut Rolls- Royce Oy Ab. Vuoden 2001 alussa fuusioitiin Kokkolassa vesisuihkuvetolaitteita valmistava FF- Jet Rolls- Royce Oy Ab:n. (Rolls-Royce Oy Ab 02/2007)

3 RAUMAN YKSIKKÖ – TUOTTEET JA LIIKETOIMINTA

Rauman yksikön tuotanto- ohjelmaan kuuluvat:

- Ulstein Aquamaster- potkurilaitteet
- Rauma Brattvaag- vintturit

Rauman yksikkö on maailman johtava 360° kääntyvien potkurilaitteiden valmistaja. Potkurilaitteiden pääasialliset sovellutuskohteet hinaajat, offshorehuolto- alukset ja maantielautat. Suurimmat Rauman yksikön valmistamat potkurilaitteet ovat Finnyardsin telakan rakentamissa monitoimimurtajissa ”Fennica” ja ”Nordica”. Kummassakin on kaksi kappaletta teholtaan 7500 kW:n potkurilaitetta (kuva 2), joiden korkeus on 10 m ja potkurinhalkaisija 4.2 m. Potkurilaitteiden markkinointi, myynti, suunnittelu ja tuotanto toimivat Raumalla. (Rolls-Royce Oy Ab 02/2007)



Kuva 2 ARC 1.0 – Ruoripotkurilaite (Rolls-Royce Oy)

Rauman yksikkö on myös johtava kiinnitys- ja ankkurointijärjestelmien valmistaja. Tuotevalikoimassa ovat sähkö- ja hydraulikäyttöiset ankkurointi- ja kiinnitysjärjestelmät, hinausjärjestelmät sekä offshore / ankkurinkäsittelylaitteet. Suurimmat toimitetut laitteet ovat vetovoimaltaan yli 630 tn. Pääasialliset sovellutuskohteet ovat tankkerit, matkustajalaivat, rahtilaivat. Markkinointi, myynti ja suunnittelu toimivat Raumalla, mutta kokoonpano Etelä- Koreassa ja Puolassa, osittain myös alihankintana Suomessa. (Rolls-Royce Oy Ab 02/2007)

Valmistettujen Aquamaster- ja Rauma tuotteiden yhteismäärä on 20.500 kpl vuoden 2006 loppuun mennessä. Vuoden 2008 oli EUR 430 milj. (ml. Kokkolan vesijetit). Viennin vuosittainen osuus keskimäärin 98 %. (Rolls-Royce Oy Ab 02/2009)

Myynnin jakauma alueellisesti vuonna 2009:

- Suomi 2 %

- Eurooppa 40 %
- Aasia 50 %
- Etelä- ja Pohjoisamerikka 8 %

4 KUNNONVALVONTA

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

Kunnonvalvonta on kasvava ala sekä Suomessa, että kansainvälisesti. Kunnonvalvontamittauksia on hyvällä menestyksellä tehty Suomessa laajemmalla mittakaavassa 1980-luvulta alkaen. Erityisesti paperiteollisuudessa on kunnonvalvonnan avulla saavutettu erittäin korkeat käyttöasteet. Kunnonvalvonta on selvästi osoittanut hyödyllisyytensä, jonka vuoksi sitä kaivataan yhä pienemmissä laitoksissa, joilla ei itse ole resursseja laitehankintoihin eikä mittausten tekemiseen. Toinen kunnonvalvonnan käyttöönottoa puoltava tekijä on se, että kun mittauksiin pystytään tulevat vauriot totetamaan jo hyvissä ajoin, voidaan ajoittain tehtävistä ”turhista” huolloista luopua. Tavoitteena on siis se, että koneista korjataan ainoastaan epäkuntoisiksi todetut osat. Kunnonvalvonta mielletään nykyisin kuuluvaksi olennaisena osana kunnossapitoon. (Opetushallitus)

5 ÖLJYANALYYSIT

Öljyä voidaan pitää yhtenä koneenosana, joten siitäkin tulee saada entistä enemmän irti. Tämä edellyttää öljyn säännöllistä kunnontarkkailua ja huoltotoimenpiteitä. Analyysimenetelmien kehittyminen antaa toiminnalle uusia mahdollisuuksia ja myös käytännön tulokset lisäävät kiinnostusta asiaa kohtaa. (Opetushallitus)

Voitelukyvyltään huonokuntoinen öljy aiheuttaa nopeasti mm. servo- ja proportionaalihydraulikoissa säätötarkkuuden menetyksiä sekä muissa voimansiirtoyksiköissä toimintahäiriöitä ja ennenaikaista kulumista. Öljyn käytön aikana öljyssä tapahtuu fysikaalisia ja kemiallisia muutoksia, joilla tarkoitetaan puhtauteen, viskositeettiin tai vesipitoisuuteen vaikuttavia tapahtumia. Öljyyn tulee myös laitteistosta kulumahiukkasia ja järjestelmästä tai sen ulkopuolelta vettä ja muita epäpuhtauksia. Öljyjen kunnonvalvonta on näiden ominaisuuksien seuranta ja siihen reagoimista. Seuranta tapahtuu tekemällä analyysejä esim. online-laitteilla ja laboratoriotutkimusten avulla. (Opetushallitus)

5.1 Öljyn perusominaisuudet ja käyttökohteet

Öljyjen perusominaisuuksiksi voidaan lukea ne määritykset, joita yleisimmin käytetään kunnonvalvonnassa öljyalaadusta ja käyttökohteesta riippumatta. Näistä määrityksistä mainittakoon yleisimmät analyysimääritykset; ulkonäkö, viskositeetti (SAE), happoluku (TAN) ja kiintoainepitoisuus. Näiden perusteella jo usein pystytään pääättelemään käyttökelpoisuus ja tarvittavien lisäanalyysien tarve. (Opetushallitus)

5.2 Viskositeetti

Viskositeetti (Liite 1) on niitä perusominaisuuksia, jotka varmentavat öljyalaadun ja on öljyn käytettävyyden kannalta aina tutkittava. Hapettuminen ja runsaat epäpuhtaudet saattavat nostaa viskositeettia. Öljyn molekyyli rakenne muuttuu hapen reagoidessa öljyn kanssa ja tämä nostaa viskositeettia. Viskositeetin noustessa öljy muuttuu paksummaksi ja tämä voi aiheuttaa suodattimien tukkeutumisen. Viskositeetin lasku voi johtua lisäaineistetun öljyn polymeerin leikkautumisesta tai vieraasta öljystä tutkittavan öljyn seassa. (Teboil Oy)

5.3 Viskositeetti-indeksi (V.I)

Lämpötila on aina mainittava ilmastaessa viskositeettia millä tahansa yksiköllä. Kaikki öljyt ohenevat voimakkaasti lämpötilan kohotessa. Viskositeetti-indeksi määritetään 100°C ja 40°C lämpötilassa mitattujen viskositeettien perusteella. Viskositeetti-indeksillä kuvataan nesteen taipumusta ohentua lämpötilan kohotessa. Mitä voimakkaammin neste ohenee, sitä pienempi on viskositeetti-indeksi. Viskositeetti-indeksi kertoo myös öljyn viskositeetin lämpötilariippuvuudesta siten, että mitä suurempi indeksi (VI 70...300) sen vähemmän öljyn viskositeetti laskee lämpötilan kohotessa. Tyypillinen moottoriöljy SAE 10W:n viskositeetti -20°C lämpötilassa voi olla 2000senttipoisia (cP), mutta jos se lämpenee +100°C lämpötilaan, viskositeetti on enään 5,2senttistokia (cSt). Kierro- ja vaihteistoöljyjen viskositeetti-indeksit ovat tyypillisesti 90 - 110 välillä. (Teboil Oy, Neste Oil Oy)

5.4 Öljyn vanheneminen

Öljyn vanheneminen kiertovoiteluöljy hajoaa kemiallisesti ajan myötä hapettumisen vuoksi. Öljyn ominaisuudet, läsnä oleva happi sekä katalyytit ja lämpötilat, joille öljy altistuu vaikuttavat hajoamisnopeuteen. Voitelujärjestelmissä happi on aina läsnä ja järjestelmän koneista tulleet metallihiukkaset sekä vesi katalysoivat öljyn hapettumisprosessia eli kemiallista hajoamista. Hapettumisreaktiot ovat tasapainoreaktioita, jolloin hajoamisnopeuteen vaikuttaa enemmän aktiivinen vesi eikä niinkään absoluuttinen vesipitoisuus. Korkeat lämpötilat ja mekaaniset rasitukset esimerkiksi laakereissa vielä kiihdyttävät öljyn vanhenemistä. (Teollisuus nyt 3/2006, Neste Oil Oy)

5.5 Öljyn hapettuminen

Öljyn hapettuminen on kemiallinen reaktion hapen kanssa. Petrokemian tuotteissa hapettuminen synnyttää happoja, saostumia ja muita hartsia vastaavia yhdisteitä. Hapettuminen kiihtyy korkeissa lämpötiloissa ja katalysaattoreiden ollessa lähellä. Katalysaattoreina voivat toimia esim. katalyyttisesti vaikuttavat metallit kuten kupari jne. tai runsa ympäristön happamuus. Vesi aiheuttaa myös öljyn hapettumista varsinkin kavitaatiotilanteissa höyrykuplien luhistumisen seurauksena syntyvien korkeiden

lämpötilojen vuoksi. Lämpötila voi olla jopa 1100°C. Neutralointiluku (TAN) nousee voimakkaasti käyttötuntimäärän kasvaessa. Mitä korkeampi vesipitoisuus on, sitä voimakkaammin hapettuminen kiihtyy. TAN-arvon nousu kuvaa hapettumisen seurauksena syntyvien karbosyylihappojen määrän kasvua. Mitä suurempi TAN-arvo on, sitä enemmän KOH tarvitaan neutraloimaan öljy. Hapettumisen seurauksena syntyvät karbosyylihapot heikentävät öljyn korroosionestokykyä. Ne voivat myös aiheuttaa sinkkikatoa runsassinkkisissä (>15%) messingeissä. (Neste Oil Oy, Opetushallitus)

5.6 Vesi öljyssä

Vesi voi esiintyä öljyssä kolmessa eri muodossa riippuen kyseessä olevan öljyn kemiallisista ominaisuuksista ja vesipitoisuudesta. Nämä veden olomuodot öljyssä ovat liuennut vesi, vapaa vesi ja emulsio. Tämä pätee sekä mineraalipohjaisiin että täyssynteettisiin öljyihin. Jokaisella öljyllä on sille ominainen kyllästyspiste vesipitoisuuden suhteen (saturaatio), jota suurempi vesimäärä erkaantuu joko vapaaksi vedeksi tai muodostaa vesiöljyemulsion. (Teollisuus nyt 3/2006)

