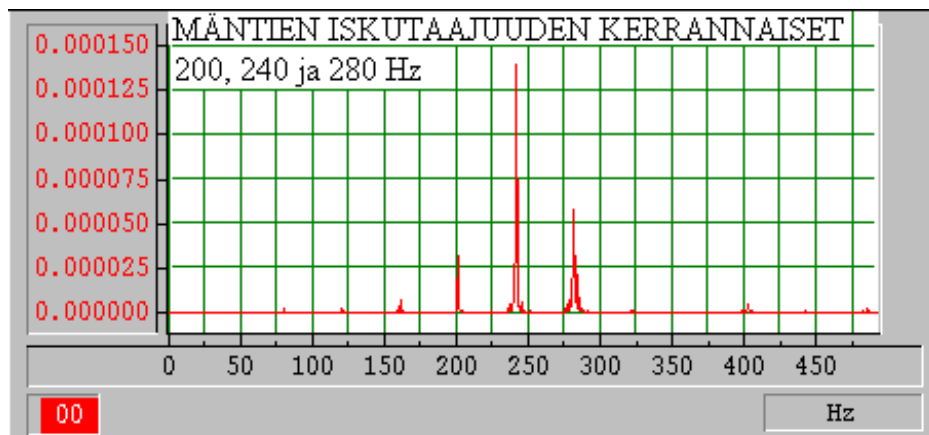
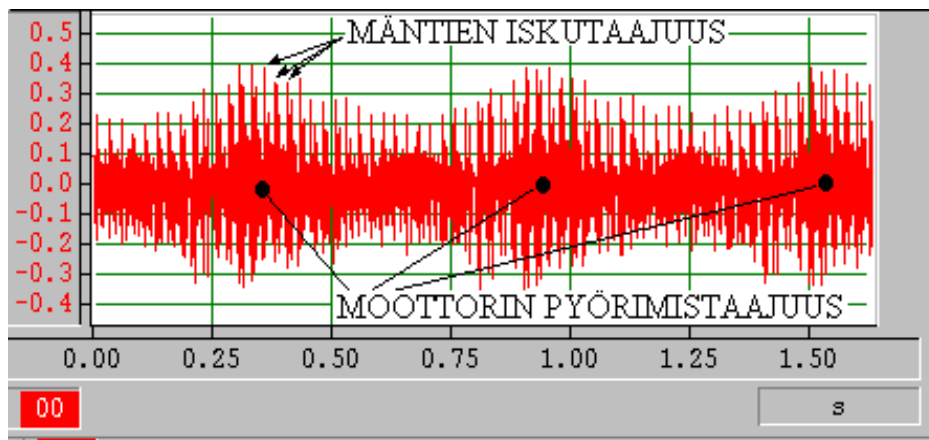


Risto Parikka, Tiina Ahlroos, Jari Halme,
Juha Miettinen, Pekka Salmenperä, Sulo Lahdelma,
Markku Kananen & Petteri Kantola

Monitorointi ja diagnostiikka



Monitorointi ja diagnostiikka

Risto Parikka, Tiina Ahlroos & Jari Halme
VTT Valmistustekniikka

Juha Miettinen & Pekka Salmenperä
Tampereen teknillinen korkeakoulu

Sulo Lahdelma, Markku Kananen & Petteri Kantola
Oulun yliopisto



ISBN 951-38-5828-6 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5829-4 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1235-0605 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2001

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

TT Valmistustekniikka, Käyttötekniikka, Kemistintie 3, PL 1704, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7002

VTT Tillverkningssteknik, Driftsäkerhet, Kemistvägen 3, PB 1704, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7002

VTT Manufacturing Technology, Operational Reliability,
Kemistintie 3, P.O.Box 1704, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7002

Toimitus Kerttu Tirronen

Otamedia Oy, Espoo 2001

Parikka, Risto, Ahlroos, Tiina, Halme, Jari, Miettinen, Juha, Salmenperä, Pekka, Lahdelma, Sulo, Kananen, Markku & Kantola, Petteri. Monitorointi ja diagnostiikka [Monitoring and diagnostics]. Espoo 2001. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2098. 55 s.

Avainsanat condition monitoring, diagnostics, diagnostic methods, future, trends, acoustic emission, sensors, MEMS, automation, components, microchemical applications, reliability

Tiivistelmä

Antureihin perustuvan diagnostiikan hyödyntäminen teollisuudessa on viime vuosiin saakka ollut vähäistä. Kuitenkin erilaisista antureista saatavaa informaatiota voitaisiin käyttää laajemmin hyväksi tuotteiden ja tuotantoprosessin laitteiden kunnan valvonnassa ja huoltotarpeiden määrittelyssä. Tulevaisuuden tuotteissa Life Cycle Cost -ajattelu on tunnusomaista ja toimiva tuote on suunniteltava tällaiseen liiketoimintamalliin sopivaksi. Tällöin uudet tekniikat, kuten väyläratkaisut ja mikro-mekaaniset MEMS-anturit, mahdollistavat anturien määrän moninkertaistamisen. Yhä enenevästi käytetään samoja antureita sekä prosessin ohjauksessa että diagnostiikassa, ja yhdistelemällä useilta antureilta kerättyä tietoa saadaan nykyistä runsaampaa ja luotettavampaa tietoa diagnostiikan perustaksi.

Tähän julkaisuun on koottu SMART-hankkeessa *Monitorointi ja diagnostiikka* tehtyjen tutkimusten keskeisiä tuloksia. Tarkoituksena on esitellä tulevaisuudessa yleistäviä kunnan valvonnan ja diagnostiikan menetelmiä sekä hahmottaa case-kohteiden tutkimustulosten kautta kokonaiskuvaa siitä, millaisia tulevaisuuden tuotteen diagnostiikkaan liittyvät suunnitteluvaatimukset ovat. Järjestelmän toimintaa voidaan kehittää edelleen yksittäisten komponenttien seurannasta ja diagnostiikasta kohti laajempaa, koko järjestelmän kattavaa hallintaa ja diagnostiikkaa.

Parikka, Risto, Ahlroos, Tiina, Halme, Jari, Miettinen, Juha, Salmenperä, Pekka, Lahdelma, Sulo, Kananen, Markku & Kantola, Petteri. Monitorointi ja diagnostiikka [Monitoring and diagnostics]. Espoo 2001. Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2098. 55 p.

Keywords condition monitoring, diagnostics, diagnostic methods, future, trends, acoustic emission, sensors, MEMS, automation, components, microchemical applications, reliability

Abstract

The utilization of sensor-based diagnostics in industry has been quite negligible until the past few years. However, information from different types of sensors could be utilized more widely in condition monitoring and determination of service needs of products and production process machinery. Life Cycle Cost thinking will become a routine feature of future products, and in order to be viable a product must be designed to fit this type of business model. Consequently new technologies, such as bus solutions and micromechanical MEMS sensors, will enable a multifold increase in the number of sensors. Increasingly the same sensors will be used in both process monitoring and diagnostics, and by combining information collected from several sensors more information and more reliable information will be obtained than at present on which to base diagnostics.

This publication compiles the key results of studies conducted within the SMART project *Monitoring and Diagnostics*. On one hand, this publication aims to introduce methods of condition monitoring and diagnostics, which will become more common in the future. On the other hand, it is designed to outline the general view of the planning requirements for diagnostics of future products by using research results from case studies. Different types of advanced solutions can be used to further develop systems operations, from monitoring and diagnostics of single components to more extensive monitoring and diagnostics covering the whole system.

Alkusanat

Tämä julkaisu liittyy Tekesin ja teollisuusyritysten rahoittamaan tutkimushankkeeseen "Monitorointi ja diagnostiikka", joka oli osa SMART-teknologiaohjelmaa. Projektissa, joka toteutettiin vuosina 2000–2001, teollisuusyrityksiä edustivat ABB Motors Oy, Bronto Skylift Oy, Fortek Oy, Kalmar Industries Oy, Plustech Oy, Rautaruukki Oyj ja Valtra Oy. Tutkimustyöstä vastasivat VTT Valmistustekniikka, Tampereen teknillisen korkeakoulun konedynamiikan laboratorio ja Oulun Yliopiston koneensuunnittelun laboratorio. Tämä julkaisu on tutkimushankkeen tekninen loppuraportti.

Projektin johtoryhmän jäseninä toimivat Timo Laurila Tekesistä, Seppo Anttila Valtra Oy:stä, Jouni Ikäheimo ABB Motors Oy:stä, Jouni Törnqvist Bronto Skylift Oy:stä, Outi Nurmilaukas Fortek Oy:stä, Jorma Nurmi Kalmar Industries Oy:stä, Arto Peltomaa Plustech Oy:stä, Matti Katajamäki Rautaruukki Oyj:stä, Sulo Lahdelma Oulun yliopistosta, Juha Miettinen Tampereen teknillisestä korkeakoulusta, Mauri Airila Teknillisestä korkeakoulusta ja Erkki Jantunen VTT Valmistustekniikasta. Tekniseen toteuttamiseen osallistuivat lisäksi Tutkijat Risto Parikka, Tiina Ahlroos, Jari Halme ja Mikko Mustonen VTT Valmistustekniikasta, Pekka Salmenperä TTKK:sta sekä Markku Kananen ja Petteri Kantola Oulun yliopistosta. Tutkimushankkeen projektipäällikkönä toimi Risto Parikka.

Tekijät kiittävät Tekesiä ja hankkeeseen osallistuneita yrityksiä työtä kohtaan osoitetusta mielenkiinnosta sekä teknisestä ja taloudellisesta tuesta.

Espoossa 7.5.2001

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto.....	9
2. Projektin tavoitteet.....	10
3. Teollisuuden Case-tutkimukset.....	11
3.1 Valtra Oy.....	11
3.2 ABB Motors Oy.....	12
3.3 Oy Kalmar Industries Ab.....	13
3.4 Bronto Skylift Oy Ab.....	15
3.5 Rautaruukki Oyj.....	16
3.6 Fortek Oy.....	17
3.7 Plustech Oy.....	18
3.7.1 Mittaus- ja testauskalusto.....	19
3.7.2 Mittausasetukset ja ajoparametrit.....	21
3.7.3 Tulokset.....	22
3.7.3.1 Kiihtyvyyssignaalit.....	22
3.7.3.2 Akustinen emissio.....	23
3.7.4 Johtopäätökset.....	24
4. Tulevaisuuden diagnostiikkaratkaisuihin hyödynnettäviä menetelmiä.....	25
4.1 MEMS-anturit.....	25
4.1.1 Liikeanturit.....	25
4.1.2 Kaasuanturi.....	27
4.1.3 Mittauselektronikka ja kotelointi.....	28
4.1.4 Yhteenveto MEMS-antureiden mahdollisista käyttökohteista.....	29
4.2 Automaatioväylät.....	31
4.2.1 CAN.....	31
4.2.2 Modbus.....	32
4.2.3 Bitbus.....	32
4.2.4 Profibus.....	32
4.2.5 Foundation.....	32
4.2.6 FIPIO.....	33
4.2.7 HART.....	33

4.2.8	Bluetooth	33
4.2.9	Ethernet TCP/IP	33
4.2.10	WLAN	34
4.2.11	Yhteenveto	34
4.3	Esimerkkejä ei-perinteisistä kunnonvalvonta-antureista	36
4.3.1	Dielektrisyysvakiota mittaavat öljyn kunnonvalvonta-anturit	36
4.3.2	Toimintaansa itse diagnosoivat älykkäät anturit (Smart sensors)	37
5.	Diagnostiikkaratkaisujen kehittämismalleja nykyistä anturointia käyttäen	39
5.1	Polttomoottorin öljynvaihtovälin määrittäminen	39
5.2	Antureiden mallipohjainen vikadiagnostiikka	40
5.3	Vierintälaakerin värähtelyanalyysin laajentaminen	41
5.4	Teollisuuden käynnin- ja kunnonvalvontajärjestelmien sekä niiden yhdistämisen tarjoamat mahdollisuudet	44
5.5	Tuotantolaitteiden anturointien kehittäminen	45
6.	Monitoroinnin ja diagnostiikan huomioonottaminen tuotesuunnittelussa	46
6.1	Sulautetun diagnostiikkajärjestelmän suunnittelu: Case-esimerkki, Bronto Skylift Oy Ab	46
6.1.1	Sulautettu järjestelmä	46
6.1.2	Sulautettu diagnostiikkajärjestelmä	46
6.1.3	Bronto Skylift Oy:n henkilönostin	47
6.1.4	Sulautetun diagnostiikkajärjestelmän toimintakuvaus	47
6.1.5	Kannattavuuslaskelma	48
6.1.6	Johtopäätökset	49
6.2	MEMS-antureiden integrointi koneisiin niiden valmistusvaiheessa	49
6.3	Käytännön parannusehdotuksia teollisuuden kunnonvalvontajärjestelmien toimittajia sekä kone- ja laitevalmistajia varten	50
6.4	Etädiagnostiikka	51
7.	Yhteenveto	52
	Lähdeluettelo	53

1. Johdanto

Antureihin perustuvan diagnostiikan hyödyntäminen teollisuudessa on viime vuosiin saakka ollut vähäistä. Metalliteollisuudessa yleisimpiä menetelmiä ovat olleet käyttötuntien ja kuormitusten seuranta, mutta mittauksiin perustuvaa kunnan määrittystä ja siihen perustuvaa huoltoa ei ole yleisesti tehty. Syynä on ollut muun muassa se, että laitteet on haluttu pitää yksinkertaisina, koska suurten anturointikustannusten on pelätty laskevan laitteiden kilpailukykyä. Lisäksi suuren tietomäärän käsittelyä sekä moninaisten vikojen tunnistamista on pidetty vaikeasti hallittavina asioina.

Tuotantoprosessia mittaavien antureiden antamaa informaatiota käytetään nykyisin lähes yksinomaan ohjaukseen ja säätöön. Kuitenkin erilaisista antureista saatavaa informaatiota voitaisiin hyödyntää laajemminkin tuotantoprosessin laitteiden kunnan valvonnassa ja huoltotarpeiden määrittelyssä. Kehittämällä sovellusohjelmistoja, jotka pohjautuvat antureista saatavan informaation hyödyntämiseen myös koneiden kunnossapidossa, saavutetaan pitkällä aikavälillä taloudellisia etuja tuotannon mentyjen vähentymisten ja tuotteiden laadun parantumisen myötä. Samoin yritysten työresursseja voidaan hyödyntää entistä tehokkaammin, kun pystytään tunnistamaan vialliset kohteet aiempaa paremmin.

Tulevaisuudessa antureita hyödynnetään enemmän, sillä niiden hinnat laskevat, ja tuotteiden käyttökustannuksiin kiinnitetään pitkällä aikavälillä nykyistä enemmän huomiota. Tulevaisuuden tuotteissa Life Cycle Cost -ajattelu on tunnusomaista ja toimiva tuote on suunniteltava sopivaksi tällaiseen liiketoimintamalliin. Tällöin uudet tekniikat, kuten väyläratkaisut ja mikromekaaniset MEMS-anturit, mahdollistavat anturien määrän moninkertaistamisen. Yhä enenevästi käytetään samoja antureita sekä prosessin ohjauksessa että diagnostiikassa, ja saadaan useilta antureilta kerättyä tietoa yhdistelemällä nykyistä enemmän ja luotettavampaa tietoa diagnostiikan perustaksi.

Tähän raporttiin on koottu SMART-hankkeessa *Monitorointi ja diagnostiikka* tehtyjen tutkimusten keskeisiä tuloksia. Tarkoituksena on esitellä tulevaisuudessa yleistäviä kunnan valvonnan ja diagnostiikan menetelmiä sekä hahmottaa case-kohteiden tutkimustulosten kautta kokonaiskuva siitä, millaisia tulevaisuuden tuotteen diagnostiikan suunnitteluvaatimukset ovat.