5.7 Liuennut vesi

Lämpötila vaikuttaa veden liukoisuuteen öljyssä lähes aina eksponentiaalisesti. Kuuma öljy pystyy liuottamaan suuremman määrän vettä kuin kylmä öljy. Mitä kuumempaa öljy on sitä suurempi on veden absorptio ympäröivästä ilmasta samoissa ilman kosteusolosuhteissa. Tämä pitäisi huomioida järjestelmäsuunnittelussa, koska ilmasta peräisin oleva kosteuskontaminaatio on yksi yleisimpiä veden lähteitä mm. kiertovoitelujärjestelmissä. (Teollisuus nyt 3/2006)

5.8 Vapaa vesi / Emulsio

Vesipitoisuuden ylittäessä kyseisen öljyn kyllästyspisteen (saturaation) vesi erkaantuu vapaaksi vedeksi ja muodostuu kaksi faasia: öljy ja vesi. Vapaata vettä pidetään yleisimpänä ongelmana erilaisissa öljyjärjestelmissä. Vesikorroosio- ja kavitaatiovauriot ovat usein seurauksia juuri vapaasta vedestä järjestelmässä. Voimakkaan sekoituksen vaikutuksesta tai pinta-aktiivisten aineiden (esim.

emulgointiaineet) läsnäollessa vesi voi muodostaa öljyn kanssa emulsion, jolloin öljy muuttuu kirkkaasta sameaksi. Emulsio on kahden toisiinsa liukenemattoman nestekomponentin seos, jossa toinen komponentti dispergoituu toiseen. Emulgointiaineiden ansiosta veden muodostamat hyvin pienet pisarat jakaantuvat tasaisesti öljyyn muodostaen emulsion. Emulgointiaineet ovat kemikaaleja, jotka ovat kemialliselta luonteeltaan sekä hydrofiilisiä (=molekyylillä joka voi sitoa vettä) että hydrofobisia (=vettä hylkivä), joten ne liukenevat sekä veteen että öljyyn. Emulgointiaine muodostaa misellejä eli eräänlaisen kalvon vesipisaran pintaan ja tekee siitä ”öljyliukoisen”. Emulgointiaineita voidaan lisätä tarkoituksella tai jotkut muut lisäaineet voivat toimia emulgointiaineiden tavoin, vaikka ne olisivatkin lisätty öljyyn jossain muussa tarkoituksessa. (Teollisuus nyt 3/2006)

5.9 Kosteuden mittaus

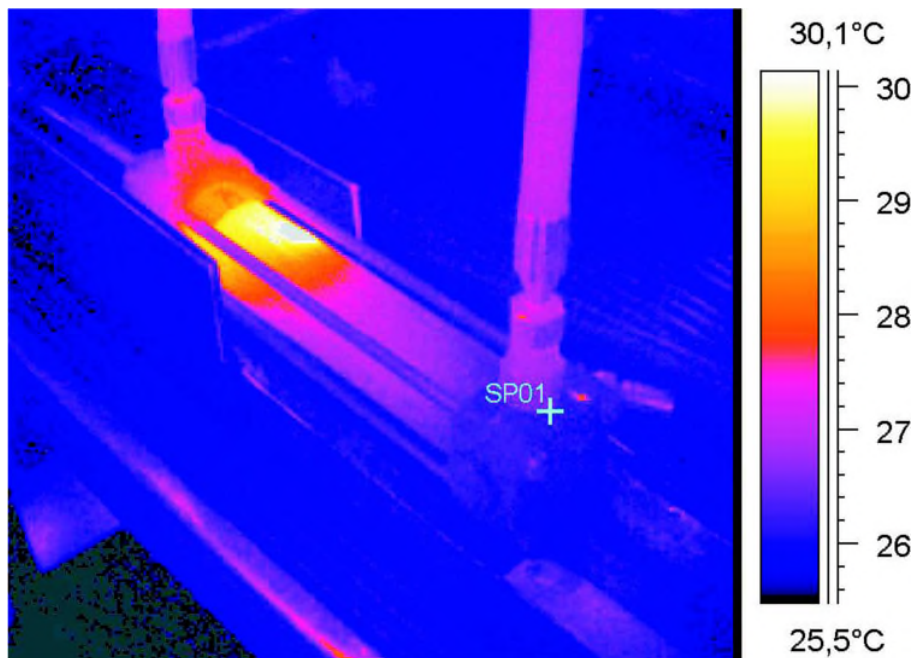
Perinteisesti öljyn kosteutta on mitattu Karl Fisher titrauksella (laboratoriomenetelmä näytteen kosteuden mittaamiseksi) ja tulokset esitetty ppm:inä (miljoonasosa), joka on näytteen kokonaisvesipitoisuus ottamatta kantaa onko vesi liuennutta tai vapaata. Koska öljytyypit ovat hyvin erilaisia keskenään ja niiden vanhenemisreaktioiden ennakoiminen vaikeaa, ppm-arvot eivät aina ole riittäviä kunnossapidossa. Silloin suhteelliset arvot kuten veden aktiivisuus (a_w) ovat käytännöllisiä parametrejä hälytysrajaksi ohjausjärjestelmään. (Teollisuus nyt 3/2006)

5.10 Lika partikkelit

Kiintoainepitoisuuden määrittäminen voidaan tehdä punnitsemalla kalvolle suodatettu epäpuhtaus. Pitoisuus ilmoitetaan painoprosenttina (p-%), joka lasketaan suodatimeen jääneen kiintoaineen suhteesta sen läpäisemään öljymäärään. Tyypillisenä maksimiarvona vaihteisto- ja kiertovoiteluöljyille pidetään 0,1...0,3 painoprosenttia. Hydraulijärjestelmissä tyypilliset arvot ovat alle 0,005 p-%. Hiukkasia voidaan tarkastella kalvolta myös mikroskoopilla alkuperän selvittämiseksi ja suorittaa samalla manuaalista hiukkaslaskentaa. (Opetushallitus)

5.11 Lämpökamera

Lämpökamera on saavuttanut yhä suurempaa suosiota ainetta rikkomattomana testausmenetelmänä eli NDT-menetelmänä monissa eri sovelluksissa. Aluksi on hyvä selvittää jonkin verran kameran toimintaperiaatteita. Jokainen kohde tai kappale tässä maailmankaikkeudessa, jonka lämpötila on yli absoluuttisennollapsteen (-273°C), lähettää lämpö- eli infrapunasäteilyä. Lämpökamera vastaanottaa tämän lämpösäteilyn, mittaa sen voimakkuuden ja muuntaa sen lämpötila ja kauman mukaan kuvaksi. Kuvaa voidaan tarkastella tavallisella videonäytöllä tai kameran omalla etsimellä reaaliajassa värillisenä. Kamera pystyy erottamaan 0,1 celsiusasteen erot. Hydrauliikan kunnossapito helpottuu lämpökameran avulla. Kuvassa on viallinen hydraulisylinteri, jonka mäntä vuotaa kuvan valkoisesta pisteestä. Öljysuihku viallisesta kohdasta aiheuttaa lämmön nousua. Normaali öljyn virtaus toki lämmittää sylintereitä ja syöttöputkia, mutta koska lämpökameran avulla voidaan määrittää lämpötilaerot vierekkäisten sylintereiden välillä, on helppo päätellä, mikä sylinteri kannattaa huoltaa seuraavassa seisokissa. (Opetushallitus)



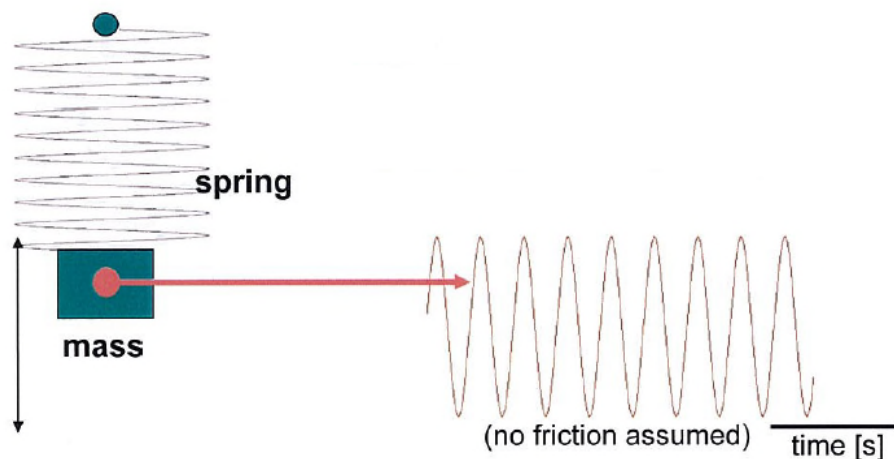
Kuva 3 Viallinen hydraulisylinteri (Opetushallitus)

6 VÄRÄHTELY

Mekaaninen värähtely on rakenteen, koneen tai koneen osan liikettä tietyn tasapainoaseman ympärillä. Jotta värähtely jatkuisi, se tarvitsee jatkuvasti suuntaansa tai suuruuttaan vaihtavan voiman, joten kappaleeseen kohdistuva vakiovoima ei pysty aiheuttamaan värähtelyä. Vakiokuorman äkillinen poistuminen saattaa aiheuttaa lyhytaikaisia ja vaarallisia värähtelyongelmia.

Kunnonvalvonnassa värähtely tehdään pääasiassa kahdesta syystä. Tutkimalla oikein pyörivistä koneista mitattavaa värähtelyä voidaan luotettavasti arvioida eri koneenosien kuntoa sekä värähtelyjen vaikutukset koneisiin, rakenteisiin ja tuotantoprosesseihin ovat pääsääntöisesti haitallisia. Tämä ilmenee mm. lisääntyneinä jännityksinä, rakenteiden väsymismurtumina, liitosten löystymisenä, käyttöiän alenemisenä, lopputuotteet laadun heikkenemisenä, käynnin epävarmuutena, energiahäviönä, meluna ja muuna ergonomisena häiriönä muille koneille lähistölle. Värähtely voidaan käyttää hyväksi joissakin erikoisissa koneissa kuten tiivistimissä, seuloissa ja kuljettimissa.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)



Kuva 4 Harmoninen värähtely yksinkertaistettuna (Rolls-Royce Oy)

6.1 Värähtelyn suuret

Koneiden värähtelyä mitataan siirtymänä, nopeutena ja kiihtyvyytenä. Värähtelysuureita voidaan derivoida ja integroida, jotta saadaan muutettua yksi näistä mittasuureista toiseksi, esim. kiihtyvyyssignaali nopeussignaaliksi ja niin voidaan saada aikaan myös kokonaan uusia suureita kuten kiihtyvyyden derivaatat.