2. Projektin tavoitteet

Projektin yhtenä tavoitteena oli antaa valmiuksia diagnostiikan tason nostamiseen sekä samalla koneiden ja laitteiden älykkyyden lisäämiseen. Projektissa kartoitettiin ja kehitettiin edelleen menetelmiä koneiden ja laitteiden nykyisen anturoinnin antaman informaation hyödyntämiseen koneiden huoltotarpeen määrittelyssä sekä laitteiden ja anturointien vikatilanteiden tunnistamisessa. Toisena päätavoitteena oli anturoinnin suunnittelun toimintamallin kehittäminen. Suunnitteluvaatimukset tähtäävät 5-10 vuoden päästä toteutettaviin ratkaisuihin. Tulevaisuuden suunnittelukonseptissa otetaan erityisesti huomioon sekä prosessinohjauksen että diagnostiikan vaatimukset käyttäen hyväksi kehittyvää anturi- ja väylätekniikkaa.

Projekti toteutettiin VTT Valmistustekniikan, Tampereen teknillisen korkeakoulun konedynamiikan laboratorion, Oulun yliopiston koneensuunnittelun laboratorion sekä koneita ja laitteita valmistavien yritysten yhteistyönä. Tutkimussuunnitelman mukaisesti osa tutkimuksesta suoritettiin yritysten case-kohteiden avulla ja jokaiselle tutkimuslaitokselle oli määritetty omat tutkimusalueensa sekä kohdeyritykset, joiden kanssa ne olivat yhteistyössä. VTT Valmistustekniikan kohdeyritykset olivat Valtra Oy, ABB Motors Oy ja Kalmar Industries Oy, Oulun Yliopiston kohdeyritykset olivat Fortek Oy ja Rautaruukki Oyj ja TTKK:n Bronto Skylift Oy Ab ja Plushtech Oy.

Projekti sijoittui aikataulullisesti SMART-teknologiaohjelman loppuun, ja tutkimussuunnitelmassa asetettiin pääpaino yritysten ratkaisujen nykytilan ja diagnostiikkaratkaisujen kehittämisessä käytettävien tekniikoiden kartoittamiseen. Tavoitteena oli hyödyntää olemassa olevaa anturointia mahdollisimman optimaalisesti. Projektin päätehtävänä oli osoittaa käytettävissä olevien ratkaisujen edullisuus nykytilaan verrattuna, jolloin varsinainen kehitystyö voidaan toteuttaa erillisissä jatkoprojekteissa joko yrityksissä tai yhteistyössä tutkimuslaitosten kanssa.

3. Teollisuuden Case-tutkimukset

Kukin hankkeeseen osallistunut yritys valitsi tuotevalikoimastaan tai tuotantolaitteistaan tarkoituksenmukaisesti rajatun case-kohteen. Valinnassa otettiin huomioon kohteen sopivuus projektin kannalta ja saavutettavien tulosten hyödynnettävyys tulevaisuudessa. Kussakin kohteessa kartoitettiin nykyisellään olemassa oleva anturointi, käytettävät diagnostiikkaratkaisut, ratkaisujen hyvät ja huonot puolet, niiden ongelmat ja puutteet sekä kunnonvalvontaan liittyvät tarpeet. Kartoitusten pohjalta valittiin kohdekohtaisesti tutkittavaksi ja kehitettäväksi joitakin kiinnostavimpia tavoitteita ja pohdittiin – esimerkiksi kansainvälisten aineistohakujen ja kohteissa tehtyjen kunnonvalvontamittausten tukemana – miten saatua tietoa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää entistä paremmin. Case-tutkimukset raportoitiin yrityksille erillisinä luottamuksellisina tutkimuslaitosraportteina.

Seuraavassa esitellään mukana olleiden yritysten tutkimuskohteet sekä niihin liittyviä kysymyksiä ja tavoitteita. Ratkaisumalleja esitellään yleisesti luvuissa 5 ja 6 ilman kohteisiin liittyviä tunnistetietoja. Poikkeuksena ovat Bronto Skylift Oy Ab:n ja Plustech Oy:n kunnonvalvontamittauksiin perustuvat kohteet, joista esitetään yksityiskohtaisemmat yhteenvedot.

3.1 Valtra Oy

Tutkimuksen lähtökohtana käytettiin Valtra-Hitech -traktorimallia. Kehitettyjä diagnostiikkaratkaisuja voidaan ajatella sovellettavaksi muissakin Valtra-traktoreissa. Valtra Hitech -traktorissa on diagnostiikkajärjestelmä, joka tarkkailee pääasiassa vaihteiston toimintaa. Kaikki anturit on kytketty CAN-väylään liitettyihin ohjausyksiköihin. Diagnostiikka seuraa anturien ja kytkinten toimintaa ja diagnosoi oikosulkuja, katkoksia sekä sallitut rajat ylittäviä arvoja. Lisäksi tarkkaillaan vaihteiston kytkinten luistoa. Diagnostiikkajärjestelmä kytkee traktorin erityiseen vikatoimintatilaan vikatilanteen vakavuuden mukaan, jolloin käyttäjää informoidaan viasta, sekä traktorin toimintoja mahdollisesti rajoitetaan lisävaurioiden välttämiseksi. Diagnostiikka on jaettu jatkuvasti toimivaan aktiiviseen vikadiagnostiikkaan ja käyttäjän manuaalisesti aktivoimaan lisädiagnostiikkaan. Lisädiagnostiikan avulla on mahdollista selata vikamuistia, tarkistaa ohjaimen tulojen ja lähtöjen toimivuus sekä tehdä vaihteiston toimintaan vaikuttavia asetuksia ja kalibrointeja.

Kunnonvalvonnan ja diagnostiikan kehityksessä olivat seuraavat tavoitteet:

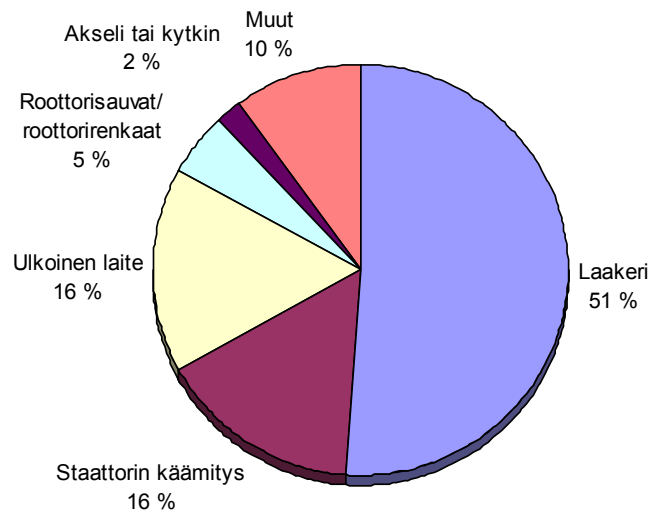
1. Käyttökustannusten alentaminen, tärkeimpinä keinoina:
 - moottoriöljyn ja muiden öljyjen vaihtovälien tarkempi määrittäminen
 - huoltojen oikean ajankohdan määrittäminen ja sitä kautta saavutettava käyttövarmuuden parantaminen.
2. Tehon ja toimintojen rajoittaminen vaurioiden tai lisävaurioiden estämiseksi.
3. Uuden toiminnon pitäisi tuottaa selvää lisäarvoa asiakkaalle ja kasvattaa traktorinvalmistajan tulosta.

Traktorin kunnonvalvontaa ja vikadiagnostiikkaa pyrittiin kehittämään pääasiassa olemassa olevaa anturointia käyttäen. Tutkimusmenetelminä olivat kohteen ja siinä käytettävien anturointien ja menetelmien kartoitus, tietohaut ja niiden tulosten läpikäynti sekä sovellusmahdollisuuksien arviointi. Uusina, mahdollisina anturointeina nostettiin esille elektroniset öljyn kuntoa valvovat anturit sekä itseään valvovat "älykkäät" anturit.

3.2 ABB Motors Oy

ABB Motors Oy valmistaa oikosulkumoottoreita, joiden teholuokka on 75 kW:sta 710 kW:iin. Osa ABB Motorsin valmistamista oikosulkumoottoreista tarvitsee ratkaisuja, joilla moottorin tilaa, toimintaa ja kuntoa voidaan diagnosoida. Näitä ovat sekä sellu- ja paperitehtaiden kriittisissä kohteissa toimivat moottorit että isomman kokoluokan moottorit. ABB:n tilastojen mukaan suurin osa oikosulkumoottoreiden vioista johtuu laakerivaurioista (kuva 1). Muut tyypilliset viat aiheutuvat staattorin käämityksestä sekä ulkoisesta laitteesta.

ABB Motorsille tulee noin 100 tapausta vuodessa, joissa ilmoitetaan ABB Motorsin valmistaman moottorin laakerin vaurioituneen. Tavallisesti ilmoitukset ovat takuuajalla tulevia reklamaatioita. Vikaantumisen syyt vaihtelevat väärästä tai huolimattomasta käytöstä materiaalin ennenaikaiseen rikkoutumiseen normaalissa käytössä. Lisäksi lähinnä taajuusmuuntajakäytössä voi syntyä akselijännitteitä ja -virtoja, jotka voivat vaurioittaa laakereita. Laakerivirran syntymistä voidaan estää asentamalla eristys, joka katkaisee virtapiirin ja ehkäisee laakerin kautta kulkevien akselivirtojen syntymisen akselijännitteen vaikutuksesta. ABB Motorsin moottoreissa tämä voidaan tehdä joko eristämällä laakerin vierintäelimet, moottorin kilpikotelo, laakerin ulkokotelo tai moottorin akseli.



Kuva 1. Oikosulkumoottorin suhteellinen vikajakauma [1].

Hankkeessa ABB Motors valitsi yhdeksi tutkimus- ja kehityskohteeksi oikosulkumoottorille asennettavan laakerivahdin. Sitä ei ole vielä tuotteistettu kaupalliseksi tuotteeksi. Toistaiseksi laitevahdista on vain protoversio, jossa on vielä puutteita. Yhdistämällä nykyisen laakerinvahdin toiminnalliset ja jo luotettavasti toimivat osat laajennettuun, FFT-pohjaisia mittauspiirteitä ja -parametreja käyttävään, useita erilaisia vikoja seuraamaan kykenevään tiedonkeruu- ja diagnostiikkajärjestelmään, voidaan koko mittauskohteen tilaa diagnostisoida. Tämä edellyttää, että eri mittauskanavilta saatavat signaalit yhdistetään silloin, kun useaan kanavaan on kytketty mittausanturi. Järjestelmässä moottorin pyörimisnopeus voidaan laskea joko laakerivahdin mittaamasta värähtelymittaussignaalista tai moottorin akselille kiinnitetystä asentokulma-anturin antamasta signaalista. Yhdistämällä edellisiin moottorin staattorista tai laakerista tai molemmista mitattava lämpötilasignaali, järjestelmän toimintaa voidaan kehittää yksittäisten laakereiden seurannasta ja diagnostiikasta kohti laajempaa, käyttävän sähkömoottorin ja käytetyn ulkoisen laitteen kattavaa koko järjestelmän hallintaa ja diagnostiikkaa.

3.3 Oy Kalmar Industries Ab

Tutkimuksen kohteena oli Kalmarin uusi kontinkäsittelykone, jonka ensimmäinen versio valmistui syksyllä 2000. Kone on tarkoitettu enimmillään 40 tonnin painoisten 40 jalan vakiomittaisten konttien käsittelyyn.

Kalmarin nykyisissä kontinkäsittelylaitteissa on ohjelmoitavaan logiikkaan perustuva diagnostiikkajärjestelmä, jolla voidaan rekisteröidä kaikkien ohjauslogiikan piirissä olevien suureiden arvoja, kuten kytkimien toimintaa ja vikaantumisia sekä ohjaus- ja asetinlaitteiden signaaleja. Diagnostiikkatoimintojen käyttöliittymä on koneen ohjaamossa, ja sen tiedot voidaan esittää samalla näyttöruudulla kuin koneen päivittäiseen käyttöön liittyvä informaatiokin. Diagnostiikkaliittymä on suojattu avaimella ja se on tarkoitettu ainoastaan kunnossapitohenkilöstön käytettäväksi. Koneesta voi lisäksi tulostaa vikatulosteen, jossa on logiikan kirjaamat viimeiset 100 vikaa tai häiriötä. Tähän sisältyvät myös koneen käyttäjän virheellisestä toiminnasta aiheutuvat vikailmoitukset.

Projektin kohteena olevan kontinkäsittelylaitteen ohjauksessa käytetään CAN-väylään kytkettyjä mikrokontrolleripohjaisia ohjaimia. Aikaisempien laitteiden ohjaus on toteutettu kokonaisuudessaan ohjelmoitavalla logiikalla. CAN-ohjainten käyttöönotto helpottaa erityisesti moottorin ohjausta, mutta aiheuttaa kehitystarpeita tiedonkeruulle. Tiedonkeruujärjestelmä on suunniteltava suurelta osin uudestaan. Ohjaimiin kytketyt anturit ovat pääosin samoja kuin aiemmissa laitteissa.

Kunnonvalvonnan ja diagnostiikan kehityksessä tavoitteina SMART-projektissa olivat

- uudella ohjausjärjestelmällä koneesta saatavissa olevan informaatiomäärän kartoittaminen
- koneen käytön tehokkuuden seuranta ja työsuorituksen rekisteröinti
- huoltovälien määrittäminen käyttöä vastaavasti
- anturitiedon tarkkuuden arviointi ja varmistaminen
- lisäanturien tarpeen selvittäminen
- koneeseen kohdistuvien rasitusten laskenta anturitiedon pohjalta.

Tässä raportissa esitetyn tutkimuksen osa-alueina olivat eri mittausmenetelmien antamien tietojen yhdistäminen, muiden diagnostiikkaratkaisujen kehittäminen ja anturien vikaantumisen diagnostiikan kehittäminen. Tutkimusmenetelminä olivat kohteen ja siinä käytettävien anturointien ja menetelmien kartoitus, tiedonhaut ja niiden tulosten läpikäynti sekä sovellusmahdollisuuksien arviointi. Myös tässä kohteessa uusina, mahdollisina anturointeina tarkasteltiin elektronisia öljyn kuntoa valvovia antureita sekä itsediagnostiikkaan kykeneviä antureita.

3.4 Bronto Skylift Oy Ab

Bronto Skylift Oy:n case-kohteena oli MDT B2+ Platform -henkilönosturi. Tiedonsiirto on toteutettu CAN-väylällä. Kohteen anturointi on kartoitettu eikä antureita käytetä tällä hetkellä vikadiagnostiikkaan. Anturoinnin tarkoituksena on mm. estää nosturin koria siirtymästä toimialueen ulkopuolelle.

Nosturi anturoitiin venymäliuskoilla puomiston kriittisten jännityskohtien selvittämiseksi. Liuskat kytkettiin 8-kanavaiseen KYOVA-mittausvahvistimeen ryhmä kerrallaan. Sen jälkeen puomistoa rasiitettiin erilaisilla mitattavia kohtia rasittavilla liikeradoilla. Näin saatiin kartoitettua kriittisten kohtien jännitykset puomiston eri asennoissa ja ajotavoissa. Liikeradat ajettiin korin maksimikuormalla 400 kg. Seuraavassa esitetään case-kohteesta tehdyt mittaukset. Näihin perustuvan sulautetun diagnostiikkajärjestelmän kuvaus ja tavoitteet on esitetty luvussa 6.1.1.

Venymäliuskoja oli yhteensä 25, ja ne kiinnitettiin puomiston ollessa "kuljetustuella" eli mahdollisimman alhaisessa jännityksessä. Anturien sijainnit esitetään mittaustuloksien yhteydessä. Mittausvahvistin hoiti virransyötön antureille ja sitä käytettiin mittauksen kalibrointiin. Mittausvahvistimen ulostulot, joissa oli jännitesignaalit, kytkettiin Wavebook 512-mittauskorttiin. Tämä oli kytkettynä kannettavaan PC-koneeseen, johon oli asennettu WaveView 7.8 -signaalintallennusohjelma. Näytteistystaajuus oli 300 Hz lähes kaikissa mittauksissa.