Siirtymä ilmaisee kohteen sijainnin suhteessa vertailupisteeseen. Nopeus ilmaisee kappaleen kulkeman siirtymän tietyn ajanhetken kuluessa. Kiihtyvyys ilmaisee taas kappaleen nopeuden muutoksen tietyn ajanhetken kuluessa.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

6.2 Värähtelysuureen valinta

Mitattavan värähtelysuureen tulisi olla sellainen, että se on riittävän herkkä havaitsemaan koneen kunnon muutoksen aiheuttamat värähtelyt. Jos mitattavasta kohteesta oletetaan tulevan värähtelyä sekä matalilla, että korkeilla taajuuksilla, voidaan mittauksen luotettavuutta eri vikojen löytymisen suhteen parantaa käyttämällä eri mittaussuureita samassa pisteessä.

Yleensä värähtelymittauksena käytetään nopeutta. Syynä tähän on mittaussuureen melko hyvä herkkyys laajalla taajuusalueella. Myöskin värähtelyn sisältämä energiamäärä on lähes verrannollinen värähtelyn nopeuteen, mikä puoltaa tämän suureen käyttöä. Monet standardit ja normit käyttävät värähtelyn nopeusarvoja kuvaamaan sallittuja ja ei-sallittuja värähtelyarvoja.

Hidaskäyntisen koneen mitattava järkevin siirtymän mittasuure voi olla alle 300 RPM ja jos oletettavat viat ilmenevät matalilla taajuuksilla (alle 100 Hz) vaikka vain täydentämässä muuta mittausta. Tällaisia vikoja voivat olla mm. liukulaakeriviat, hihnaviat ja hitaasti pyörivien akselien linjausvirheet. Jos taas nopeakäyntisen koneen järkevin mittasuure on kiihtyvyys (yli 9000 RPM) tai oletettavat viat ilmenevät korkeilla taajuuksilla (yli 1000 Hz). Tällaisia saattavat olla mm. laakeriviat, hammasviat vaihteistossa ja tietyt sähkömoottoriviat.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

7 ANTURIT

Yleisempiä antureita ovat nopeus,- kiihtyvyys ja siirtymäanturit. Antureita on erilaisia ja niillä mitataan erilaisia suureita, kuten nopeutta ja kiihtyvyyttä.

7.1 Kiihtyvyyssanturi

Kiihtyvyyssantureita on hyvin erikokoisia; pienimmät ovat nuppineulan nuppia pienempiä ja suurimmat nyrkin kokoisia. Yleensä kiihtyvyyssanturit ovat kuitenkin hyvin pieniä. Kiihtyvyyssantureissa ei ole liikkuvia osia, joten sen mittatarkkuus ei yleensä heikkene käytössä.

Monimutkaisesta rakenteestaan huolimatta, kiihtyvyyssanturin toimintaperiaate on yksinkertainen. Keskeinen komponentti on pietsosähköinen kide, jonka kiinnityselementit kiinnittävät anturikuoreen, ja jonka päälle tai sivuille on asennettu massa. Kun anturi on kiinni kohteessa, tämä massa puristaa kidettä, johon syntyy anturin kiihtyvyyteen verrannollinen varaus. Varaus johdetaan anturin sisäiseen tai ulkoiseen varausvahvistimeen, jossa se muunnetaan jännitteeksi, jolloin muodostuu anturista saatava mittaussignaali.

Kiihtyvyyssanturit kiinnitetään mitattavaan kohteeseen tavallisimmin magneetilla, ruuvilla tai käsin painamalla ja joissakin kohteissa myös mehiläisvahalla. Mittausalue on tyypillisesti 2 Hz- 5000 Hz, mutta kiinnitystapa ja anturin ominaisuudet vaikuttavat huomattavasti ylä- ja alarajataajuuksiin. Jos anturi kiinnitetään kohteeseen käsin painamalla, on ylärajataajuus noin 600 Hz. Magneetikiinnityksen ylin käytettävä taajuus, riippuen pinnan tasaisuudesta ja magneetin voimakkuudesta, on 80- 4000 Hz. Sopivalla anturilla ja riittävän kireällä ruuvikiinnityksellä on kuitenkin mahdollista mitata taajuuksia jopa yli 20 000 Hz. Mittayksikköinä käytetään m/s^2 tai g.

Kiihtyvyyssanturin hyviä puolia ovat:

- pieni koko
- kevyt rakenne
- melko edullinen
- laaja taajuusalue

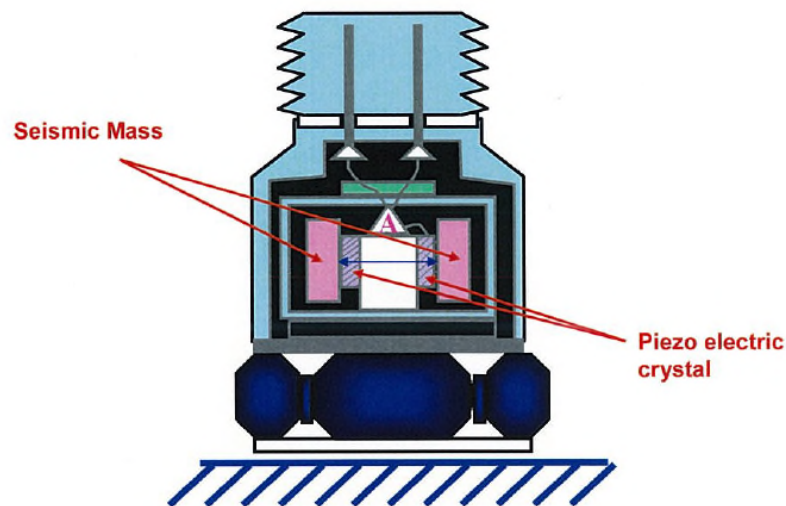
- jatkuva kehitys, uusia malleja tulee koko ajan

Huonoja puolia:

- rakenne herkkä, voi vaurioitua
- signaali/häiriösuhde ei erityisen korkea
- korkeataajuinen osa signaalista voi hukuttaa matalataajuisten osan alle
- elektrostaattisen häiriöt voivat vaikuttaa tulokseen
- anturilla asettumisaika, 1s – 600 s, ennen kuin sillä voidaan mitata

Anturin asettumisaika johtuu kahdesta häiriöstä, jotka siihen voi tulla mittausta aloittaessa. Ensimmäinen häiriö tulee siirrettävään anturiin, kun se asetetaan kohteeseensa, jolloin anturiin kohdistuva isku lamauttaa pietsosähköisen kiteen joksikin aikaa. Anturin toipuminen riippuu anturin herkkyydestä ja iskun kovuudesta. Toinen häiriö syntyy kun anturiin kytketään jännite. Tämän häiriön kestoon vaikuttaa anturin vahvistimen rakenne ja mittausalueen alarajataajuus.

Kiihtyvyyssanturi on nykyään eniten käytetty anturi värähtelymittauksissa, mikä johtuu sen monipuolisuudesta (voidaan mitata sekä matalia että korkeita taajuuksia) sekä edullisesta hinnasta. Koska mittalaitteen elektroniikalla voidaan kiihtyvyyssignaali integroida nopeudeksi, samaa anturia on mahdollista käyttää sekä koneiden matalataajuisten, akselin pyörimisestä johtuvien vikojen havaitsemiseen, että korkeataajuisten esim. vierintälaakerien vikojen havaitsemiseen. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)



Kuva 5 Kiihtyvyyssanturi (Rolls-Royce Oy)

7.2 Nopeusanturi

Nopeusanturi on kooltaan hieman isompi kuin kiihtyvyyssanturi. Nopeusanturin kuoren sisällä on käämi ja sen sisällä anturin päätyihin jousilla kiinnitetty magneettinen massa. Kun anturi on kiinnitettyä mittaushetkeseensä ja rakenne värähtelee, seuraa jousitettu massa viiveellä anturikuoren liikkeitä. Massa aiheuttaa anturin käämiin anturin nopeuteen verrannollisen jännitteen, joka voidaan johtaa anturin ulkopuolelle mittaussignaalksi. Signaalia ei tarvitse muuntaa, jos nopeus on haluttu mittaussuure.

Nopeusanturit kiinnitetään yleensä ruuveilla tai magneetilla. Mittausalue on parhaimmillaan 5- 2000 Hz mutta alarajataajuuteen vaikuttaa anturin sisäinen resonanssi. Yläraja taajuutta ei saada juurikaan yli 2000 Hz ja senkin saavuttamiseksi täytyy anturin kiinnitystavan olla riittävän hyvä. Nopeuden mittayksikkönä käytetään mm/s.

Nopeusanturin häiriöalttius on kiihtyvyyssanturia suurempi. Se on herkkä sekä sähkömagneettisille kentille että lämpötilan vaihteluille. Anturin suuntaisuuskin voi vaikuttaa nopeusanturin toimintaan ja usein anturille ilmoitetaan, mitataan sillä pysty- vai vaakasuunnassa.

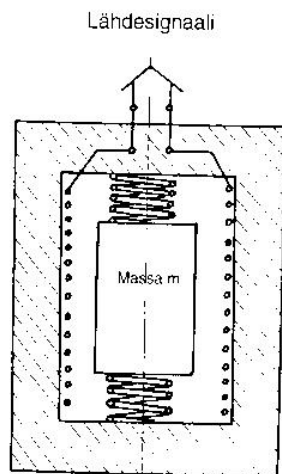
Nopeusanturin hyviä puolia ovat:

- mittaa värinänopeutta (käytetyin mittasuure kunnonvalvonnassa)
- ei vaadi ulkoista virtalähdettä
- erinomainen signaali/häiriösuhde
- herkkä
- helppo käyttää

Huonoja puolia.

- usein isokokoisia ja raskaita
- rajoitettu käyttölämpötila
- rajoitettu mittaustaajuus
- rakenne herkkä, voi vaurioitua
- sähkömagneettisten kenttien häiriöt
- anturin asento saattaa vaikuttaa mittaustulokseen

Nopeusanturien käyttö oli ennen paljon yleisempää. Kehitykseen on vaikuttanut erityisesti se, että kiihtyvyyssignaali pystytään mittalaitteissa muuttamaan helposti nopeussignaaliksi. Uusi menetelmä nopeusmittauksessa on laseria hyväksikäyttävä kosketukseton mittaus, jolla on mahdollista suorittaa mittauksia erittäin laajalta taajuuskaistalta (0- 20 kHz). Ongelmana on kuitenkin säteen takaisinheijastuminen ja värinämittausrähteläsin erittäin korkea hinta. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)



Kuva 6 Nopeusanturi

7.3 Siirtymäanturi

Tyypillinen siirtymäanturi on pyörrevirta-anturi, jolla mitataan läheltä, tavallisesti noin 2 mm päästä kiinnityskohdan ja mitattavan kohteen keskinäistä suhteellista liikettä. Tyypillisin sovellus on anturien käyttö liukulaakeroitujen koneiden kunnonvalvonnassa, jolloin anturit on kiinnitetty koneen laakerikuoreen ja ne mittaavat akselivärähtelyä.

Anturin toiminta perustuu siihen, että sen päässä oleva kela muodostaa magneettikentän, joka indusoi pyörrevirtoja kohtaamaansa ferromagneettiseen pintaan. Pyörrevirrat aiheuttavat oman muutoksensa anturin päässä olevan kelan jännitteeseen. Kun anturin ja pinnan välimatka muuttuu, tämä aiheuttaa muutoksia pinnan pyörrevirtoihin ja siten anturin päässä olevan kelan jännitteeseen. Signaali kertoo anturin ja mittauspisteen välisen etäisyyden.

Akselin värähtelyn lisäksi anturilla pystytään mittaamaan pinnanmuodon muutoksia (paperikoneiden puristintelat), asemaa (rajoittimet) ja akselin ratakäyriä. Sitä voidaan käyttää myös linjaustilan kunnonvalvonnassa. Konevalmistajilla oli aikaisemmin usein tapana antaa koneiden hälytysrajat siirtymän huippuarvona tai huipusta huippuun – arvona. Mittaukset tehtiin koskettavilla siirtymäantureilla, joita ei enää valmisteta merkittäviä määriä. Siirtymän mittayksikkö on μm .

Siirtymäanturin hyviä puolia ovat:

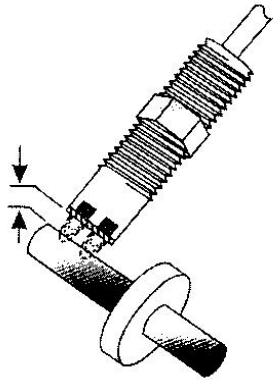
- pieni koko
- kevyt
- mittaa myös staattista etäisyyttä

Huonoja puolia

- mittaa suhteellista liikettä, jolloin tarvitaan vakaa kiinnityskohta
- vaatii ulkoisen virtalähteen
- erilaiset magneettiset ominaisuuden mitattavassa pinnassa muuttavat mittaustulosta
- hankala käyttää, jos sitä ei ole kiinteästi asennettu

Myös kiihtyvyy- ja nopeusantureita voidaan käyttää siirtymän mittaamiseen. Tällöin signaali on integroitava kahdesti (kiihtyvyyssanturi) tai kerran (nopeusanturi). Mittaussignaalin integrointi ohjelmallisesti eli muuttamatta varsinaista mittaussuuretta saattaa aiheuttaa vääristymiä erityisesti mittauksen matalataajuisen osaan.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)



Kuva 7 Siirtymäanturi

7.4 Anturin kiinnitys

Anturien kiinnitys valitaan mittausspaikan ja siellä valitsevan olosuhteiden mukaan. Rolls-Royce Oy Ab:n AQM- laiteissa käytetään vaarnaruuvikiinnitystä.

7.4.1 Vaarnaruuvikiinnitys

Anturit kiinnitetään vaarnaruuvilla kun halutaan mahdollisimman korkeisiin taajuuksiin saakka ulottuva mitta-alue. Tätä kiinnitystapaa ei juurikaan käytetä siirrettävillä antureilla, mutta tiettyihin sovelluskohtiin, kuten nopeakäyntisten vaihteistojen kunnonvalvonta, se on ainoa mahdollinen menetelmä. Kiinteästi asennettavat kiihtyvyyssanturit kiinnitetään lähes aina tällä menetelmällä.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

7.4.2 Kiinnityslaitteet (nipat)

Mittaustoimintaan standardisoitua nippaa ei ole vielä olemassa mutta usealla laitevalmistajalla on tarjota samantyyllisiä ratkaisumalleja. Nipan tarkoituksena on tuoda mittauspiste selvästi esille muusta koneistosta ja tarjota suora mittausyhteys laakeriin. Mikäli anturissa on kiinnityselimenä nippaa vastaava pikaliitin, saadaan nopeutettua mittauksia ja parannettua sen luotettavuutta.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

7.4.3 Liimaus

Liimausta voidaan käyttää silloin, kun mittauspintoja ei ole mahdollista porata, anturin eristys on tarpeen tai pintojen tasaisuus on riittämätön. Liimauksessa käytetään usein apuvälineenä nastaa, jonka kannassa on tasopinta.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

7.4.4 Magneettikiinnitys

Magneettikiinnitys on yleisin värähtelymittauksissa käytetty kiinnitystapa. Mikäli käytetään tasomaista magneettia, asettaa se mitattavalle pinnalle tietyt suoruus ja puhtausedot, jotka helpoiten saavutetaan hiomalla mittauspiste tasaiseksi hieman magneettia isommalta alueelta. Parempi vaihtoehto on käyttää magneettia, jonka pohjassa on yhdensuuntaiset ulokerivat ja jonka asentaminen on helppoa epätasaiselle ja kaarevalle pinnalle.

Magneettikiinnitys on nopea ja melko helppo tapa asentaa anturi mittauskohteeseen. Erityistä tarkkuutta tulee kiinnittää siihen, ettei anturin anneta iskeytyä mittauspisteeseen, mikä tapahtuu erityisesti silloin, kun käytössä on vahva magneetti. Jos näin kuitenkin käy, anturi voi olla jonkin aikaa toimintakyvytön tai jopa rikkoutua.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

7.4.5 Koetinpuikon käyttö

Nopea tapa asettaa anturi on käyttää anturin ja koetinpuikon yhdistelmää. Joskus tämä voi olla myös ainoa mahdollisuus mittauksen suorittamiseen, jos anturia ei muuten päästä kiinnittämään mittauspisteeseen. Esim. sähkömoottoreita on joskus vaikea mitata muilla menetelmillä, koska jäähdytysrivat estävät niiden käytön. Huonoina puolina on kuitenkin alhainen ylin mitattava taajuus (n. 500 Hz) sekä käden liikkeen aiheuttama häiriö mittaukseen. Anturi voi myös liikahtaa kesken mittauksen, mikä antaa häiriötä lopulliseen tulokseen.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

7.4.6 Anturin soveltuvuus mittauksiin

Anturista tulee tietää ainakin seuraavat asiat ennen kuin voidaan tehdä päätelmiä anturin sopivuudesta mittausten tekemiseen:

- anturin vaatima kiinnityspinta, pinnankarheus ja tasomaisuus
- geometriset mitat
- ruuvikiinnityksessä käytettävä kiinnitysmomentti
- käyttölämpötila-alue
- massa
- taajuusvaste kiinnitettynä ja kiinnittämättömänä
- kiinnitykseen käytettävien osien kuvaus kuten mitat, kierre ja rakenneaine
- herkkyys mittaussuuntaa kohtisuoralle liikkeelle

8 MITTAUSPAIKAN VALINTA

Mittauspaikan valinta on eräs niistä perusmäärityksistä, jotka oleellisesti vaikuttavat siihen, saadaanko mittauksilla riittävästi tietoa koneen kunnosta. Asiaa on käsitelty myös standardissa PSK 5702.

Kustakin koneesta on valittava niin monta mittauspistettä, ettei mikään ennalta arvioitava vika eri kone-elimissä jää havaitsematta sen vuoksi, että mittauspisteitä on liian vähän. Minimäärä mittauspisteitä on yksi kunkin laakerin kohdalla. Tällöin tästä pisteestä tulisi tehdä mittaus, jolla pystytään arvioimaan sekä laakerin että muiden kone-elinten kuntoa.

Kunnonvalvontamittauksissa tulisi pyrkiä siihen, että koneista tehdään mittaukset kunkin laakerin kohdalta kolmeen keskenään kohtisuoraan suuntaan (vaakaan, pystyyn ja akselin suuntaan). Näin voidaan tarkemmin arvioida koneessa oleva vikaantumisen koska jotkut viat näkyvät aina selvimmin tietyissä mittaussuunnissa.

Käytännössä tästä mittauspisteiden määrästä joudutaan usein poikkeamaan, koska läheskään aina anturia ei päästä kiinnittämään kaikkiin haluttuihin suuntiin. Samoin, kun kokemus mitattavista koneista kasvaa, voidaan havaita, että tarvittava tieto saadaan vähemmälläkin mittauspisteillä.

Kiinteissä kunnonvalvontajärjestelmissä joudutaan usein kustannussyistä tyytymään yhteen mittauspisteeseen laakeria kohti. Tällöin on mietittävä tarkkaan asennettavan anturin suunta. Esim. turbiinien kiinteät anturit ovat yleensä laakerin radiaalisuunnassa, koska tässä suunnassa havaitaan selvimmin epätasapainon kasvun aiheuttama värinä. Yksittäinen mittauspaikka valitaan siten, että värähtelylähde ja mittausanturi ovat mekaanisesti mahdollisimman lähellä toisiaan. Akseleista värähtely siirtyy laakerien kautta koneen runkoon, joten mittauspaikat on valittava laakerointikohdista. Myös laakerivikojen aiheuttamat värähtelyt ovat voimakkaimpia laakerista mitattuna.

Joskus on tarpeellista tehdä mittauksia myös muualta kuin laakerointikohdista. Esim. laajalla toiminta-alueella käytettävät pumput voivat tietyillä paine- ja virtausmäärillä kavitoita, jolloin koko pumpun värinä on huomattavasti normaalia voimakkaampaa. Jos yksi mittauspiste valitaan painepuolen putkesta, voidaan havaita selvästi milloin pumppu kavitoi.