Mittauksien aikaiset ajoradat oli suunniteltu niin, että kaikki rakenteen kriittiset kohdat oli jaettu neljään ryhmään. Tämän jälkeen puomiston kyseisiä alueita rasiitettiin mahdollisimman kuormittavilla liikeradoilla. Alla esitetään neljää eri venymäliuskar ryhmää varten suunnitellut ajotapahtumat.

1. Korivarren nivel ja korivarsi

Tässä mittauksessa 1-varren ja korivarren välinen osa ja itse korivarsi olivat anturoituja. 1-varren eri kulmilla korivartta käännettiin 0–180, alhaalta ylös. Lisäksi suoritettiin pyöritysmittauksia 1-varren eri kulmilla; varsistoa pyöritettiin vaakasuunnassa ja pysäytettiin sen saavutettua maksiminopeuden.

2. Pyöritysmittaus varsistolle

Tässä mittauksessa varsisto oli suorana vaakatasossa ja mahdollisimman suurella ulottumalla. Anturit sijaitsivat korivarressa, 1-varressa, varsien välisessä osassa sekä pyöritysjalustassa. Varsistoa kiihdytettiin vaakasuoraan kierto liikkeeseen ja varsisto pysäytettiin sen saavutettua maksiminopeus.

3. Jalusta ja 1-varren tyvi

Anturit oli sijoitettu 1-varteen sekä pyöritysjalustaan. Eri 1-varren kulmilla suoritettiin teleisku 0–100 %, eli teleskooppivarsi ulotettiin minimistä maksimiin.

4. Runko ja tukijalat

Tässä mittauksessa tutkittiin tukijalkojen sekä pyöritysalustan alapuolella sijaitsevan runkopalkin jännityksiä. Varsisto oli mittauksen aikana vaaka-asennossa ja sitä pyöritettiin 180° edestä taakse.

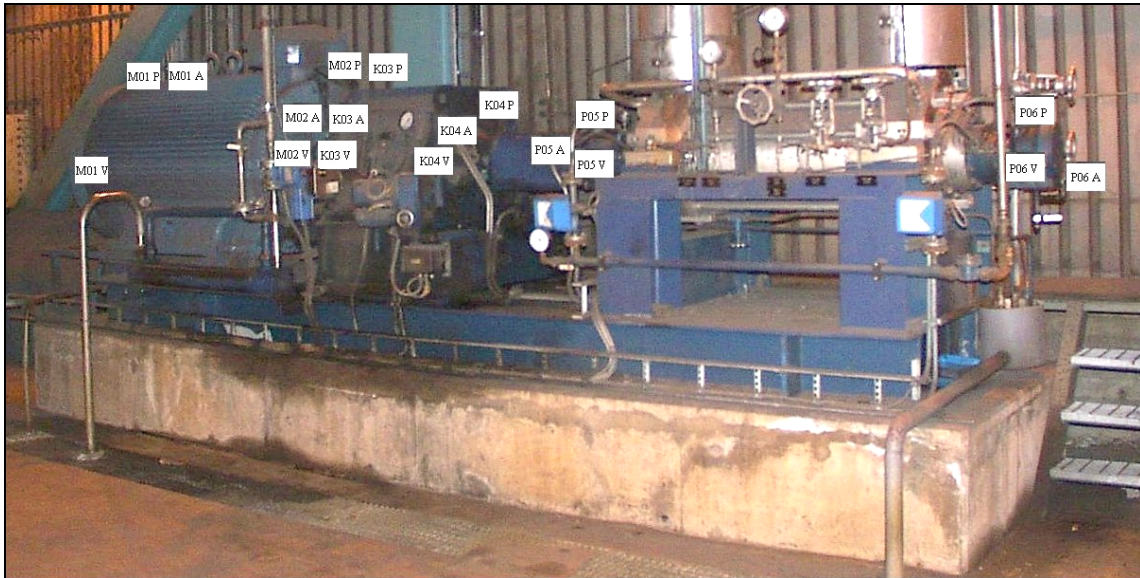
Kaikki kriittisten kohtien jännitykset saatiin kartoitettua ja maksimijännitykset paikannettua. Bronto Skylift Oy käyttää tuloksia hyväksi kappaleessa 6.1 esitetyn sulautetun diagnostiikkajärjestelmän suunnittelussa.

3.5 Rautaruukki Oyj

Rautaruukki Oyj:n tutkimuskohteena oli voimalan kattilan syöttövesipumppu. Laite sopi kohteeksi erinomaisesti, koska se on hyvin kompakti ja tärkeä laite ja siitä mitataan useita eri fysikaalisia suureita. Pumppu syöttää vettä kattilaan, johon on yhdistetty 21 MW:n turbiini. Pumppu käyttöineen on esitetty kuvassa 2. Pumpun pyörimisnopeutta säädetään moottorin ja pumpun välissä olevalla hydraulikytkimellä. Laakereita on yhteensä seitsemän ja niissä on öljykylpyvoitelu.

Nykyistä kunnonvalvontaa tehdään säännöllisin välein kannettavilla värähtelymittauslaitteilla. Mitattuja prosessisuureita, joita seurataan valvomossa, käytetään prosessin säädössä. Suureita ei nykyisellään pystytä tarkastelemaan samassa näytössä, mikä vaikeuttaa mahdollisten ongelmien syiden päättelyä. Tutkimuksen tavoitteena oli eri mittausmenetelmistä saatavan informaatiotiedon (kuten paine, lämpötila ja värähtely) yhdistäminen palvelemaan koneiden kunnon nykytilan määrittämistä. Tämä voidaan toteuttaa pitkälti ohjelmistoja kehittämällä siten, että useiden erilaisten anturien antamaa informaatiota voidaan yhdistää, jolloin päästään luotettavampaan analyysiin ja huolto- sekä korjaustöiden oikeaan kohdentamiseen.

Esimerkkinä saavutetuista parannuksista voidaan mainita, että projektin seurauksena kunnonvalvontahenkilöstö on saanut käyttöönsä saman tietokannan kuin valvomon henkilöstö. Kevään 2001 aikana pumppuun asennetaan kiinteät kiihtyvyyssanturit, ja hankitaan kunnonvalvontajärjestelmä, joka mahdollistaa prosessisuureiden ja värähtelymittauksista saadun tiedon yhdistämisen samalle aikajanelle. Mikäli käynnivalvonnan antamaa tietoa voitaisiin paremmin hyödyntää, olisi mahdollista saada selville se, mikä yhteys on painevaihteluilla pumpun värähtelytasoihin.



Kuva 2. Voimalaitoksen kattilan syöttövesipumppu ja värähtelymittauspisteet.

3.6 Fortek Oy

Stora Enson paperitehtaiden kunnossapidosta vastaavan Fortek Oy:n tutkimuskohteena oli paperikoneen lyhyen kierron nykyinen kunnon- ja käynninvalvonta. Tutkimuksen tavoitteet olivat hyvin samankaltaisia kuin Rautaruukin tapauksessa, kuten eri mittausten menetelmistä saatavan informaation (paine, lämpötila ja värähtely) yhdistäminen palvelemaan koneiden kunnon nykytilan määrittämistä.

Stora Enso Fine Papersin Oulun tehtailla on käytössä manuaalisia ennakkohuolto-mittauksia varten SKF:n sähköinen stetoskooppi sekä kannettava Microlog-tiedonkerääjä ja siihen liittyvä PRISM -tietokoneohjelmisto. Tiedonkerääjää käytetään reittimittauksissa. Kiinteää kunnon- ja käynninvalvontaa varten on Sensodecin SD-10MA- ja SD-10RA -järjestelmät. Sähköinen stetoskooppi on mittaavan kunnonvalvonnan henkilöstöllä mukana koko ajan. Tehdessään rutiinimaisia aamukierroksia mittaajat kuuntelevat kohteita stetoskoopilla ja ratkaisevat sitten, onko aihetta jatkotoimiin. Kuuntelua he pitävät tärkeänä, koska laitteen ominaisääni jää mieleen. Tämän muistikuvan ja kokemuksensa avulla he ratkaisevat, onko syytä tarkempaan analyysiin. Kannettavalla tiedonkerääjällä mitataan yleensä sähkömoottoreiden, pumppujen, erilaisten vaihteistojen ja kiinteisiin valvontajärjestelmiin kytkemättömien laitteiden kuntoa. Tiedonkerääjän käyttö vie enemmän aikaa kuin kiinteiden valvontajärjestelmien käyttö, koska se vaatii itse mittauksen sekä analysoinnin tietokoneella.

Kiinteää kunnonvalvontaa käytetään kohteissa, jotka ovat tuotannon kannalta kriittisiä ja joiden luokse on vaikea päästä, sekä kohteissa, joissa mittaus ei ole käynnin aikana turvallista. Tällaisia kohteita on mm. puristinosalla, viiraosalla ja kuivatusosan huuven sisäpuolella.

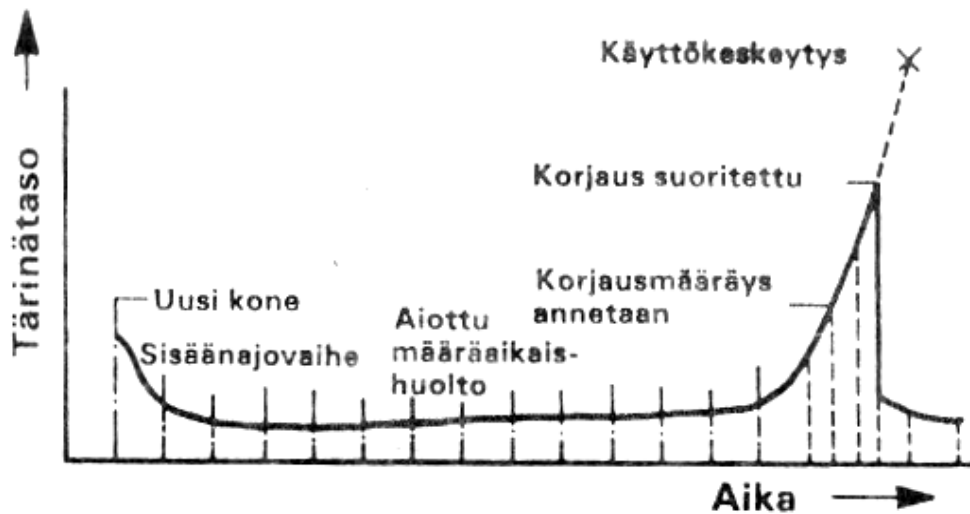
Tällä hetkellä on vaikeutena paperikoneen kunnan- ja käynninvalvonnassa saadun tiedon yhdistäminen. Jouheva tietojen yhdistäminen on tärkeää. Nykyisin mitattavia suureita ovat esimerkiksi värähtelyt, painevaihtelut, neliömassa- ja paksuusvaihtelut, joita esittävät kuvaajat tulisi voida sijoittaa samaan näyttöön erivärisinä käyriä. Tällaisia kuvaajia tarkastelemalla saataisiin analysoinnin tueksi enemmän tietoa helpommin hallittavassa muodossa. Esimerkkinä uusista yhdistelmämahdollisuuksista mainittakoon konesihtien ja perälaatikon syöttöpumpun painevaihteluiden sekä värähtelytietojen yhdistäminen. Näin menetellen helpottuisi paksuus- ja neliömassa-vaihteluiden syiden selvittäminen.

3.7 Plustech Oy

Plustechin case-kohteena oli metsäharvesterin kouran hydraulinen syöttömoottori. Tutkimus suunnattiin erityisesti syöttömoottorin vikatilojen tunnistamiseen ja diagnosointiin mahdollisesti värähtelyantureita hyväksi käyttäen. Tähän käytettiin Plustech Oy:n verstaalleen rakentamaa testipenkkiä. Pitkän aikavälin tavoitteena on tehdä arvio integroidun online-diagnostiikan kustannuksista tai mahdollisen irroitettavan ja siirrettävän mittausmenetelmän kustannuksista verrattuna tuotteen arvon nousuun. Koska kyseinen case kunnonvalvontamittauksiin perustuvine tuloksineen muodostaa selkeän kokonaisuuden, siitä esitetään seuraavassa hieman laajempi yhteenveto.

Pumppujen kunnonvalvontaa on aikaisemmin tehty menestyksekkäästi mm. hyötysuhteen mittauksella, lämpömittauksilla, paineväliaineen analyyseilla ja värähtelymittauksilla. Kolme ensimmäistä menetelmää edellyttävät, että kuluminen tai vaurio on edennyt niin pitkälle, että on syntynyt sisäisiä vuotoja tai kuluminen on irroittanut metallihiukkasia. Värähtely- ja äänitason tarkkailulla vaurio voidaan havaita jo alkuvaiheessa muiden menetelmien vielä kertoessa pumpun olevan kunnossa. Äänitason intensiteetti on huomattavasti pienempi kuin värähtelytason intensiteetti. Ympäristö vaikuttaa äänitasoon voimakkaammin kuin värähtelytason. Näistä syistä päädyttiin värähtelymittauksiin.

Yleensä värähtelytason määrittämiseen käytetään joltakin taajuusalueelta saatua RMS-arvoa eli tehollisarvoa. Trendiseurantaan perustuen sallittu värähtelytaso määritetään yleensä kokemuseräisesti. Esimerkiksi värähtelytason kasvu kaksin- tai kolminker- taiseksi normaaliksi katsotusta arvosta voi olla suurin sallittu värähtelytaso (kuva 3).



Kuva 3. Värähtelytason muutos ja raja-arvon valinta [2].

Konetekniikassa käytetään usein nopeuden tehollisarvoa värähtelysuureena, kun mittaus tapahtuu yleensä kiihtyvyyssantureilla. Signaalin integroiminen nopeussignaaliaksi alentaa kuitenkin korkeita taajuuksia varsin voimakkaasti. Hydraulipumpuissa tapahtuvan kavitaation synnyttämä värähtely on kuitenkin niin korkeataajuisista, että se puoltaa kiihtyvyyden käyttöä värähtelysuureena.

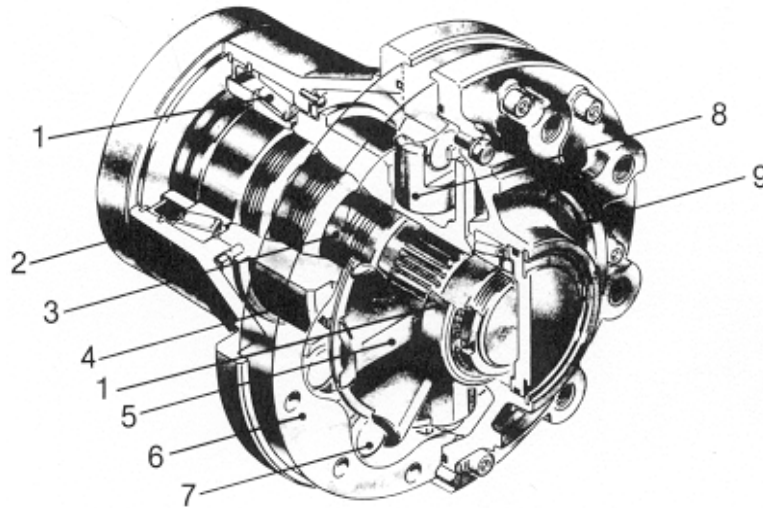
Jos signaalia halutaan tarkastella tarkemmin, pelkkä tehollisarvo ei riitä. Spektrianalysissa signaalin taajuussisältöä tarkastellaan 2-ulotteisessa amplitudi-taajuuskuvaajassa. Tuloksissa on esitetty kiihtyvyyssanturin tehospektri. Tekemällä Fourier-muunnos toiseen kertaan saadaan laskettua kepstri, joka tuo hyvin esille spektrin harmoniset amplitudihuiput.