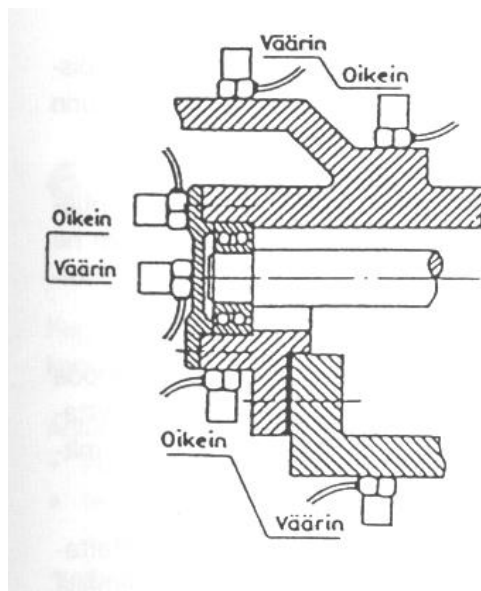
Mittauspaikka valitaan siten, että käytettävissä oleva tila sallii anturin asentamisen sekä mahdollisen suojauksen. Anturiin ei saa kohdistua ympäristöstä sallittua

suurempia kiihtyvyyksiä, lämpötiloja tai muita liiallisia rasituksia. Kiinteästi asennetut anturit eivät myöskään saa vaikeuttaa laitoksen käyttö- ja huoltotoimenpiteitä.

Mittauspisteet tulisi merkitä siten, että mittaukset tehdään aina samasta paikasta samalla tavalla. Suositeltava, joskin kallis tapa on käyttää laakereihin kiinnitettäviä mittausnippoja. Toinen selkeä tapa merkitä pisteet on hitsata mittauskohtaan neliskulmainen teräskappale, josta päästään helposti tekemään mittaukset kolmeen eri suuntaan käyttämällä magneettikiinnitteistä anturia.

Joskus pelkkä mittauspisteiden hiominen on riittävän selvä tapa merkitä pisteet. Mittauspaikka on mahdollista merkitä myös maalilla tai piirtokynällä mutta ennemmin tai myöhemmin ne jäävät lian peittoon tai kuluvat pois. Yleensä tuotantolaitoksille on suotavaa luoda sisäinen käytäntö siitä, missä kohdassa tietyn tyyppisillä koneilla on mittauspisteet.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)



Kuva 8 Anturin eri kiinnityskohtia

9 VÄRÄHTELYVALVONNAN SUORITUS

Värähtelyvalvonnan perustana on, että mittauskohteesta saadaan eri mittauskerroilla keskenään vertailukelpoisia tuloksia, jotka myös kertovat koneen kunnossa tapahtuneet muutokset. Tämä saadaan aikaa muodostamalla värähtelysignaalista erilaisia tunnuslukuja ja seuraamalla niiden kehittymistä.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

9.1 Tunnuslukuvalvonta

Värähtelyn suuruuden ja vakavuuden arvioiminen mittasignaalista laskettavilla tunnusluvuilla on yksi värähtelyvalvonnan perustyökaluja. Yksittäinen tunnusluku on valitulta taajuusalueelta laskettu värähtelyn tehollisarvo, esim. pyörimistaajuisen tärinän suurus tai mitatun tärinän kokonaistaso. Useimmat tunnusluvuista on lueteltu standardissa PSK 5706.

Koneiden kunnonvalvonta olisi helppoa, jos keksittäisiin jokin yksittäinen tunnusluku, jonka kasvu johtuisi aina jonkin vian syntymisestä koneeseen. Tällaista tunnuslukua ei kuitenkaan ole keksitty ja tuskin keksitäänkään. Nykyisten tunnuslukujen avulla voidaan kuitenkin melko luotettavasti havaita useimpien vikojen synty ja kehittyminen.

Yksi tällaisista tunnusluvuista on värähtelyn kokonaistaso, joka ilmaisee koko mittausalueen värähtelyn suuruuden yksiköissä, joissa mittaus tehty (nopeus, kiihtyvyys tms.) Suuruuden ilmaisemiseen käytetään yleensä tehollisarvoa.

(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

9.2 Aikatasovalvonta

Aikatasosignaalia on mahdollista hyödyntää kunnonvalvonnassa usealla tavalla. Aikatasosta voidaan laskea erilaisia tunnuslukuja, joita käytetään kuin edellä mainittuja tunnuslukujaakin. Tämän lisäksi aikatasosta nähdään koneessa tapahtuvia iskumaisia ilmiöitä, joita spektri- tai kokonaistasovalvonnalla ei pystytä läheskään yhtä selvästi havaitsemaan. Tämä edellyttää kuitenkin oikean mittasuureen käyttöä.

Värähtelyspektrit ja useimmat tunnusluvut mitataan yleensä nopeutena sillä se on käyttökelpoisin laajakaistaisissa mittauksissa. Aikataso on järkevintä mitata käyttämällä mittasuurena kiihtyvyyttä tai sen aikaderivaattoja kun käytetään kiihtyvyyssanturia. Näissä suureissa ilmaistu mittaus korostaa iskumaisia ilmiöitä, mikä paljastaa esim. laakeri- ja vaihteistoviat jo aikaisessa vaiheessa. Jos aikatason suurena käytetään nopeutta tai siirtymää tai kiihtyvyys mitataan liian alhaiselta taajuudelta, saattaa alkava, iskun aiheuttava vika jäädä havaitsematta.

Aikatason käyttö on huomattavasti työläämpää kuin tunnuslukuvalvonta tai tietokoneavusteinen spektrivalvonta. Aikatasojen vertailu suoritetaan silmämääräisesti, jolloin suuren mittauspistejoukon läpikäynti vie paljon aikaa. Toimintaa voidaan nopeuttaa laskemalla aikatasosta tunnusluvut ja tekemällä analyysit ainoastaan niiden aikatasojen kohdalla, joissa tunnusluvut ovat kasvussa.

Tärkeimmät aikatasosta laskettavat tunnusluvut ovat värähtelyn huippuarvo, huipusta huippuun –arvo, tehollisarvo sekä huippukerroin (Crest- factor). Normaalikunnossa olevalla koneella huippukerroin on lähellä kolmea. Iskumaisen vian alettua, huippukerroin lähtee kasvamaan. Vakava vika saattaa antaa arvoksi yli 10. Vikakehityksen loppuvaiheessa huippukerroin saattaa laskea taas lähelle kolmea, koska värähtelysignaalin tehollisarvo kasvaa yleensä voimakkaasti.

Aikatasosignaalin muodosta voidaan usein nähdä, mikä vika koneessa on. Tällaisessa tarkastelussa ei katsota ainoastaan värähtelyn suuruutta vaan myös tarkastellaan, onko signaali ”normaalin” vai ”epänormaalin” muotoinen. Seuraavaksi muutama esimerkki:

Huojunta: Tavallisimpia syitä ovat:

- sähkömoottorissa on sähköinen vika
- tärinä kantautuu rakenteita pitkin koneelta toiselle
- nivelakseli on linjattu väärin

Isku: Jokin iskumainen vika on kehittymässä. Tutkimalla iskujen välistä aikaa voidaan päätellä, mikä koneenosa on vaurioitumassa.

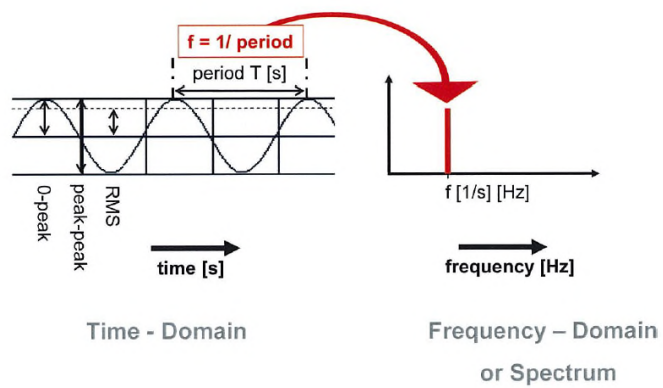
(Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

Tavallisimpia syitä:

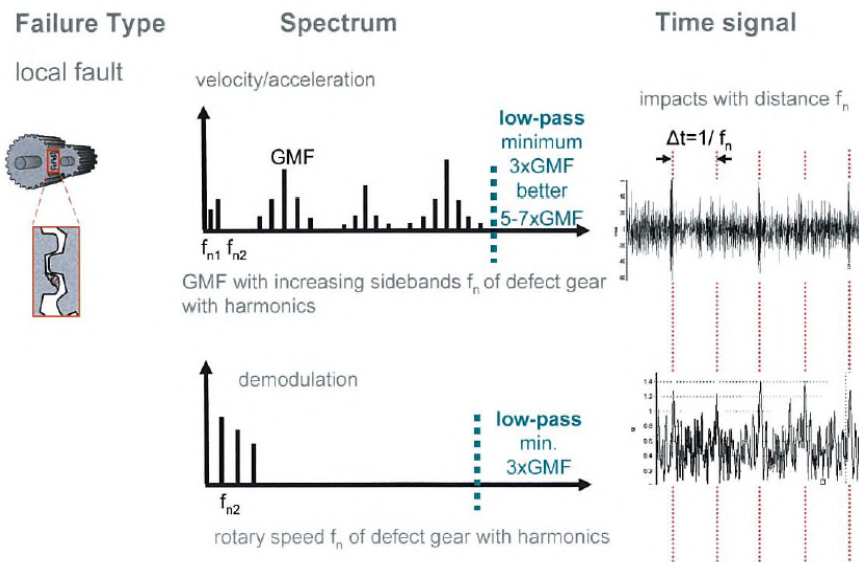
- laakerivika
- hammaspyörävika
- roottorin siipi osuu pesään

Toispuoleinen signaali: Syitä voivat olla:

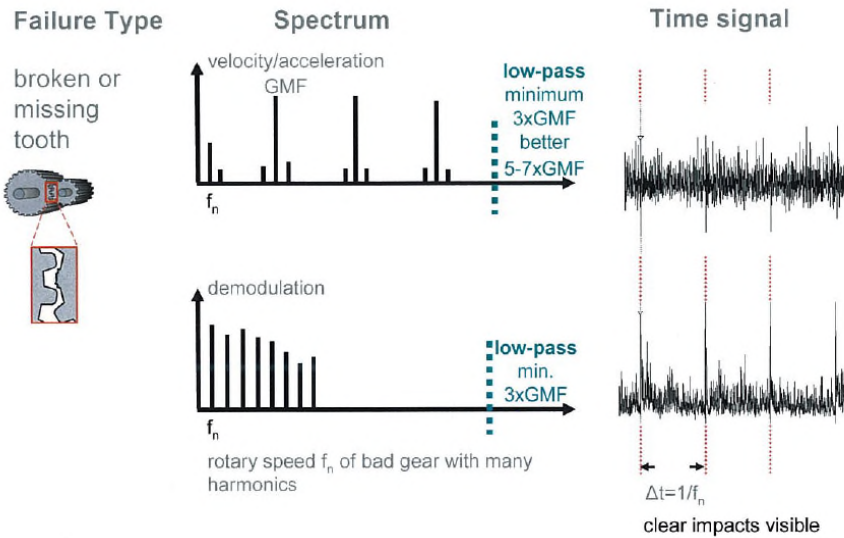
- linjausvirhe
- hankaus
- löysä liitos
- ironnaisuus



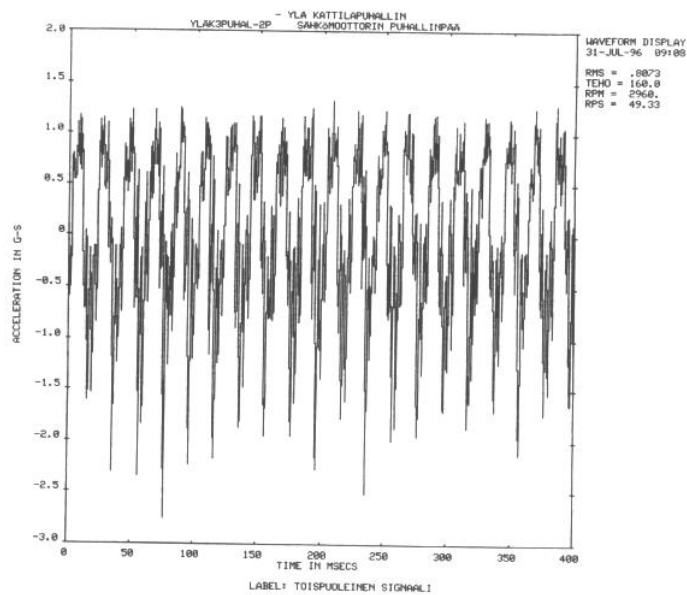
Kuva 9 Aikataso ja siitä laskettavat tunnusluvut (Rolls-Royce Oy)



Kuva 10 Huojunta (Rolls-Royce Oy)



Kuva 11 Isku aikatasossa (Rolls-Royce Oy)



Kuva 12 Toispuoleinen signaali

9.3 Spektrivalvonta

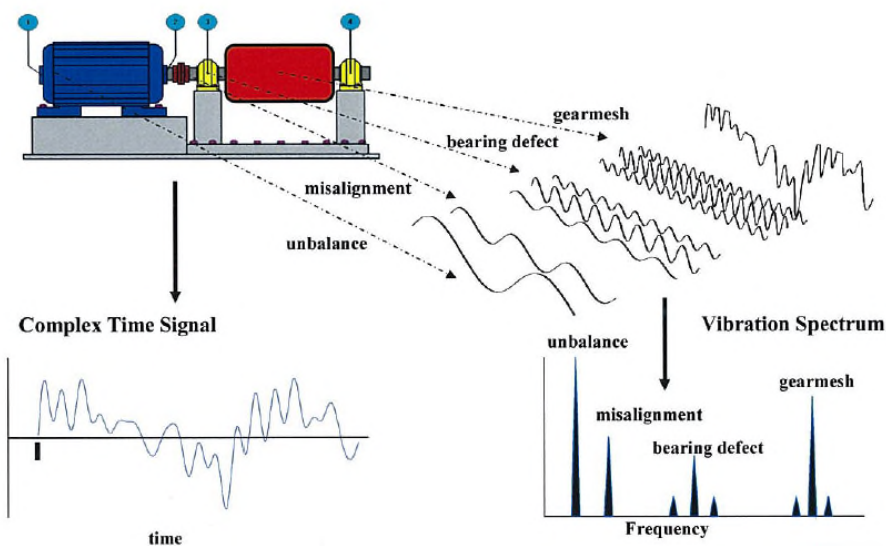
Värähtelyspektrit muodostetaan aikatasosignaalista, joko FFT-laskennalla (nopea Fourier-muunnos) tai käyttäen kapeakaistaisia taajuussuotimia. Näin muodostettu värähtelyspektri on käyttökelpoinen lukuisia eri osia sisältävän koneen kunnonvalvonnassa sekä erilaisissa vika-analyseissä. Erottamalla eri koneenosista

tulevan värähtelyn eri taajuudet ja niitä vastaavat värähtelyamplitudit, yksittäisten koneenosien kuntoa voidaan valvoa ja arvioida.

Tämä edellyttää, että akselien kierroslukutiedot ja koneenosien rakenne on tiedossa. Tarvittavia tietoja ovat mm. hammaspyörässä hampaiden lukumäärä, vierintälaakerissa laakerityyppi ja -valmistaja, roottorissa siipien lukumäärä jne. Näiden tietojen perusteella määritetään koneen eri vikataajuudet, jotka tulee syöttää mittaussjärjestelmään, jotta spektrien tulkitseminen helpottuisi.

Erityisen tärkeää on tietää vaihtuvanopeuksisen koneen mittaushetkellä vallinnut pyörimisnopeus, sillä herätetaajuudet ovat yleensä suoraan verrannollisia koneen pyörimisnopeuteen. Usein on hyvä tietää myös vaihtuvakuormaisen koneen kuormitus tai muu koneen käyntiin oleellisesti vaikuttava tekijä, joita ovat esim. ulkoilman lämpötila, pumpun imupaine, kompressorin luistin asento ja koneen pyörimissuunta.

Spektrit voidaan mitata siirtymänä, nopeutena tai kiihtyvyytenä mutta yleensä mittaussuurena käytetään värähtelynopeutta, joka ei korosta matalia taajuuksia kuten siirtymämittaus eikä korkeita kuten kiihtyvyydsmittaus. Jos samassa kohdassa on mitattava sekä huomattavan matalia että korkeita taajuuksia, mittaus voidaan tehdä kahdesti ja käyttää niissä eri suureita. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)



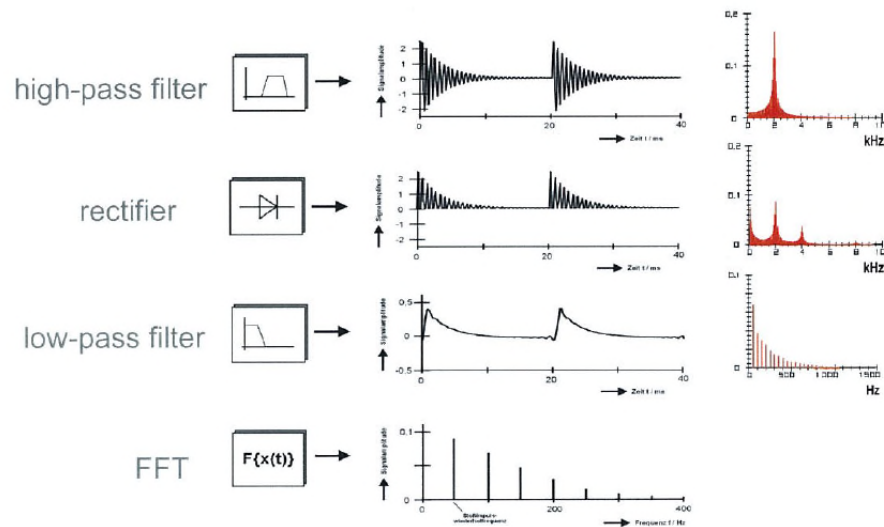
Kuva 13 Koneesta tulevat eri vikataajuudet

9.4 Verhokäyrävalvonta

Verhokäyrävalvonta perustuu mitattujen verhokäyräspektrien vertailuun ja eri amplitudiiden kasvun seuraamiseen kuten spektrivalvontakin. Jotta verhokäyrävalvonnalla saavutetaan halutut tulokset, on suodatusalue valittava oikein. Verhokäyrävalvonnassa voidaan hyödyntää myös sen aikatasoa. Valvonta perustuu amplitudiiden muutoksien havaitsemiseen vikataajuuksilla.

Verhokäyräanalyysi on menetelmä, jossa mitattua signaalia käsittelemällä saadaan korostettua konevicioista johtuvaa osuutta tärinästä. Menetelmä on osoittanut luotettavuutensa erityisesti hitaasti pyörivien koneiden vierintälaakereiden vikojen selvityksessä. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

The envelope signal is a specially conditioned form of the time signal



Kuva 14 Verhokäyräspektri ja aikataso

9.5 Kepstrivalvonta

Kepstrivalvonta perustuu mitattujen kepstrien (logaritmisen tehospektrin Fouriermuunnoksen neliö) vertailuun ja eri amplitudiiden kasvun seuraamiseen. Jotta kepstrivalvonnalla saadaan halutut tulokset, tulee käytettävä taajuusalue valita oikein. Kun kepstrissä alkaa amplitudi taajuuden kohdalla kasvaa merkittävästi, tulee selvittää se kone-elin, johon tämä taajuus liittyy. Kepstrianalyysi on osoittautunut hyväksi

erityisesti hammaspyörien kunnonvalvonnassa. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