3.7.1 Mittaus- ja testauskalusto

Mittauksissa käytettiin kannettavaa PC-tietokonetta johon signaalit kerättiin Wavebook 512 -mittauskortin kautta. Käytössä oli myös WBK 14 signaalinkäsittelykortti, jonka avulla virransyöttöä vaativille kiihtyvyyssantureille saatiin virta. AE-anturilla oli oma vahvistimensa. Käytössä oli myös takometri moottorin pyörimisnopeuden mittaamiseen.

Testipenkki sisälsi kaksi Valmetin Black Bruin radiaalimäntäpumpua (kuva 4), joista toinen oli kytketty pyörittäväksi ja toinen jarruttavaksi. Sama öljy kiersi kummankin pumpun kautta. Kuvassa 5 on esitetty testipenkki.

Pumput anturoitiin kahdella kiihtyvyyssanturilla magneettikiinnityksin sekä yhdellä AE- (Akustinen emissio) anturilla. AE-anturille porattiin kierrereikä, johon se aaltojohtimiseen kierrettiin. Väliaineena käytettiin tarkoitukseen kehitettyä rasvaa.



Kuva 4. Valmet Blackbruin radiaalimäntämoottori.



Kuva 5. Testipenkki.

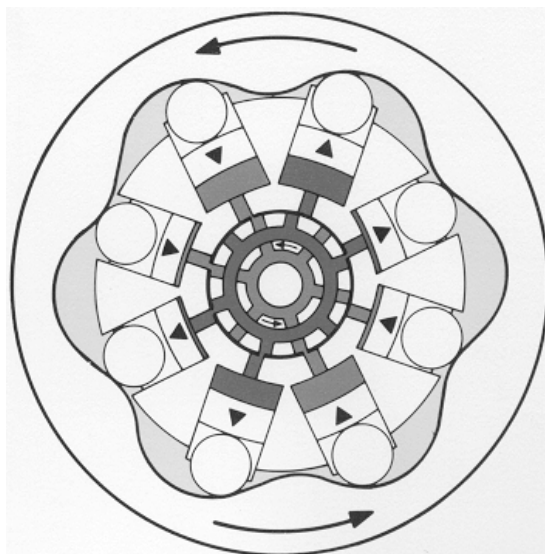
3.7.2 Mittausasetukset ja ajoparametrit

Kiihtyvyyssanturien keruutaajuutena oli enintään 5 kHz, joka mahdollistaa 0–2,5 kHz taajuuskaistan analyysin. Magneettikiinnitys antaa lineaarisen vasteen 2 kHz:iin asti. Mittauksissa käytettyjen kiihtyvyyssanturien herkkyys oli 200 mV/G. AE-anturilta kerättiin signaalia näytteistystaajuudella 500 kHz. Signaali suodatettiin analogisella suodattimella 200 kHz:n keskitaajuudella, jonka kaistanleveys oli yksi oktaavi. Suuren arvon vuoksi mittaukset olivat lyhyitä eli kahden sekunnin pituisia, kun taas kiihtyvyyssanturimittaukset kestivät jopa viisi minuuttia (300 s).

Pumppua ajettiin 100 rpm:n sekä sekä 120 rpm:n nopeuksilla, jotka vastasivat käyttötilanteen nopeuksia. Eri nopeuksia käytettiin, jotta pyörimisnopeuteen verrannolliset värähtelytaajuudet, kuten mäntien iskutaajuus, erottuisivat vakiotaajuuksista, kuten ominaistajuuksista.

Öljyn lämpötilat vaihtelivat 35–55 °C mittauksissa. Lämpötila ei noussut korkeammalle jäähtytyksen takia, joka käynnistyi noin 50°C:n lämpötilassa. Pumpun paine pyrittiin pitämään myös käytäntöä vastaavassa arvossa, noin 100 bar. Öljyn virtausnopeus oli koko ajan hieman alle 100 l/min.

100 rpm nopeudella pyöriessään moottorin mäntien iskutaajuus oli 2400 iskua/min eli 40 Hz. Vastaava taajuus 120 rpm:n nopeudella oli 48 Hz. Tämä on nähtävissä kuvasta 6. Moottorilla on neljä iskuvaihetta, joissa jokaisessa kaksi vastakkaista mäntää on iskussa. Yksittäisen männän iskutaajuus oli 100 rpm:n nopeudella $40 \text{ Hz}/4 = 10 \text{ Hz}$ ja 120 rpm nopeudella 12 Hz.

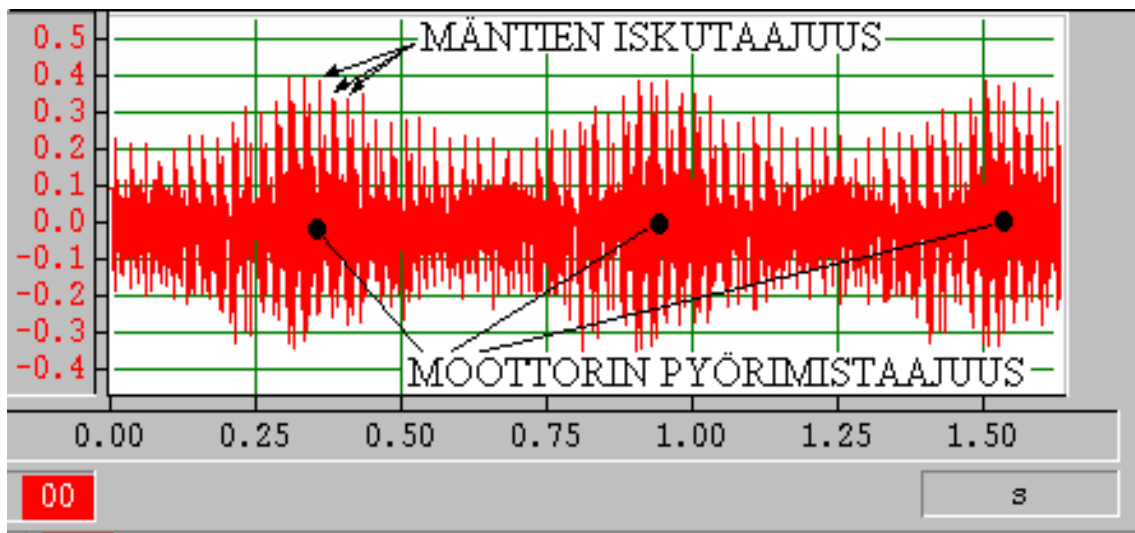


Kuva 6. Moottorin mäntäjärjestys.

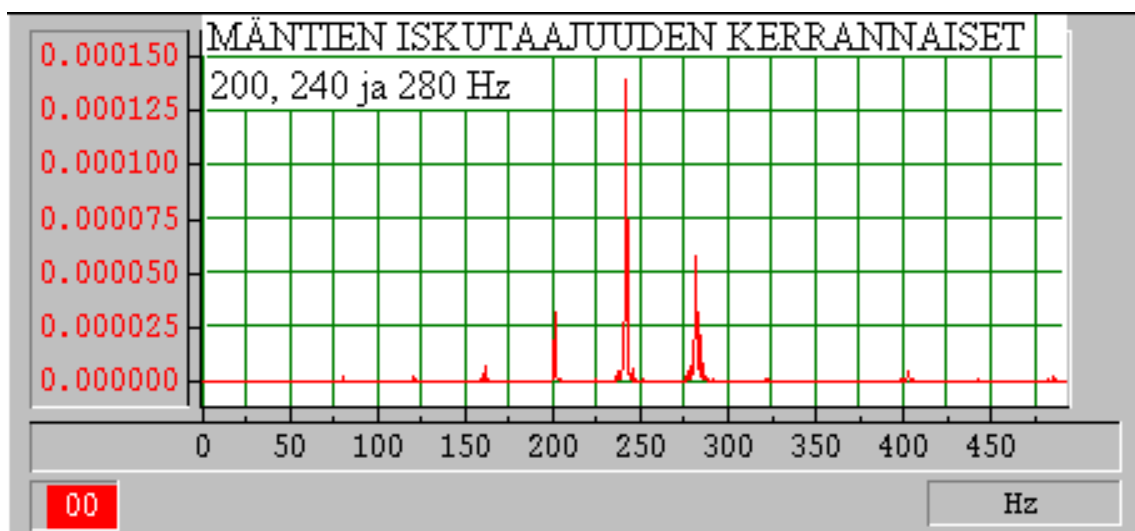
3.7.3 Tulokset

3.7.3.1 Kiihtyvyyssignaalit

Kiihtyvyyssanturit mittasivat alle 2,5 kHz:n värähtelyä. Parhaiten signaaleista oli erotettavissa mäntien iskutaajuus 40–48 Hz, joka ei kuitenkaan näkynyt lineaarisella asteikolla esitettyssä tehospektrissä, vaan oli amplitudimoduloitunut mahdolliselle ominaistajuusalueelle 200–300 Hz. Yleensäkin signaalin tehosta lähes kaikki oli alle 500 Hz:n alueella. Kavitaatio ja muut korkeataajuiset ilmiöt huomioitiin AE-mittauksilla. Myös moottorin pyörimisnopeus oli havaittavissa kiihtyvyyssantureilla.



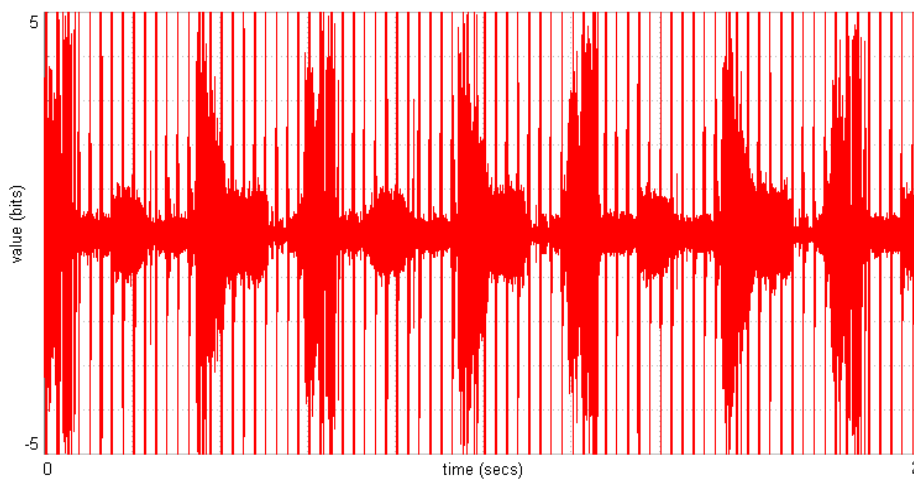
Kuva 7. Kiihtyvyyssanturin aikatazon signaali.



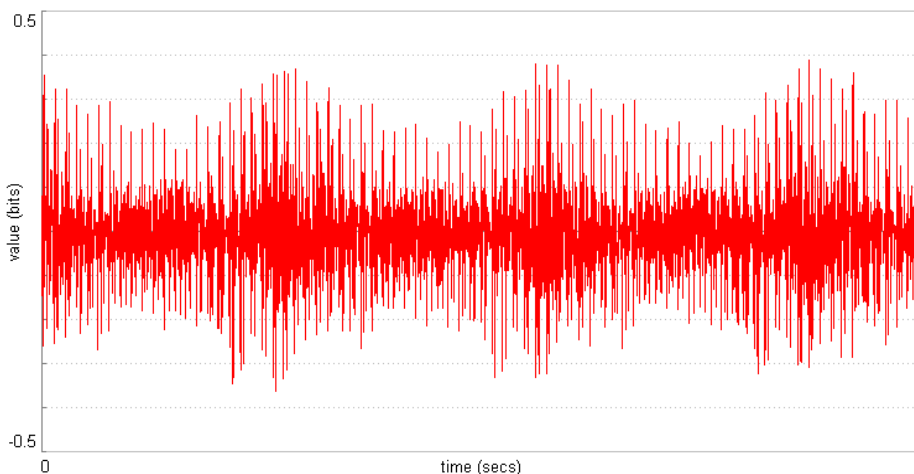
Kuva 8. Kiihtyvyyssanturin tehospektri.

3.7.3.2 Akustinen emissio

AE-signaaleista kaikki ilmiöt oli helpompi havaita kuin kiihtyvyyssignaaleista. Kuvat 9 ja 10 esittävät samoissa olosuhteissa mitattuja AE-signaalia ja kiihtyvyyssignaalia. Mäntien iskutaajuus näkyi erittäin selvästi tiheinä pystyraitoina kuten myös muut ilmiöt. Kuvaajissa näkyy noin 3 moottorin kierrosta. Kiihtyvyyssignaalista ne on myös huomattavissa mutta vaikeammin. Suoritetun mittauksen valossa akustista emissiota voi pitää herkkänä menetelmänä erilaisten käyntitilojen tunnistamiseen. AE-signaalin voimakkuus näytti olevan suuresti riippuvainen öljyn paineesta; hieman suuremmilla paineilla AE-arvot moninkertaistuivat.



Kuva 9. AE-signaali.



Kuva 10. Kiihtyvyyssanturin signaali.

3.7.4 Johtopäätökset

Akustisen emission tarkkailu on tehokas ja soveltuva menetelmä myös radiaalimäntäpumppeihin. Suuret AE-tasojen vaihtelut esimerkiksi paineen funktiona vaikeuttavat kuitenkin esimerkiksi yksikäsitteisen hälytysrajan asettamista signaalin voimakkuudelle. Tästä syystä mahdollisen online-diagnostiikan toimivuudelle vaaditaan AE-signaalin lisäksi myös muita suureita, kuten öljynpaine, öljyn lämpö ja pyörimisnopeus. Näiden signaalien perusteella voitaisiin laatia esim. asiantuntijajärjestelmä, neuroverkko- tai sumean laskennan sovellus, joka tarkkailisi pumpun toimintakuntoa. Neuroverkko-sovellukset ovat parhaimmillaan kohteissa, jotka vastaavat fyysisesti toisiaan. Tällöin samaa verkkoa voitaisiin käyttää eri kourien pumpuissa. Myös kiihtyvyyssanturin voidaan todeta soveltuvan radiaalimäntäpumpun diagnostiikkaan.

4. Tulevaisuuden diagnostiikkaratkaisuisa hyödynnettäviä menetelmiä

4.1 MEMS-anturit

Mikroanturit ovat pieniä mikromekaanisia antureita, joita käytetään erityisesti suuri-volyymisissa autoteollisuuden sovelluksissa, mutta on odotettavissa, että myös teollisuuden kunnonvalvontasovellusten määrä tulee lähivuosina lisääntymään. MEMS-tekniikan soveltaminen ja suunnittelu teollisuuden koneisiin ja laitteisiin jo niiden valmistusvaiheessa tarjoaa oivan mahdollisuuden kunnonvalvonnan tehostamiseen ja käyttövarmuuden parantamiseen. Tässä luvussa esitetään periaatetasolla kaksi kunnonvalvontakohteisiin soveltuvaa mikroanturia, jotka on suunniteltu liikkeenmittaukseen ja hälytysrajatyypiseen kaasumittaukseen [2].

Puolijohdeteollisuudesta kehitetyillä menetelmillä voidaan valmistaa pieniä, mikromekaanisia antureita ja toimilaitteita, jotka ovat suurissa sarjoissa valmistettuina halpoja. Mikroantureiden perusmateriaali on pii. Piin murtolujuus on teräksen luokkaa ja se on täysin elastinen murtolujuuteen asti alle 650 °C:n lämpötilassa [4]. Piistä valmistetun anturin ylittäessä murtolujuutensa se rikkoutuu pieniksi pirstaleiksi. Soveltamalla teollisuuden kunnonvalvontaratkaisuihin sopivia mikroantureita, voidaan piin erinomaiset mekaaniset ominaisuuden hyödyntää myös teollisuuden anturi-sovelluksissa ja kunnonvalvontaratkaisuisa.

Hälytysrajatyypisellä kaasuanturilla on saatu hyvä mittausvaste hiilivetykaasuille. Kaasuanturia voidaan käyttää pienten vuotojen hälytysrajatyypiseen valvontaan säiliöiden ja venttiilien kunnonvalvontasovelluksissa. Kehitetyn liikeanturin tarkkuus on saatu erittäin hyväksi. Liikeanturin tarkkuus rajoittuu mikromekaanisen kalvon spontaaniin lämpövärähtelyyn. Mikromekaanista liikeanturia voidaan käyttää venttiilien, laakereiden ja säiliöiden kunnonvalvontaan.

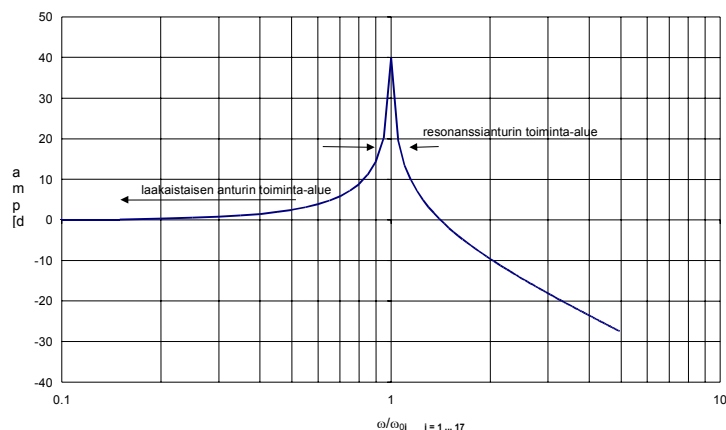
4.1.1 Liikeanturit

Värähtelyä mittaavat liikeanturit perustuvat anturielementin elastisen muodonmuutoksen mittaamiseen. Kiihdyttävän voiman vaikuttaessa anturiin, kohdistuu massaan hitausvoima, joka taivuttaa anturin jouta. Jousen asema ja muutos voidaan mitata mm. kapasitiivisesti.

Värähtelyä mittaavia, mikroanturitekniikalla valmistettuja kiihtyvyysantureita käytetään suurissa sarjoissa mm. autoteollisuuden tuotteissa (jousitus, ABS, turvavyö jne.). Teollisuuden kunnonvalvonnan sovelluksissa tarvittavat mittaus- ja taajuusalueet sekä resoluutio- ja pakkausvaatimukset poikkeavat autoteollisuuden sovelluksista, jolloin näiden suora soveltaminen kunnonvalvonnassa ei ole useinkaan mahdollista. Teollisuuskohteiden kunnonvalvonnassa perinteisillä tekniikoilla valmistettuja liikeantureita käytetään mm. pyörivien koneiden epätasapainon, linjausvirheen ja laakerivaurioiden havainnoinnissa, rakenteiden kunnonvalvonnassa, särönkasvun seurannassa sekä virtauspyörteiden aiheuttamien rakennevärähtelyjen havainnoinnissa. Kohteesta ja mm. koneen pyörimisnopeuden takia syntyneet värähtelyamplitudit voivat olla hyvinkin pieniä.

Korkeataajuisia, yli 40 kHz:n taajuudella rakenteessa olevaa värähtelyliikettä kutsutaan akustiseksi emissioksi. Akustista emissiota syntyy esimerkiksi turbulenttisesta vuotovirtauksesta tai kun rakenteen vaurioituneen kohdan särö kasvaa kuormituksen seurauksena. Lisäksi se on osoittautunut erittäin herkäksi menetelmäksi hitaasti pyörivien (rpm 0,5–30) koneiden vierintälaakereiden vaurioiden havainnoinnissa [5]. Menetelmän etuna on, että koneen normaalista käynnistä johtuvat värähtelyt jäävät yleensä kauaksi mittausalueen ulkopuolelle eivätkä vaikuta mittaussignaaliin [6].

Liikeanturin havainnointikyky riippuu sekä anturin resoluutiosta että värähtelyn taajuuskaistasta ja sen yksittäisten taajuuksien signaali-kohinasuhteista. Hyödyntämällä anturin mekaanista resonanssitaajuutta, voidaan suunnitella antureita, jotka kytkeytyvät mahdollisimman hyvin mitattavaan värähtelyyn [7]. Resonanssiin perustuva anturi on luonteeltaan kapeakaistainen. Mikromekaniikalla voidaan toteuttaa myös laajakaistainen hyvän resoluution omaava liikeanturi (kuva 11). Esimerkiksi kaasuvaimennetun anturin vaste on taajuuden funktiona tasainen.

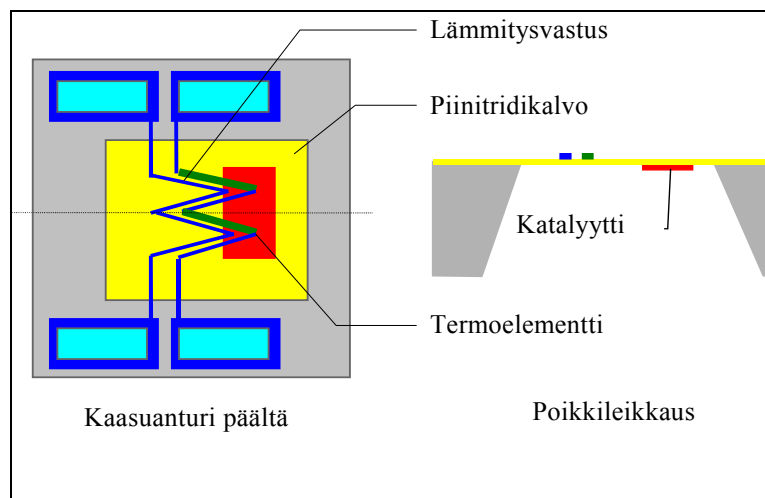


Kuva 11. Korkeataajuisen värähtelyn mittaamiseen soveltuvan liikeanturin resonanssitaajuus voidaan valita taajuusalueelta 100–900 kHz [3].

4.1.2 Kaasuanturi

Hiilivetykaasujen kaasupitoisuusmittauksia voidaan käyttää venttiilien ja säiliöiden tiiviyden valvontaan. Hiilivetykaasuille asetetut viranomaismääräykset edellyttävät, että hiilivetykaasujen vuoto ympäristöön on kyettävä havaitsemaan ja paikallistamaan nopeasti. Mittauskohteet ovat usein pieniä ja ahtaita (venttiilien ja säiliöiden tiivisteet) ja vuotava kaasu on tasaisesti jakautunutta. Mikrokalorimetriperiaatteella toimiva mikromekaaninen hiilivetykaasuanturi sopii pienen kokonsa vuoksi hyvin ahtaista paikoista suoritettaviin tasaisesti jakautuneen kaasun mittauksiin.

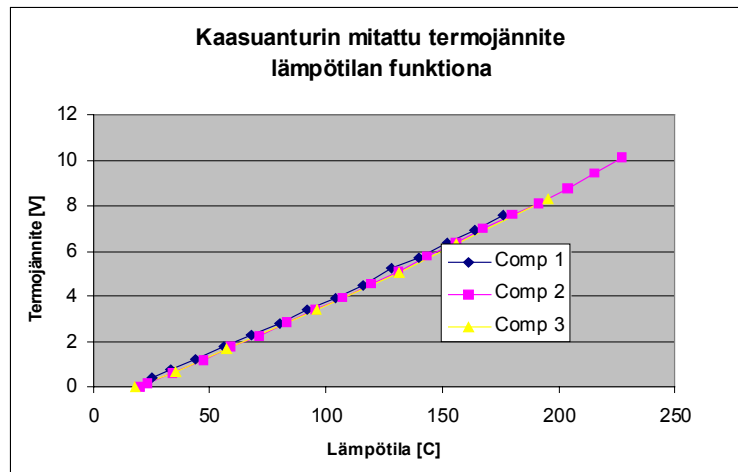
Hiilivetykaasujen mittaamisessa potentiaalinen menetelmä on käyttää anturissa mikrokatalyyttipintaa (esim. platina), joka alentamalla luontaista reaktiolämpötilaa katalysoi hiilivetyjen palamisreaktion (kuva 12) [8]. Palamisesta muodostunut lämpö voidaan mitata termoparilla. Yhden termoparin tuottama jännite on hyvin pieni, joten on tarkoituksenmukaista käyttää useita liitoksia sarjassa. Kaasuanturissa käytetään sadan liitoksen muodostamaa sarjaa, jolloin termoparin tuottama signaali saadaan laskemalla yhteen kaikkien liitosten tuottama termojännite.



Kuva 12. Kaasuanturin periaate [3].

Anturissa olevalla lämmitysvastuksella säädetään katalyytti optimaaliseen toimintalämpötilaan. Anturin ryömintä ja ympäristön lämpötilamuutosten vaikutus eliminoidaan referenssitermopareilla, jotka ovat muuten samanlaisia kuin mittaustermoparit, mutta niiden läheisyydessä ei ole katalyyttiä. Anturin antama jännite on nolla tasapainotilassa. Termopatsaan lämpötilariippuvuus on esitetty kuvassa 13. Hiilivetykaasun läsnäollessa syntyy anturiin terminen jännite. Palamislämpötila riippuu sekä hiilivetykaasun pitoisuudesta että kaasun tyypistä. Kaasuanturit on suunniteltu siten, että ne soveltuvat mm. venttiileistä ja säiliöistä suoritettavaan vety-, metaani- ja eteenikaasujen

hälytysrajatyypiseen valvontaan. Oikealla suunnittelulla kaasuantureilla päästään ppm-tason indikointiherkkyyteen.



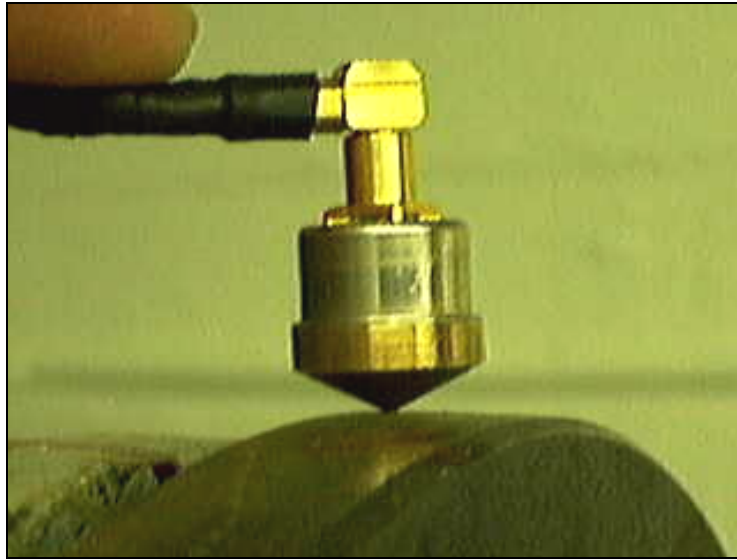
Kuva 13. Kaasuanturin termojännite lämpötilan funktiona [3].

4.1.3 Mittauselektronikka ja kotelointi

Anturielementti tarvitsee mittauselektroniikan ennen kuin signaali voidaan lukea esimerkiksi kunnonvalvonnan mittausjärjestelmällä. Kapasitiivisen anturin signaali vahvistetaan mahdollisimman lähellä anturielementtiä esivahvistimella, joka voidaan koteloida anturielementin yhteyteen. Varsinainen vahvistus tapahtuu erillisellä jännitevahvistimella, joka skaalaa signaalin halutuksi suureeksi (esim. oletetulla mittausalueella vahvistettu ulostulo on ± 5 V). Mittauselektronikkaketjun toiminta määrää usein anturin sisäisen kohinatason, jonka suuruus vaikuttaa suoraan sekä anturin dynaamiseen että staattiseen resoluutioon. Kohdassa 4.1.1 esitetylle korkeille taajuuksille suunnitellulle ja prosessoidulle liikeanturille kehitetty lukuelektronikka on saatu niin hyväksi, että resonanssissa anturin tarkkuus rajoittuu mikromekaanisen kalvon spontaaniin värähtelyyn, ns. Brownin liikkeeseen, jossa elementin oma lämpökohina "potkii" anturikalvoa [3]. Anturia voidaan käyttää myös laajalla kaistalla, mutta tällöin resoluutio on huonompi. Jotta anturit toimisivat halutulla tavalla resoluutiovaatimukset täyttäen, on antureiden elektronikkaosa usein viritettävä erillisillä testimittauksilla vastaamaan kohteessa tai kohteissa vallitsevia kenttäoloja.

Antureiden oikeaoppisen koteloinnin toteutus on vaativa ja monimutkainen tehtävä, joka pitää ratkaista aina tapauskohtaisesti. Kotelon suunnittelussa tulee huomioida se, että mitattava suure pääsee vaikuttamaan mahdollisimman esteettä anturielementtiin. Kaasuanturilla tämä on toteutettu pakkaamalla anturi päältä avonaiseen koteloon.

Värähtelyä mittaavien antureiden ei tarvitse olla prosessin kanssa suoraan suorassa vuorovaikutuksessa, sillä ulkoinen kiihtyvyyys vaikuttaa suoraan kotelon sisällä olevaan ulokepalkkiin. Anturielementti ja sen liityntäelektronikka voidaan koteloida täysin hermeettisesti, jolloin kiihtyvyyttä ja värähtelyjä mittaavat anturit saadaan kestävämmän koviakin prosessiolosuhteita. Kuvassa 14 on esitetty koteloitu liikeanturi. Anturikotelon otsapinta-ala on pieni, jotta anturilla voidaan mitata MHz-alueella olevia värähtelyitä.



Kuva 14. Korkeataajuisten ilmiöiden mittaamiseen suunniteltu kotelo liikeanturille [3].

4.1.4 Yhteenveto MEMS-antureiden mahdollisista käyttökohteista

Aikaisemmassa tutkimuksessa laaditun raportin [4] ja suoritettujen arviointien perusteella MEMS-anturointi näyttää soveltuvan parhaiten paineen, värähtelyn (kiihtyvyyden ja akustinen emissio) sekä kaasujen mittauksiin. Taulukossa 1 on esitetty joitakin mahdollisia käyttökohteita MEMS-antureille.

Taulukko 1. MEMS-anturien mahdollisia käyttökohteita [9].

	Paine	Värähtelyt	Hiilivetyvuodot
Käyttökohte	Liikkuva kohde, epäpuhtauksia sisältävä massa tai kemialliset reaktiot --> välikalvoratkaisu	Dynaamisen kiihtyvyyden mittaukset, akustisen emission mittaukset	Mikrokatalyyttipinnan reagointi hiilivedyn ja hapen kanssa -> mitataan palamista termoelementillä
Edut		AE-anturi (kapasiitiivinen): suuri herkkyys ja erottelukyky varsinkin suurilla taajuuksilla -> pienienkin vuotojen havaitseminen mahdollista	
Rajoitukset	Piille max. paine 30 bar. Alle 20 bar -> erittäin hyvä, 20–30 bar -> koteloinnin oltava riittävän jäykkä	Jos IC-piirejä integroitu anturiin -> lämpötilan oltava alle 125 C	Edellyttää mittauspisteen hyvää tuuletusta ja happipitoisuutta -> täyttyy venttiileillä. Myös säiliöt.
Valmistusmenetelmä	SOI-tekniikka, (tarvitaan lisää tietoa)	SOI-tekniikka: speksit ovat olemassa -> vaativat räätälöintiä.	Mikrokatalyyttipinta: esim. Platina, piinitridi, pii-yhdistelmä.
Sovellusesimerkkejä	Kavitaation valvonta -> voidaan käyttää pumpua mahdollisimman lähellä kavitaatorajaa ylittämättä sitä	<i>Värähtely:</i> paperikoneet, laakereiden kunnonvalvonta, hydraulikkamoottorin valvonta. <i>AE:</i> Venttiilien tiivisteiden ja sulkuventtiilin välisen vuodon diagnostiikka	Venttiilin vääntöakselin tiivisteiden kautta venttiileistä tapahtuvien hiilivetyvuotojen valvontaan
Integrointimahdollisuudet	Mikrofonin ja paineanturin integrointi samaan koteloon	<i>Värähtely:</i> Mahdollinen integrointi lämpötila-anturin kanssa -----> sopii hyvin diesel- ja kaasumoottoreihin.	