9.6 Vektorivalvonta

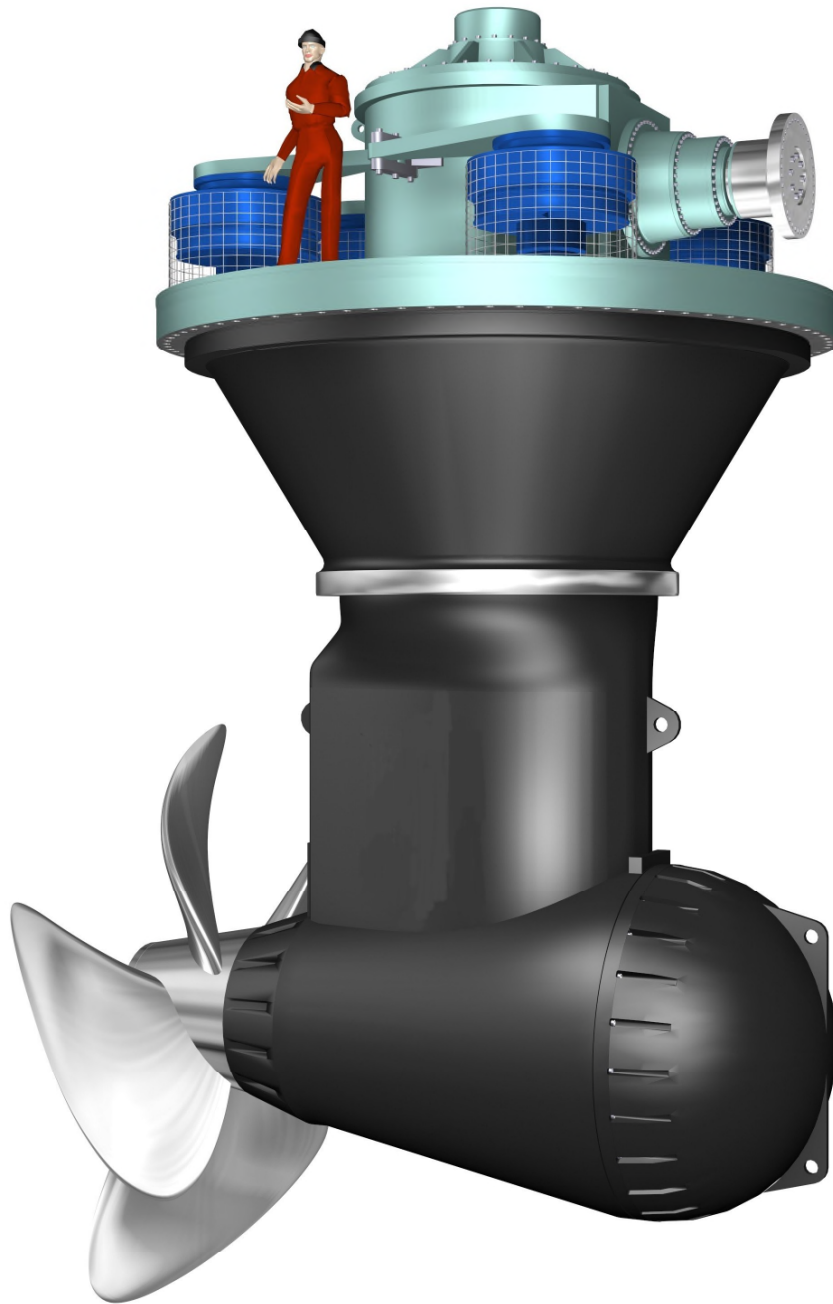
Vektorivalvontaa voidaan käyttää, jos halutaan kasvattaa kunnonvalvonnan tarkkuutta koneen pyörimistaajuudella ja sen monikerroilla. Vektorivalvonta on tarkka menetelmä valvoa koneen tasapainotilaa ja vikoja, jotka aiheuttavat muutoksen sekä tärinän taajuuteen että vaihekulmaan (esim. poikittainen särö). Aluksi mitataan valvottavan värähtelytaajuuden amplitudi ja vaihekulma, jonka tahdistussignaali tulee ottaa akselin pyörimisliikkeestä. Saadut arvot yhdistetään värähtelyvektoriksi, jota voidaan tarkastella polaarikoordinaatistossa. (Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset)

10 RUORIPOTKURILAITTEEN KUVAUS

Tässä luvussa esitellään keskisuuren US 255- AQM laitteen ja suuren ARC 1-AQM laitteen pääkomponentit ja kuvaus ruoripotkurilaitteesta. Molemmat laitteet ovat tyypiltään suorakulmavaihteinen ohjaittavia potkurilaitteita. Laitteen runko-osat, ohjausputki ja laakeripesät on valmistettu hitsaamalla laivanrakennuslevystä ja ainesputkista.



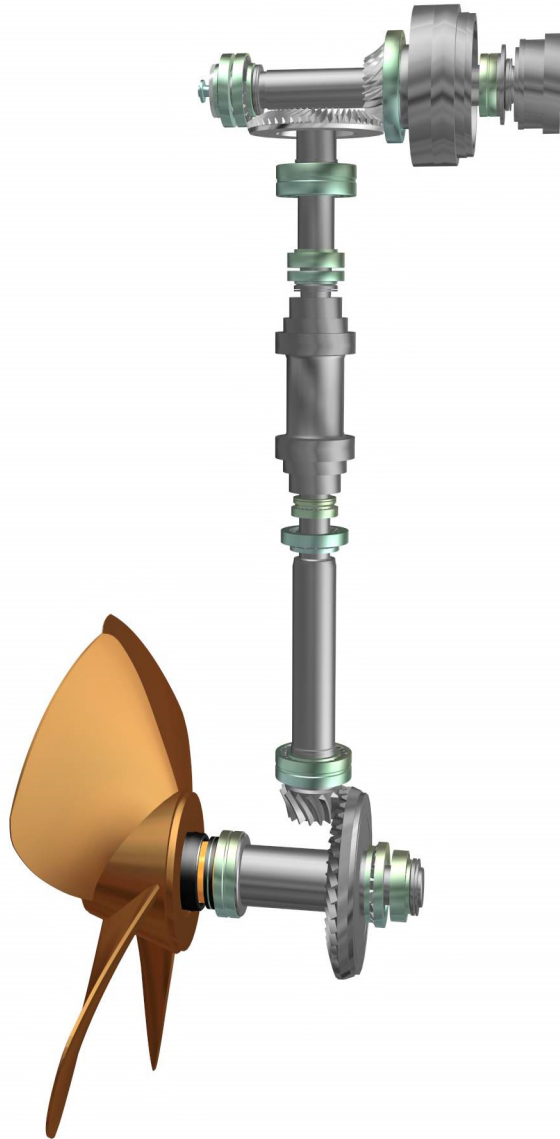
Kuva 15 AMQ US 255 – ruoripotkurilaite (Rolls-Royce Oy)



Kuva 16 AQM ARC 1 – suuri jäänmurtaja ruoripotkurilaite (Rolls-Royce Oy)

Kuva 17 havainnollistaa miten teho välitetään käyttöakselilta potkuriakselille kahden suorakulmaisen kartiohammaspyöräparin avulla. Hammaspyörät ovat kromi-nikkeli-molybdeeniteräksestä valmistettuja, kaarevahampaisia syklopalloidipyöriä, jotka on pintakarkaistu ja pareittain läpätty. Läppäyksellä tarkoitetaan hiontaa, jolla pyöräparien kosketuspinta saadaan parikohtaisesti optimaaliseksi.

Akseliston liitoksista osa on kiilattomia kartiokutistusliitoksia. Lautaspyörät on kiinnitetty akseleille lieriökutistusliitoksilla. Irrotusta varten on tehty öljyporaukset. Kaikki akseliston osat on laakeroitu vierintälaakereilla. Pystyakselin ylä- ja alapäässä on hammaskytin.



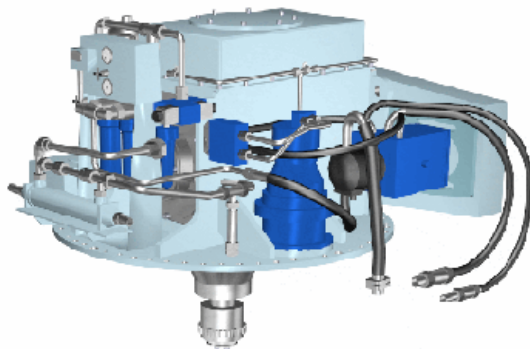
Kuva 17 Tehon välitys käyttöakselilta potkuriakselille (Rolls-Royce Oy)

Runko-osien ja kansien välillä olevat tiivisteet ovat o-rengastiivisteitä. Potkuriakselin tiivisteenä on akselitiivistepaketti, joka on suojattu köysisuojalla. Käyttöakselin tiivisteenä on akselitiiviste. Ohjausputken tiivisteinä on niinkään akselitiivisteet. Potkurilaite voidaan jakaa kuvassa 20 esitetyllä tavalla kolmeen eri osakokonaisuuteen, jolloin käytetään termejä ylä-, väli- ja alaosa.

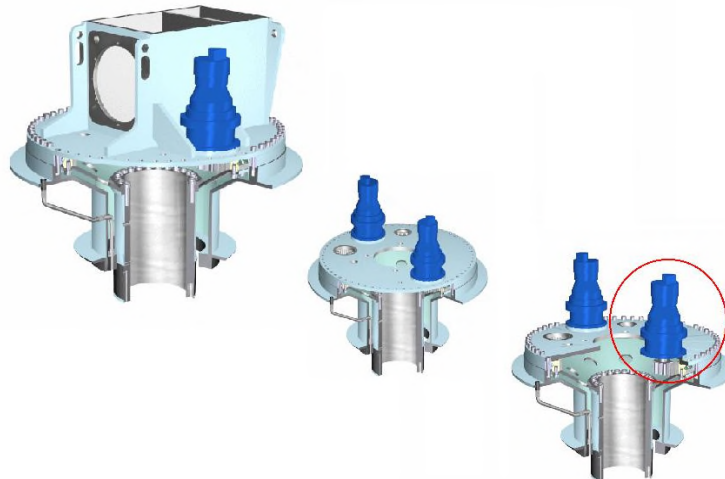


Kuva 18 AQM 225 Potkurilaitteen jako osakokonaisuuksiin: ylä-, väli- ja alaosa (Rolls-Royce Oy)

Potkurilaitte on ohjattavissa rajoituksetta kumpaankin suuntaan. Kuvassa 18 näkyy toinen ohjauskoneista ympyröitynä, joita laitteessa on yhteensä kaksi ja ne on sijoitettu potkurilaitteen ylävaihteeseen.