Integroitujen anturiratkaisujen lisäksi potentiaalisia kehityskohteita ovat yksittäiset erikoissovelluksiin suunnitellut anturielementit. Pienten paineiden (≤ 200 mbar) ja paine-erojen mittaamisessa on suunnitteilla luotettavia ja kestäviä SOI-sovelluksia, joita voidaan tarvittaessa jatkokehittää mm. moottoreita valmistavien yritysten käyttöön. Jatkokehitystä varten tarvitaan sovelluskohtaista tietoa sekä on kiinnitettävä huomiota anturin mekaaniseen liityntään [9].

4.2 Automaatioväylät

Automaatioasteen noustessa ja pyrittäessä hajauttamaan prosessinohjauksesta ja -säädestä vastaava älykkyys kenttälaitteille tiedonsiirtotarve kasvaa. Se voidaan tyydyttää parhaiten sarjamuotoisilla digitaalisilla väyläratkaisuilla, joita antureiden ja toimilaitteiden tasolla kutsutaan kenttäväyliksi. Yleisesti väylät jaetaan hierarkkisesti kolmeen tasoon tiedon lisääntyessä tasoja ylös noustessa. Ylemmällä tasolla on aina käytettävissä alemman tason oleellinen informaatio.

Kenttäväylän perimmäisenä tarkoituksena on korvata perinteinen analoginen 4–20 mA -virtaviesti digitaalisella viestillä [10]. Digitaalinen kenttäväylä mahdollistaa kaksisuuntaisen ja monipuolisemman tiedonsiirron kuin perinteinen parikaapeliratkaisu. Siihen voidaan kytkeä useita satoja laitteita protokollan mukaan. Kenttäväylällä kulkeva tieto on yleensä ohje- ja oloarvoja.

Toisaalta automaatiotekniikka kokonaisuutena on suuressa muutoksessa. Järjestelmät ovat muuttuneet ja muuttuvat tulevaisuudessakin suuresti. Uusia suuntauksia tehdasautomaatioissa ovat laitteiden älykkyys, paikallisverkot, internet ja mobiliteetti. Tietoliikenteen ja tietotekniikan soveltaminen automaatioon mahdollistaa tehtaan tietojärjestelmien integroimisen yhdeksi kokonaisuudeksi, jolla järjestelmää hallitaan. (Total Process Management) Järkevästi tämä saadaan toteutettua standardikomponenteista, niin ohjelmisto- kuin laitteistopuolellakin. Ethernet-tyyppiset kenttäväylät, Web-pohjaiset käyttöliittymät ja Windows NT:n käyttö tekevät tuloaan. Etäteknologiat mahdollistavat laitteiden ja prosessien käytön kauempaa. Laitteiden koon pieneneminen, laskentateho ja tietoliikenne synnyttävät kokonaan uuden osa-alueen automaatioon: laitteet ovat älykkäitä ja keskustelevat keskenään. Myös UMTS:n (Universal Mobile Telephone System) tulo lähivuosina vaikuttaa: integroitu tietokone puhelimessa käy ohjaukseen ja valvontaan jolloin sijainnin merkitys vähenee [12].

4.2.1 CAN

CAN-väylän toteutuksessa on otettu huomioon ajoneuvoympäristön ja -teollisuuden sanelemat vaatimukset: lyhyet vasteajat, sähkömagneettisten ja muiden häiriöiden sietoisuus ja havaitseminen, laaja lämpötila-alue, lyhyet väyläpituudet, helppokäyttöisyys, uusien moduulien helppo liitettävyys sekä alhaiset komponenttikustannukset. Nämä vaatimukset ovat suurelta osin samoja työkonerympäristön ja -teollisuuden asettamien vaatimusten kanssa [10]. CAN-tiedonsiirtoprotokolla kestää fyysisen johdon katkeamisen jumittumatta kokonaan; verkkoon jäljelle jääneet laitteet jatkavat keskustelua keskenään.

4.2.2 Modbus

Modbus on alunperin 1970-luvulla kehitetty ohjelmoitavien logiikoiden liittämiseen tarkoitettu väylä. Erittäin yksinkertaisen protokollan vuoksi väylä on helppokäyttöinen. Sitä on käytetty esimerkiksi prosessi- ja selluteollisuudessa prosessien seuraamiseen ja ohjaamiseen. Modbus on edullinen tapa liittää eri valmistajien laitteita kommunikoimaan keskenään valmiilla yhteisellä protokollalla. Modbus-liikennöintiä voidaan käyttää myös modeemien yhteydessä, jolloin voidaan toteuttaa kaukovalvontaratkaisuja [11].

4.2.3 Bitbus

Bitbus on 1980-luvulla Intel Corporationin toimesta reaaliaikaisiin anturi- ja toimilaiteliitännöihin suunniteltu väylä. Fyysisesti tieto siirtyy pitkin päätevastuksilla varustettua parikaapelia maksimitiedonsiirtonopeuden ollessa 2400 kbps 30 metrin matkoille tai esim. 375 kbps 300 metrin matkoille. Tämän suositun mutta vanhahkon väylän maksimiosoitteiden lukumäärä on 250 [12].

4.2.4 Profibus

Profibus on DIN-standardiehdotus prosessiautomaation kenttäväyläksi 1980-luvun lopulta. Yksinkertaisen protokollan vuoksi se on helppokäyttöinen. Muun muassa Siemens-automaatiolaitteet käyttävät tätä väylää. Maksimi tiedonsiirtonopeus on 500 kbps alle 200 metrin siirtotiellä. Profibus on erityisen sopiva reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon. Profibus DP on suuren nopeuden kenttäväylä jota voidaan harkita vaihtoehtona esim. Ethernetin käytölle tehdasautomaatiossa. Fyysisesti väylän rakenne vaihtelee [12].

4.2.5 Foundation

Fieldbus Foundationin kehittämä kenttäväylä, jota kutsutaan luonnostaan vaarattomaksi ja turvalliseksi. Toteutuksessa voidaan käyttää osittain vanhoja kenttäväyliä. Väylä jakaantuu kahteen tasoon, joista alemman tason segmenttejä ovat H1-väyläsegmentit. Tiedonsiirtonopeus niissä on tavallisesti 31,25 kbps. Alemman tason toteutukseen voidaan käyttää mahdollisesti vanhaa kaapelointia. Ylemmän tason H2-segmentti voidaan toteuttaa esim. Fast Ethernet -teknologialla, jolloin nopeus on 100 Mbps. Täten kokonaistiedonsiirtonopeus saadaan suureksi. Keskinäiskäytettävyyden sanotaan olevan hyvä, mikä tarkoittaa sitä, että on mahdollisuus liittää ja käyttää useiden eri valmistajien laitteita samassa kenttäväylätoteutuksessa menettämättä toimintoja [12].

4.2.6 FIPIO

FIPIO pohjautuu v. 1984 alkaneeseen FIP kenttäväylähankkeeseen (Factory Information Protocol). Väylän nopeus on tavallisesti 1 Mbps, ja signaalin siirtoon käytetään suojattua ja kierrettyä parikaapelia tai valokuitua. Maksimi väylänopeus on 2,5 Mbps. Sähköisten toistimien ansiosta tiedonsiirtomatkat voivat olla pitkiäkin, hajautuksen maksimipituus toistimilla on 5000 metriä [12].

4.2.7 HART

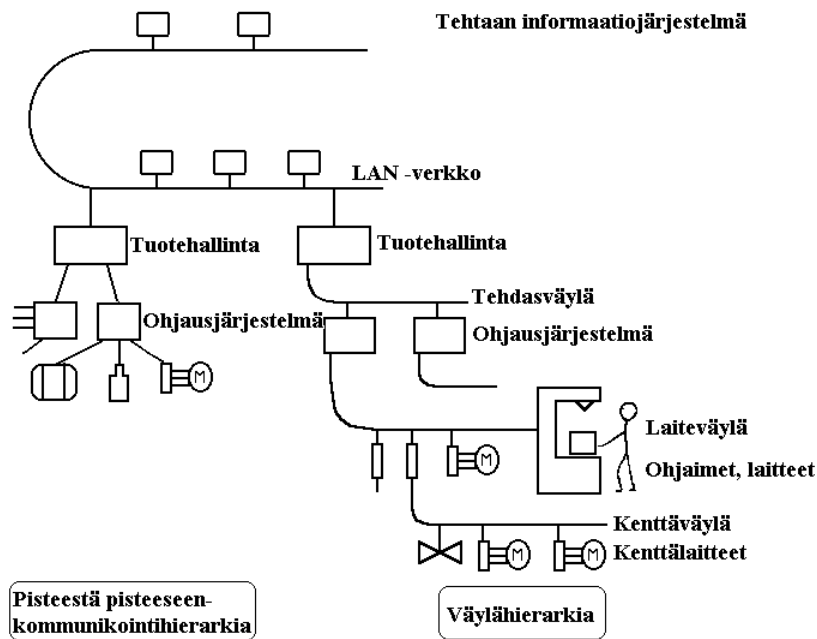
HART on ainoa avoin kenttälaitteiden tiedonsiirtoprotokolla. Sitä käytetään ylivoimaisesti eniten eri valmistajien kenttälaitteissa. Yhä edelleen tulee uusia HART-protokollaa tukevia laitteita markkinoille. Etuna on samanaikainen analoginen ja digitaalinen tiedonsiirto. Siirtotienä on parikaapeli, ja tiedonsiirtonopeus on 1,2 kbps. HART ei siis sovellu laajakaistaisen informaation siirtoon, mutta vähäistä informaatiota lähettäviin ja vastaanottaviin kohteisiin se on suosittu valinta. Nyrkkisääntönä voidaan käyttää yhden sekunnin kulumista yhden mittauksen suorittamiseen [12].

4.2.8 Bluetooth

Bluetoothin kaupallistumisen ennustetaan käynnistyvän kunnolla vuoden 2001 alusta. Se on langattoman tiedonsiirron standardi, joka osittain kilpailee myös WLAN-sovellusten kanssa. Ericssonin kehittämän Bluetooth-teknologian edut ovat edullisuudessa, yksinkertaisuudessa, alhaisessa virrankulutuksessa ja standardin aikaan saamassa yhteensopivuudessa. Tavoitteena on saada 1 Mbps:n lähetin- tai vastaanotin-yksikköjen hinnaksi 5 \$ (≈ 35 mk). Laitteita ja ohjelmistoja saa kehittää ilman rojaltimaksuja. Ennustusten mukaan v. 2001 loppuun mennessä Bluetooth pitäisi löytyä jo 100 miljoonasta tietokoneesta, kämmentieturista ja puhelimesta [12].

4.2.9 Ethernet TCP/IP

Nykyinen periaatteessa kolmen tason automaatiojärjestelmien verkkoarkkitehtuuri TCP/IP on haavoittuva siinä suhteessa, että kokonainen pääväylä menettää toimintakykynsä häiriön sattuessa jossakin kohtaa kaapelia. Ethernet-verkko voidaan toteuttaa tähtimallilla, jolloin ongelma voidaan kiertää. Solmut eli laitteet ja ohjaimet ovat kukin kytketty omalla johdollaan keskittimiin.



Kuva 15. Perinteinen automaatiojärjestelmä [12].

4.2.10 WLAN

WLAN-kortit toimivat langattomasti ja niitä voidaan käyttää suoraan Ethernet/TCP/IP-verkkojen yhteydessä. Näin langattomuus saadaan helposti toteutettua samaan tapaan kuin Bluetoothissakin. Langattomat verkkokortit ovat vielä kalliita eikä niillä ole järkevää lähteä toteuttamaan koko verkon langattomuutta. 11 Mbps:n tiedonsiirtonopeus ohittaa kuitenkin reippaasti Bluetoothin tarjoaman kapasiteetin.

WLAN on siis helposti käytettävissä langattomana laajenuksena tehtaan väylä-ratkaisussa. PC-tietokone voidaan esimerkiksi kytkeä jonkin tehtaan osa-alueen antureihin jollain keinolla eli voidaan esimerkiksi käyttää vanhempia kenttäväylä-tekniikoita. Tämän jälkeen kone voidaan kytkeä koko tehtaan lähiverkkoon esimerkiksi WLAN-verkkokortein [12].

4.2.11 Yhteenveto

Ethernet valtaa alaa tehdasautomaatiossa erityisesti, kun suunnitteilla olevat lähinnä fyysiset muutokset lisätään Ethernet-standardiin. Se saattaa muodostaa tehdasautomaation perustan laajakaistaiseen tiedonsiirtoon. Muita väyliä kuten CANia ja Profibusia käytetään enemmän alemman tason osaratkaisujen tapaan sekä erikoissovelluksissa.

Myös Bluetoothilla on merkittävä asema tehdasautomaatiossa joidenkin vuosien kuluttua. Se ei ainakaan aluksi kilpaile Ethernetin kanssa, vaan muodostaa tiettyihin kohteisiin soveltuvamman osan automaatioverkkoa, joka voi toimia esimerkiksi yhdessä Ethernetin kanssa. Myöhemmät laajakaistaisemmat Bluetooth-standardit saattavat mahdollistaa sen yleistymisen ensisijaisena automaatiotiedonsiirron tapana.

Taulukko 2. Väylät ja niiden ominaisuudet [12].

	CAN	Modbus	Bitbus	Profibus
Sovelluskohde		Ohjelmoitavat logiikat	Reaaliaikainen ohjaus	Prosessiautomaatio
Siirtotie	Kierretty pari tai optinen kuitu	Kierretty pari	Kierretty pari	Kierretty pari
Maksimi siirtonopeus	1 Mbps	38,4 kbps	2,4 Mbps	500 kbps
Maksimi siirtotien pituus	Ei määritelty (n. 40m)	Sovelluskohtainen	1,2 km	1,2 km
Asemien maksimiluku-määrä	Käytännössä n. 16	247	250	127

	Foundation	FIPIO	Bluetooth	Ethernet
Sovelluskohde	Tehdasautomaatio	Tehdasautomaatio	Yksityiskäyttö, tehdasautomaatio	Toimistoverkot, tehdasautomaatio
Siirtotie	Kierretty pari	Kierretty pari, valokuitu	Langaton	Koaksiaali, kierretty pari tai langaton
Maksimi siirtonopeus	31,25 kbps	1 Mbps	1 Mbps	1 Gbps
Maksimi siirtotien pituus	1900 m	5 km toistimilla	100 m	500 m
Asemien maksimiluku-määrä	Ei määritelty	Ei määritelty	Rajoittamaton (8 yhdessä piconetissä)	1024

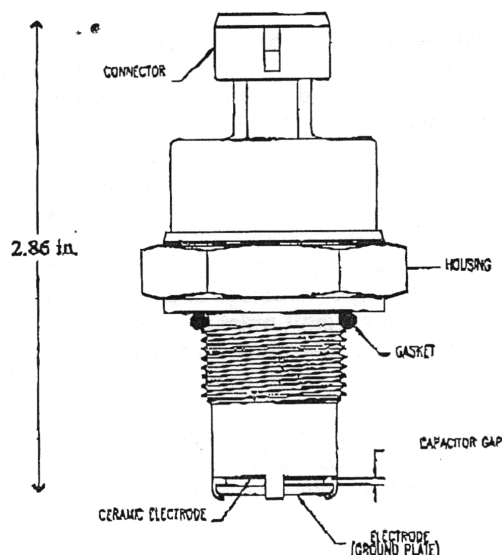
4.3 Esimerkkejä ei-perinteisistä kunnonvalvonta-antureista

4.3.1 Dielektrisyysvakiota mittaavat öljyn kunnonvalvonta-anturit

Öljyjen kunnonvalvontaan on saatavissa useita eri valmistajien kehittämiä antureita. Anturit perustuvat yleensä dielektrisyysvakion mittaamiseen ja niihin on saatettu integroida myös muita mittauksia. Joissakin ajoneuvojen valvontajärjestelmissä tällaista anturia käytetään diagnostiikkajärjestelmän osana, jolloin öljyn tilan määrittämisessä otetaan huomioon myös muita moottorin käyttöä mittaavia parametreja [15].

Dielektrisyysvakion arvo kasvaa öljyn vanhentuessa ja se korreloi kokonaishappoluvun (TAN) kanssa. Kokonaishappoluku on hyvä öljyn huononemisen indikaattori. Esimerkkinä tällaisesta anturista voidaan mainita Kavlico-anturi (Kavlico Corporation, USA), joka on periaatteeltaan kondensaattori, jonka kapasitanssi lasketaan dielektrisyysvakion funktiona (kuva 16).

VTT Valmistustekniikka on tutkinut hydraulioöljyjen vesipitoisuuden ja öljyn hapettumisen myötä tapahtuvaa ikääntymistä Kavlico-anturilla [13]. Tehtyjen kokeiden perusteella ei voida varmasti arvioida anturin soveltuvuutta moottoriöljyjen kunnon seurantaan. Voidaan kuitenkin olettaa, että moottoriöljyjen vanheneminen, jossa happamilla palamistuotteilla on merkittävä osa, on kyseisellä anturilla paremmin hallittavissa kuin hydraulioöljyjen muutokset.



Kuva 16. Kavlico-anturi (<http://www.kavlico.com>).

Muita vastaavanlaisia öljyantureita ovat Windrock Inc.:n valmistama dielektrisyysanturi sekä Delphi Automotive Systemsin valmistama Intellek-anturi. Valmistajien mukaan antureilla voidaan havaita myös vesi- ja glykolikontaminaatioita, viskositeettimuutoksia, öljyn nokeentumista ja lisääinemuutoksia. Valmistajat lupaavat öljynvaihtovälien pitenevän anturien avulla parhaimmillaan jopa kaksin-kolminkertaisiksi. Puutteena on puolueettoman vertailututkimuksen vähäisyys. Arviointi edellyttäisi systemaattista testausta eri-ikäisillä tai keinotekoisesti vanhennetuilla moottoriöljyillä tai molemmilla ja tulosten vertailua perinteisten analyysimenetelmien tuloksiin. Voidaan kuitenkin olettaa, että näillä anturilla on merkitystä eri signaaleja yhdistelevän dignostiikka-järjestelmän yhtenä osana.

4.3.2 Toimintaansa itse diagnosoivat älykkäät anturit (Smart sensors)

Lähteessä [14] kirjoittajat määrittelevät älykkäät anturit seuraavasti: "*A smart sensor is one where some or all of the signal conditioning functions are carried out by a microprocessor within the sensor package*". Älykkäiden antureiden uskotaan tulevaisuudessa saavan sijaa ainakin teollisuudessa, avaruus- ja autoteollisuudessa.

Älykkäät anturit ovat jo vakiinnuttaneet asemansa teollisuusmarkkinoilla. Tähän on uskottu olevan lukuisia syitä:

- suuremmat kustannukset yhdistettynä tiukempiin erittelyihin ja keskimääräiset tai pienet volyymit ovat yleisiä teollisuusmarkkinoilla
- kokonaisuuden koon suhteellinen merkityksettömyys
- datan korkean tason luotettavuus yhdistyneenä erittäin suuriin koneistoihin, joissa antureiden luoksepääseminen on vaikeaa
- teollisuuden digitaalisten dataväylästandardien kehittyminen.

Autoteollisuudessa laitevalmistajat tutkivat myös älykkäiden antureiden potentiaalia, mutta hintarajoitukset ovat tärkeitä. Tällä hetkellä uskotaan, että älykkäät anturit, jotka liittyvät digitaalisiin väyliin, eivät todennäköisesti löydä tietään enemmistöön kulkuneuvoja, ellei dataväyliä itsessään oteta käyttöön muissa tarkoituksissa. CAN on ainoa laajasti hyväksytty väylä nopeaan kommunikointiin autoteollisuudessa, mutta hitaisiin toimintoihin on saatavissa lukuisia väyliä.

Älykkäässä anturissa tulisi olla korjaus seuraaville ei-toivotuille ilmiöille: alkuperäiset säätöpoikkeamat, säätöalueen vaihtelut, epälineaarisuus ja ristiherkkyys. Koska nämä korjaukset suoritetaan digitaalisesti, mitään fysikaalisia lisäyksiä tai muutoksia antureihin ei tarvita, kalibroinnista tulee puhtaasti elektroninen prosessi. Tämä alentaa

kustannuksia, sillä erä antureita voidaan kalibroida kerralla tuotantolinjan tietokoneella. Kun kokonaisuus sisältää prosessorin, avautuu monia mahdollisuuksia. Kaksi selvää etua ovat digitaalinen kommunikaatio standardiväylän kautta ja anturidiagnostiikka. Muita etuja ovat parantuneet vasteajat ja kyky laskea mittasuureita [14].

5. Diagnostiikkaratkaisujen kehittämismalleja nykyistä anturointia käyttäen

5.1 Polttomoottorin öljynvaihtovälin määrittäminen

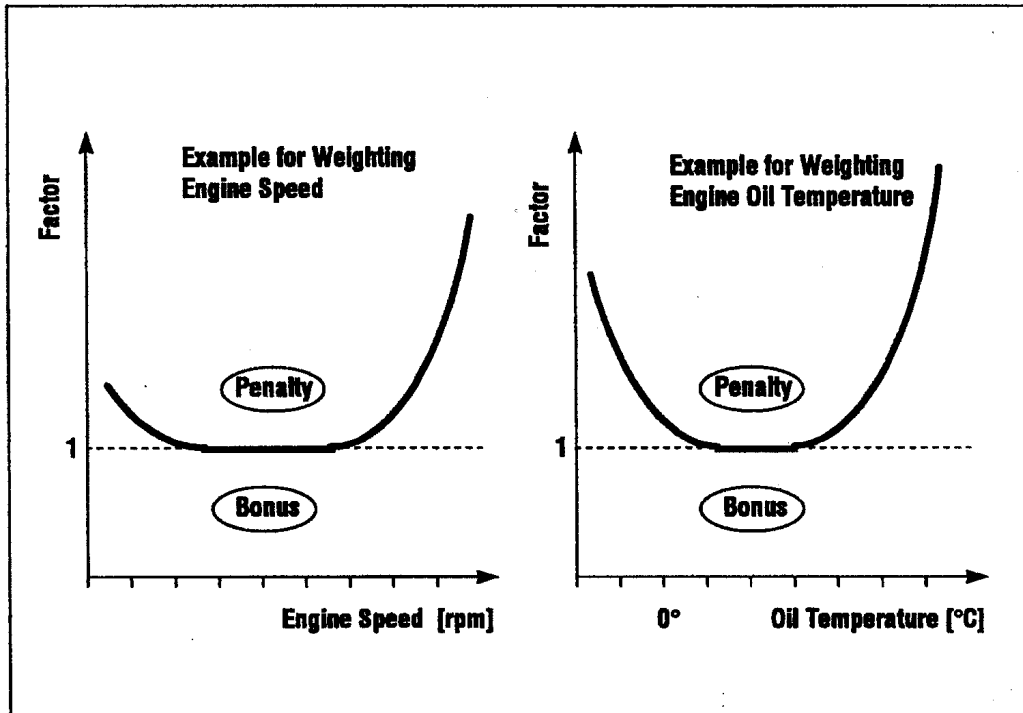
Voiteluaineen ikääntymisen seurannassa voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia moottorin ohjaimelta saatavia suureita:

- moottorin käyttötuntimäärä
- moottorin pyörimisnopeus
- moottorin kuormitus (ruiskutuspumppun syöttötangon asema)
- moottorin öljyn lämpötila
- imuilman lämpötila
- voiman ulosoton pyörintänopeus.

Öljyn ikääntyminen riippuu käyttötunneista, moottorin kuormituksesta (käytetty polttoainemäärä) ja öljyn lämpötilasta. Öljyn vanheneminen hapettumalla on seurausta polttoaineen palamistuotteena syntyvän noen päätyemisestä öljyyn ja öljyn korkeasta käyttölämpötilasta.

Öljyn ikääntymistä kuvaava parametri voidaan muodostaa käyttötuntimäärästä kertomalla se kuormitusta ja öljyn lämpötilaa kuvaavilla dimensiottomilla kertoimilla, jotka painottavat tuntimäärää suuremmaksi tai pienemmäksi. Kuormitusta kuvaava kerroin voi vaihdella esimerkiksi 1,0–1,5. Kerroin on 1,0 esimerkiksi silloin, kun ruiskutuspumppun säätötanko on asennossa 30 % tai alle ja kasvaa arvoon 1,5, kun säätötanko siirtyy asemaan 100 %. Samoin öljyn lämpötilakerroin voi vaihdella öljyn lämpötilan mukaan, mutta vaikutuksen täytyy olla pienempi, esimerkiksi 1,0–1,1. Näin saadaan parametri, joka on sama tai suurempi kuin käyttötuntimäärä riippuen moottorin kuormituksesta ja öljyn lämpötilasta. Kuva 17 esittää Mercedes-Benzin ASSYST-järjestelmässä käytettäviä painokertoimia [15].

Käytännössä öljynvaihdot on tehtävä perinteisesti käyttötuntimäärään perustuen siihen saakka, kunnes voidaan öljyanalyysin tai muutoin mittaamalla osoittaa, että painotettu käyttötuntimäärä antaa riittävän hyvän arvion öljyn kunnosta. Mikäli löydetään riittävän luotettava öljyn kuntoa mittaava anturi, voidaan tällainen anturi lisätä järjestelmään ja ottaa anturin ulostulosignaali lisäparametriksi.



Kuva 17. Öljynvaihtovälin laskennassa käytettävien painotuskertoimien kuvaajia moottorin pyörimisnopeuden ja öljyn lämpötilan mukaan Mercedes-Benzin ASSYST-järjestelmässä [15].

Moottorin kuormitus ja käyntinopeus vaihtelevat suuresti käytön aikana hyvinkin lyhyellä aikavälillä ja siksi kuvattujen parametrien laskennassa on käytettävä keskiarvoistusta. Lämpötilat vaihtelevat hitaammin, mutta niidenkin vaikutus koko moottorin käytön ajalta olisi saatava tallennettua.

Eräissä työkoneissa on lisäominaisuus, joka sallii moottorista otettavan ylimääräistä tehoa, mikäli käytetään ajovoimansiirtoa ja voiman ulosottoa yhtä aikaa. Tätä toimintoa varten työkoneessa on voiman ulosottoakselin vääntömomenttimittaus, joka perustuu akselin elastiseen vääntymään. Tätä momenttiarvoa voidaan käyttää myös lisäparametrina mittaamaan moottorin kuormitusta.

5.2 Antureiden mallipohjainen vikadiagnostiikka

Esimerkiksi työkoneen diagnostiikkajärjestelmään voi sisältyä osia, jotka tarkkailevat antureiden toimintaa ja pyrkivät havaitsemaan mahdollisia vikaantumisia. Tämä on mahdollista toteuttaa älykkäillä antureilla, jotka diagnosivat itse toimintaansa, tai lisäämällä koneen diagnostiikkajärjestelmään piirteitä, jotka helpottavat anturitiedon tulkittamista. Älykkäät anturit ovat vielä nykyään tavallisia antureita huomattavasti kalliimpia. Anturien diagnostiikan lisääminen koneen diagnostiikkajärjestelmään

riippuu hyvinkin paljon siitä, millainen olemassa oleva järjestelmä on. Anturien häiriöiden ja vikojen havaitsemista mallipohjaisen järjestelmän avulla on tutkittu ahkerasti kahden viime vuosikymmenen aikana.

Valvottavan systeemin toiminnasta voidaan rakentaa dynaaminen lineaarinen tai epälineaarinen matemaattinen malli, jossa systeemin tilavektori esitetään toimilaitteilta saatavien lukemien ja anturisignaalien avulla. Käyttämällä hyväksi saatuja mittaussignaaleja lasketaan arvioita systeemin tilasta. Eroja anturilta saatujen ja arvioitujen mittaussignaalien välillä verrataan residuaaleihin, jotka ovat kuhunkin vikaan tietyllä tavalla reagoivia lausekkeita. Tavoitteena on laatia malli, joka havaitsee sekä anturien, toimilaitteiden että prosessien viat ja pystyy suodattamaan signaaleihin vaikuttavat häiriöt. Mallin rakentaminen vaatii monimutkaisia matemaattisia funktioita, joita täytyy tapauskohtaisesti soveltaa. Yksi yleisimmistä matemaattisista työkaluista on Kalman-suodatin, jota myös käytetään ei-satunnaismuotoisen kohinan suodatukseen.

Systeemin tilasta kertovia residuaaleja täytyy tulkita jonkinlaisella logiikalla, sillä residuaalit eivät useinkaan ole täysin yksikäsitteisiä. Tähän tarkoitukseen sovelletaan esimerkiksi sumeaa logiikkaa, kynny slogiikkaa tai opittua tietoa [16].

5.3 Vierintälaakerin värähtelyanalyysin laajentaminen

Värähtelymittauksia hyödynnetään laajasti erilaisissa pyörivissä koneissa ja laitteissa. Mittauksia käytetään suoraan vikojen ja vaurioiden havainnoinnissa sekä vaurioitumisen ennustamiseen ja ennakointiin perustuvissa kunnonvalvontajärjestelmissä. Pyörivissä koneissa vikaantuminen aiheutuu reaktiivoimista, jotka tyypillisesti ovat seurausta pyörivällä akselilla olevasta massaepätasapainosta, kahden laitteen välisestä kulma- tai säteittäisestä linjausvirheestä tai molemmista tai laakerin vierintäpinnoilla olevista epäjatkuvuuskohdista [1].

Vioista ja vaurioista syntyvät reaktiivoimat kumoutuvat pyörivän koneen tuki- ja kiinnityselimissä sekä kiinnitysrakenteissa vaikuttavilla vastavoimilla. Tuki- ja kiinnityselimiä ovat mm. koneen laakerit sekä kiinnityskorvakkeet. Pyörivissä koneissa vaikuttavat reaktio- ja vastavoimat ovat tyypillisesti pyörimisnopeudesta ja -dynamiikasta riippuvia dynaamisia kuormia, jotka synnyttävät värähtelyä tuki- ja kiinnityselimiin. Pyörivissä elimissä olevat viat kuormittavat ensisijaisesti laakereita, joiden tarvitsema kantovoima tulee rakenteen rungon välityksellä koneen tai laitteen tuki- ja kiinnityskorvakkeilta. Tämän vuoksi laakerit ovat ihanteellisia mittauspisteitä pyörivien koneiden ja laitteiden vikojen ja vaurioiden värähtelymittauspohjaisessa havainnointi- ja diagnostiikkajärjestelmissä. Parhaassa tapauksessa värähtely voidaan mitata suoraan laakerin rungosta. Koneen rakenteesta ja konstruktiosta riippuen

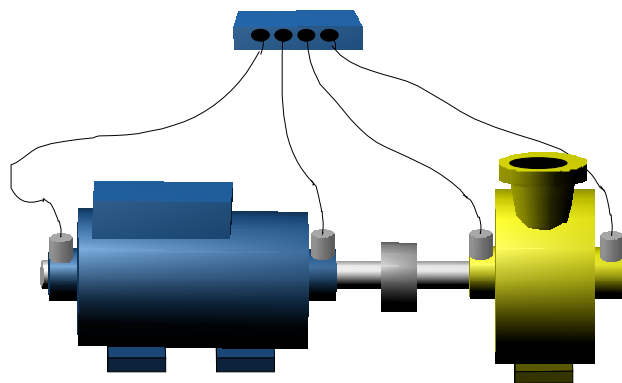
mittauspiste voi olla myös koneen rungossa. Tällöin tulee huolehtia, että laakerin ja mittauspisteen välisen rakenteen taajuusvaste vaikuttaa mahdollisimman vähän haitallisesti tulkittavaan värähtelydynaamiseen ilmiöön.