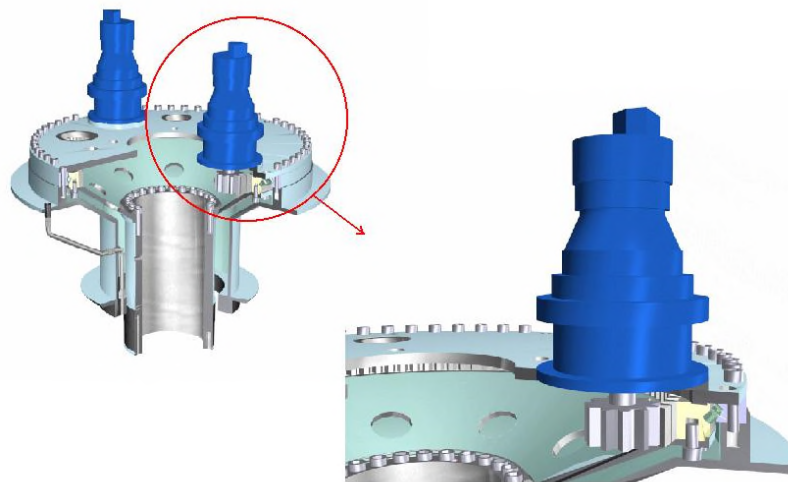


Kuva 19 ylävaihteeseen (Rolls-Royce Oy)



Kuva 20 AQM- laitteen yläosa, ohjauskoneisto (Rolls-Royce Oy)

Potkurilaitteen alaosa on kiinnitetty ohjausputkeen, joka on edelleen kiinnitetty suuriläpimittaisen kääntökehän välityksellä yläosan runkoon. Kääntökehään on yhdistetty vierintälaakeri ja hammaskehä. Kuvassa 21 on osittain esitetty ohjauskoneistoon kuuluvat kehää kääntävä hammaspyörä, planeettavaihte ja hydraulimoottori.



Kuva 21 Kääntökehä ja ohjauskoneisto (Rolls-Royce Oy)

Potkuri on nelilapainen, vasenkätinen avopotkuri ja se on valmistettu nikkeli-alumiinipronssista. Potkuri on kiinnitetty akselille kiilattomalla, kartiomaisella puristusliitoksella. Potkurilaitteen vedenalaiset osat on suojattu sinkkianodeilla.

10.1 Kunnonvalvonta ruoripotkurilaitteissa

Vedenalainen osa tarkastetaan telakoinnin yhteydessä. Normaalisti viiden vuoden välein, luokituslaitoksen vaatimuksesta. Öljynpora-aluksia ei telakoida, vaan laitteet nostetaan ylös ruoripotkurihuoneeseen tai iroitetaan vedenalaisesti ja kuljetetaan korjattavaksi maihin. Telakoinnin yhteydessä otetaan myös öljynäyte, josta selviää öljyn kunto. Näyte lähetetään yleensä öljynvalmistajalle analysoitavaksi, jos näytteestä löytyy paljon metallia. Pyritään näytteestä selvittämään mistä metalli on peräisin. Päivittäisiin tarkasteluihin kuulu laitteen yläosan tarkastelu, onko havaittavissa ylimääräisiä ääniä, värinöitä ja onko jotkut pinnat lämminneet normaalista poikkeavasti.

10.2 Ruoripotkurilaitteiden laakereiden kunnonvalvonta värähtelymittauksella

Rolls-Royce Oy Ab on tällä hetkellä ainoa mailmassa, joka tarjoaa mekaanisiin ruoripotkurilaitteisiinsa laakereiden kunnonvalvontaan värähtelymittauksella. Mekaanisten ruoripotkurilaitteiden historia on pitkä mutta värähtelymittauksella tapahtuvat laakereiden kunnonvalvonta on vasta tulossa.

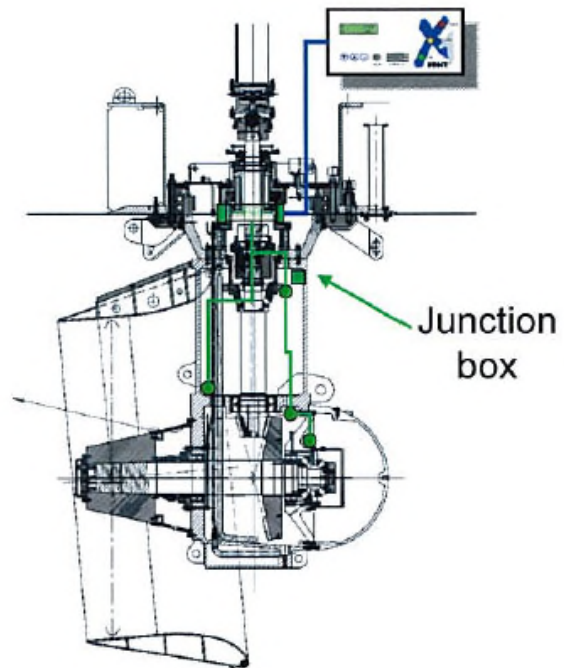
Aluksi värähtelymittauksella tapahtuvaa laakereiden kunnonvalvontaa tullaan tarjoamaan suuriin AQM-laitteisiin, joita yleensä käytetään öljynporauslautoilla.

Syy miksi aikaisemmin ei ole ollut mahdollista toteuttaa laakereiden kunnonvalvontaa värähtelymittauksella ruoripotkurilaitteissa on ollut antureiden korkea hinta ja saatavuus sekä AQM-laitteiden alhaiset kierrosluvut (rpm). Nämä luovat omat haasteensa antureille sekä niiden mittausherkkyydelle. Värähtelyanturien tarjoajilla ei ole ollut myös aikaisemmin kovin paljon kiinnostusta tämän tapaisiin sovelluksiin, koska mittauspisteet sijaisevat laitteen sisällä mikä on täynnä voiteluöljyä ja laite pyörii oman akselinsa ympäri. Laitteen pyöriminen oman akselinsa ympäri aiheuttaa omat haasteensa antureiden asenukselle ja tämän myös vaikeuttaa omalta osaltaan antureilta tulevan tiedon tuontia laivan sisälle. Ulkopuolisia antureiden käyttö ei tule kysymykseen potkurin aiheuttamien virtauksien takia ja laitteen oman akselinsa

pyörimisen takia. Potkurin aiheuttama virtaus on hyvin voimakasta ja se myös liikuttaa veden lisäksi merellä olevaa roinaa, kunten uppotukkeja. Uppotukit saattaisivat myös rikkoo ulkopuoliset anturit ja niiden johdotukset. Laitteen paksu teräskuori myös vaikeuttaisi laakereiden värähtelymittausta ulkoisilla antureilla. AQM- laitteiden laakereiden värähtelymittaus toteutetaan FIS:in kanssa yhteistyössä. Kahdeksan värähtelyanturit tullaan asentamaan laitteen sisälle laakereiden läheisyyteen ja kaksi kiihtyvyys anturia tullaan asentamaan vetoakselin läheisyyteen säteis- ja akselinsuuntaisesti. Potkurilaitteesta mitataan myös vesi – ja partikkelipitoisuus ohjailuhydrauliikasta ja voiteluöljystä. Kahdeksasta anturista neljä riittää mittaamaan laakereilta tulevaa värähtelyä neljä ylimääräistä anturia ovat varalla. Kaikki kahdeksan anturia ovat toiminnassa saman aikaisesti, joten yhden anturin rikkoutuessa ei tarvitse uutta anturia kytkeä käyttöön, eikä laitetta avata ja uutta anturia vaihtaa.

Antureiden johdotukset tuodaan teräsputkien sisällä antureille. Laitteen sisälle asennetaan myös kahdeksan kanavainen kytkentärasia johon tuodaan laitteen sisällä olevilta antureilta tuleva tieto, tästä tieto siirretään eteenpäin liukurengaspakettiin ja sieltä edeleen mittalaitetekoteloon. Mittalaitetekotelossa mittalaitteet normaalisti keräävät 12 tuntin jaksoissa antureilta tulevaa tietoa, jonka jälkeen viimeiseen mittaukseen tulee spektri, aikataso ja trendit. Mittalaitetekelosta tieto välittyy ethernet:in välityksellä laivalla olevaan tietokoneeseen. Tietokone tallentaa tiedot tietokantaan ja tämän jälkeen lähettää tiedot sähköpostin välityksellä Rolls-Royce Oy Ab:lle tulkittavaksi. Sähköposti lähetetään myös jos antureille annetut hälytysrajat ylittyvät, tässä tapuksessa sähköposti lähetetään heti Rolls-Royce Oy Ab:lle.

Mittalaitetekotelossa on kaksi kappaletta kahdeksan kanavaisia mittalaitteita (A- ja B-mittalaitte). Molemmille mittalaitteille tuodaan nopeus tieto, A- mittalaitteelle tuodaan vielä nopeuden lisäksi kuorma tieto ja B- mittalaitteelle nopeuden lisäksi tuodaan kääntökulma. Mittalaitteille on omat elektroniset vaihtokytkimet. Elektroniset vaihtokytkimet valitsevat anturin käytyöön tämä tapahtuu mielivaltaisesti ja riippuu, kuinka kytkimet ovat ohjelmoitu. Elektroniset vaihtokytkimet myös hoitavat jännitesyötön antureille.



Kuva 22 Värähtelyantureiden asennuspaikat (Rolls-Royce Oy)

LÄHTEET

Teboil, viskositeetti, 05.12.2008

<http://www.teboil.fi/Publication.asp?path=1;1510;1508;5637;5639>

NesteOil, voitelukemikaalien tuoteluottelo, 07/2007

Rolls-Royce Oy Ab, Company Profile – Historia 02/2007 (Rolls-Royce Oy Ab:n sisäinen Intranet), 05.12.2008

Opetushallitus, öljyanalysit, 05.12.2008

http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e01_voiteluaineet_perusteet

Teollisuus nyt, vesi ölyssä, öljyn vanheminen 3/2006

http://www.vaisala.fi/instrumentit/tuotteet/oljynkosteus/%C3%B6ljynkosteus_teollisuus%20nyt%2005_2006.pdf

Petri Nohynek, Veli Erkki Lumme, Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset, 2. täydennetty painos, Kotkan kirjapaino Oy, 2004

LIITE 1

SAE-viskositeettiluokitus

Näiden öljyjen SAE-luokat ovat 75W, 80W, 85W, 80, 85, 90, 140 ja 250. Kirjain W osoittaa, että öljyn viskositeetti on määritetty alhaisissa lämpötiloissa, jolloin viskositeetin on pysyttävä taulukon ilmoittamissa lämpötiloissa 150.000 senttipoisin alapuolella, ja lisäksi täytettävä määrätty minimivaatimukset 100°C:n lämpötilassa. Muille SAE-luokille on viskositeetin raja-arvot määritetty 100°C:n lämpötilassa.

Vaihteisto- ja vetopyörästä öljyjen SAE-luokitus

SAE-luokka	Maksimilämpötila 150.000 cP:n viskositeetille	Viskositeetti cSt 100°C Min/7,0/-Max
75 W	-40	4,1 / -
80 W	-26	7,0 / -
85 W	-12	11,0 / -
80		7,0 / 11,0
85		11,0 / 13,5
90		13,5 / 24,0
140		24,0 / 41,0
250		41,0 / -