Värähtelydynamiikka ja sen muutos ovat aina seurausta jostakin pyörivässä koneessa vaikuttavasta ilmiöstä, ilmiön muutoksesta tai ilmiön vaikutus- ja havainnointikohdan tai molempien välillä tapahtuneesta muutoksesta. Värähtely itsessään ei kuitenkaan ole vika- tai vaurio, vaan indikaatio jostakin dynaamisesta ilmiöstä. Dynaamisen ilmiön ja sen luonteen vuoksi ilmiö saattaa synnyttää koneeseen tai laiteeseen vikaantumista, joka voi näkyä vasta pitkän ajan kuluttua esimerkiksi mittauspisteestä näytteytettyinä korkeina värähtelytasoina. Siksi vain laakerin kulumista ja kuntoa tarkkailevat järjestelmät eivät ole aina riittävän laadukkaita ja kattavia kaikkien käytävän ja käytetyn ulkoisen koneen välillä mahdollisesti vaikuttavien vikojen ja vaurioiden ennakkoinnissa. Pahimmillaan vikaantumista aiheuttavat reaktivoimat ovat voineet vaikuttaa jo pitkään kohteessa ennen kuin ne ovat vaurioittaneet laakeria tai laakereita ja aiheuttaneet mahdollisesti kalliin ja ylimääräisen tuotanto- ja huoltoseisokin.

Pyörivistä koneista mitatut värähtelysignaalit koostuvat monista erilaisista lähteistä tulleista signaaleista, jotka summautuvat mittauspisteessä mittaussignaaliin. Signaalilähteet voivat olla peräisin koneelle ominaisista, normaaleina pidettävistä herätelähteistä, vikaantumista pitkällä aikavälillä aiheuttavista tai jo vioittuneen komponentin herättämistä dynaamisista reaktivoimista. Eri lähteistä ja reaktivoimista aiheutunut mittaussignaali sisältää useita erilaisia, pyörimistaajuudesta riippuvia aaltomuotoja, joiden amplitudit, taajuudet ja vaiheet poikkeavat toinen toisistaan. Aikatasossa suoritettun analyysin perusteella voidaan tarkastella värähtelyn kokonaistasoa halutulla taajuuskaistalla ja verrata sitä ja sen kehittymistä kyseiselle koneelle sallittuihin arvoihin ja rajoihin. Käytännössä kaikkien erilaisten herätelähteiden erottaminen ja niiden käyttäytymisen seuraaminen aikatasossa olevasta signaalista on usein mahdotonta. Koneiden kunnonvalvonnassa tarkempi analyysi edellyttää, että signaali siirretään aikatasosta taajuustasoon eri lähteistä tulevien taajuuskomponenttien erotteliseksi. Muutos aikatasosta taajuustasoon tehdään FFT-muunnoksella (Fast Fourier Transformation). FFT-muunnoksella lasketusta spektrissä mitattuun signaaliin summautuneet eritaajuiset komponentit näkyvät amplitudiarvoina vastaavilla taajuuksilla. Esimerkiksi epätasapainon suuruus näkyy spektrissä koneen pyörimistaajuudella olevana värähtelyarvona, linjausvirhe ja mekaaninen väljyys pyörimistaajuudella sekä pyörimistaajuuden harmonisilla taajuuksilla olevina värähtelyarvoina [17]. Yhdistelemällä useista eri mittauspisteistä samanaikaisesti mitattuja arvoja, voidaan erottaa samalla taajuudella vaikuttavia herätetyyppejä toisistaan ja hallita paremmin koko mittausjärjestelmässä vaikuttava tilanne sekä tarkasteltavan koneen tai laitteen tila ja kunto.

Mittaustuloksia analysoitaessa tulee käytettävällä kunnonvalvontajärjestelmällä olla käytössään tarkasteltavan kohteen tai laitteen pyörimisnopeus. Vakionopeudella pyörivällä koneella riittää, että mittaus-, kunnonvalvonta- ja prognostiikkajärjestelmään on syötetty koneen pyörimisnopeuden vakioarvo. Koneissa, joissa pyörimisnopeuden säätöalue on laaja, tulee koneen pyörimisnopeus mitata esimerkiksi erikseen asennetulla takometrillä tai laskea pyörimisnopeuden arvo akselilla olevasta asentokulma-anturista. Jos koneen pyörimisnopeusalue on lähes vakio tai siinä tapahtuu vain pieniä poikkeamia niin koneen laakereilta mitatusta värähtelysignaalista voidaan myös estimoida tarkka pyörimisnopeus akselille. Tämä edellyttää, että mittauksissa käytetty taajuusresoluutio on riittävän hyvä. Estimoinnissa hyödynnetään sitä, että kaikissa pyörivissä koneissa on käytännössä aina vähän epätasapainoa, jolloin koneen todellisella pyörimistaajuudella näkyy värähtelyspektrissä huippuarvo pyörimistaajuudella. Estimoinnin tarkkuus riippuu taajuusresoluutiosta.

Analysointiyksikkö



Sähkömoottori

- epätasapaino
- roottorin epäkeskisyys
- linjausvirhe
- laakerivaurio
- roottorisauvavaurio
- staattorivaurio
- mekaaninen vällys

Kytkenä

- koneiden linjaus
- kytkinvaurio
- mekaaninen vällys
- resonanssi

Pumppu

- epätasapaino
- linjausvirhe
- laakerivaurio
- siipipyörävaurio
- kavitaatio
- turbulenttinen virtaus
- mekaaninen vällys

Kuva 18. Mittauspisteet sähkömoottorilla ja pumpulla sekä niistä värähtelymittausanalyysin perusteella havaittavissa olevat vika- ja vauriotyypit.

Kuvassa 18 on esitetty esimerkki mittausjärjestelystä, jossa diagnosoitava kokonaisuus koostuu sähkömoottorista, kytkimestä ja pumpusta. Päättelyssä voidaan hyödyntää sekä aika- että taajuustason arvoista laskettuja piirteitä ja parametreja. Parhaimmillaan järjestelmä toimii, kun mittauspisteet on sovitettu käyttävän ja käytetyn ulkoisen koneen kaikille laakerille. Yhdistelemällä eri mittauspisteiden värähtelymittauksia, seurattavien

vikaantumistyyppien kannalta kiinnostavilla taajuuksilla olevia värähtelyvoimakkuuden huippuarvoja sekä mittauksista laskettavia muita piirteitä ja parametreja voidaan laajaa vika- ja vauriojoukkoa seuraavalla järjestelmällä havaita käytettävällä ulkoisella koneella, esimerkiksi pumpulla, vaikuttava vika tai vikaantuminen jo ennen kuin sen seurauksena sähkömoottorin jokin komponentti, esimerkiksi laakeri, joutuu olosuhteisiin, jossa se vikaantuu tai vaurioituu.

5.4 Teollisuuden käynnin- ja kunnonvalvontajärjestelmien sekä niiden yhdistämisen tarjoamat mahdollisuudet

Käynnin- ja kunnonvalvontajärjestelmillä voidaan tehdä monipuolisia mittauksia. Niiden avulla kyetään yhdistämään eri suureita järjestelmän sisällä tietyin ohjelmistollisin rajoituksin. Vaikeutena on tällä hetkellä, että mitattuja tietoja ei pystytä yhdistämään järjestelmästä toiseen eli kunnonvalvonnan tietoa ei voi yhdistää käynninvalvonnasta mitattuihin suureisiin. Siksi on esimerkiksi hankalaa päätellä, miten eri koneenosat vaikuttavat laatuun.

Kunnon- ja käynninvalvontajärjestelmät vaativat käyttäjiltään suurta ammattitaitoa niin värähtelymittausten suorittamisessa kuin tulkinnaissa sekä prosessin ja prosessilaitteiden ymmärtämisessä samoin kuin mittausjärjestelmien hallinnassa. Tietoa mittauskohteesta saadaan paljon, mutta riittävää esiseulontaa ei tapahdu, jolloin mittaavan kunnossapidon henkilöstöllä on vähän resursseja ja aikaa syvälliseen analysointiin. Nykyisin käytössä olevana esiseulontana toimii usein ns. liikennevalojärjestelmä: vihreä väri osoittaa koneen tai laitteen olevan käyttökunnossa, keltainen väri kertoo pienestä muutoksesta värähtelytasoissa vikaantumisen suuntaan ja punainen suuresta [18]. Järjestelmissä on havaittu paljon vääriä hälytyksiä, jotka ovat voineet johtua jostain muusta kuin mekaanisesta viasta. Nämä hälytykset voivat olla toistuvia aiheuttaen paljon ylimääräistä työtä ja jopa tuotantotappioita aiheuttomien seisokkien vuoksi. Väärien hälytyksien vähentämiseksi voitaisiin analysoida useaa suuretta samanaikaisesti ja tällöin tietoja verrattaisiin ohjelmistollisesti järjestelmän muistipankissa olevaan aiempaan tietokantaan samasta kohteesta.

Prosessien mittaustiedon säilyttäminen tulevaisuutta varten voi osoittautua järkeväksi toimeksi. Tietotekniikan ja keinoälyjen kehittyessä sumeaan logiikkaan ja neuroverkkoihin perustuvat oppivat systeemit ovat tulevaisuudessa hyviä kunnonvalvonnan apuvälineitä. Analysoinnin tueksi tulee enemmän koneälyä, joka suorittaa suuren määrän esiseulontaa ja vertailua. Tällöin mittaajien työ helpottuu [19]. Neuroverkolla ei tarkoiteta pelkästään yhden yrityksen sisäisiä, vaan globaaleja konsernitason verkostoja [20]. Niiden avulla voidaan keskittää diagnostiikan huippuosaaminen tiettyyn yritykseen, joka tekee kaikkein vaativimmat analysoinnit.

Erilaisten tietojen yhdistäminen tekee analysoinnin helpommaksi ja tarkemmaksi jolloin koneiden ja laitteiden vaikutus laatuun tulee paremmin esille. Alkava mekaaninen vika saattaa vaikuttaa laatuun heikentävästi vaikka kone-elimet sinänsä kestävät. Toisaalta kunnonvalvonnan avulla on mahdollista todeta hyvinkin pienet viat. Jokin värähtelykomponentti on saattanut kasvaa moninkertaiseksi eikä tehollisarvo silti ylitä sallittua rajaa. Käynninvalvontaa käyttäen voidaan etsiä viallista mekaanista komponenttia, joka aiheuttaa laatuhäiriön. Erilaisia suureita esittävät kuvaajat tulisi voida sijoittaa samaan näyttöön erivärisinä käyriä. Tällaisia kuvaajia tarkastelemalla saataisiin analysoinnin tueksi enemmän tietoa helpommin hallittavassa muodossa. Näin kunnossapidon suunnittelijat voivat suunnitella seisokin ja hankkia varaosat hyvissä ajoin, jolloin suunnittelemattomien seisokkien osuus pienenee. Entistä aikaisempi koneiden alkavien vikojen paljastuminen ehkäisee myös laadun heikkenemisen.

5.5 Tuotantolaitteiden anturointien kehittäminen

Koneissa, joissa ei ole valmiita kiinteitä mittapisteitä eikä anturille sopivia paikkoja, saattaa mittauksia vaikeuttaa kotelointi ja säädösten määräämät suojarakenteet. Tällöin on tärkeää käyttää parasta mahdollista mittapistettä ja toistaa mittaus samalla tavalla joka kerta. Kiinteiden järjestelmien anturointi ja kaapelointi pyritään suojaamaan ympäristön hättävähaittoilta. Esimerkiksi paperikoneella tämä on haastavaa, koska ympäristö saattaa olla kostea, lämmin, tärisevä ja ahdas. Suuri osa johdin- ja anturivaurioista tapahtuu seisokkien aikana, jolloin tehdään koneiden huoltotöitä. Käynninaikaisia vaurioita aiheuttavat hankautuminen, kuluminen ja ympäristön aiheuttama laitteiden enneaikainen vanheneminen.

Kaapeloinnista voisi päästä eroon kehittämällä langatonta tiedonsiirtoa. Anturit lähettäisivät tällöin omaa mittaustietoaan tiedonkeruuasemille. Niistä tieto siirrettäisiin joko langattomasti tai valokaapelia pitkin keskusjärjestelmään, jossa analysointi tapahtuisi. Anturit eivät tarvitsisi ulkopuolista sähkövirtaa toimiakseen, jos ne toimisivat joko paristoilla tai muuttaisivat mekaanisen värähtelyn sähköksi ladaten siten akkujaan [21]. Jälkimmäisellä tavalla antureiden käyttöikä pitenee paristokäyttöisiin verrattuna. Etuna nykyiseen on se, että kaapelointikustannuksilta ja kaapeleiden vaurioitumisen aiheuttamilta häiriöiltä vältyttäisiin. Lisäksi vaihdettaessa esimerkiksi paperikoneen telaa tällainen anturi voisi olla koko ajan telassa kiinni. Asennuksen jälkeen mittausjärjestelmiin syötettäisiin anturin koodi ja mittaus voisi alkaa. Kaapeleita ei katkeaisi, koska niitä ei tarvittaisi. Langattoman tiedonsiirron haittoja ovat toistaiseksi laitteiden koko, häiriöalttius, reaaliaikaisuuteen vaikuttava hidas tiedonsiirtonopeus ja kunnonvalvonnan kannalta liian kapea taajuuskaista [22]. Langattoman tiedonsiirron alueella on vielä paljon kehitettävää.

6. Monitoroinnin ja diagnostiikan huomioonottaminen tuotesuunnittelussa

6.1 Sulautetun diagnostiikkajärjestelmän suunnittelu: Case-esimerkki, Bronto Skylift Oy Ab

6.1.1 Sulautettu järjestelmä

Sulautettu järjestelmä on tuotteeseen integroitu tietotekninen osa, jonka päätehtävänä on ohjata ympäristönsä sähköisiä ja mekaanisia toimintoja. Sulautetun järjestelmän tärkeitä ominaisuuksia ovat luotettavuus, käytettävyys, ylläpidettävyys ja usein myös reaaliaikaisuus. Näiden tavoitteiden on sulautetussa järjestelmässä kuitenkin palveltava koko tuotteen vaatimusten saavuttamista.

Sulautettu järjestelmä pyrkii usein toisaalta laajentamaan koko tuotteen käyttöalaa, turvallisuutta ja ympäristöystävällisyyttä lisäämällä sen 'älykkyyttä', toisaalta säästämään valmistuskustannuksia elektroniikan käytön kautta. Tuote voi koostua monista erikoistuneista keskenään viestivistä prosessoreista ja signaalinkäsittelylaitteista. Monet suomalaiset menestystuotteet kuten hissit, puhelinkeskukset ja matkapuhelimet sisältävät sulautettuja järjestelmiä. Nopeasti kehittyvät laitteistot tekevät sulautettujen järjestelmien ohjelmistoista kriittisen kilpailutekijän: ohjelmistojen laatu määrää suurelta osin koko tuotteen laadun.

6.1.2 Sulautettu diagnostiikkajärjestelmä

Sulautetussa diagnostiikkajärjestelmässä on tavoitteena sisällyttää koneen käynnin seuranta koneen toimintaa ohjaaviin laitteisiin ja järjestelmiin. Käynnin seurannan toteutus vaatii antureita, joiden antamasta signaalista voidaan irrottaa koneen toimintatilannetta kuvaavia piirteitä. Seurattavia piirteitä käytetään koneen toimintatilan diagnosointiin. Diagnosoinnin tuloksia voidaan käyttää koneen toimintatilan ohjaamiseen siten, että optimaalinen ajotilanne saavutetaan ja ylläpidetään sekä myös koneen vikaantumisen havainnointiin. Koneiden käynnin seurannan vaatiman anturoinnin yksinkertaistamiseksi tulee pyrkiä siihen, että samoja antureita voidaan käyttää sekä koneen ohjaamiseen että diagnosointiin.

6.1.3 Bronto Skylift Oy:n henkilönostin

Case-esimerkkinä oli MDT B2+ Platform -henkilönostin, kuva 19. Tässä case tapauksessa oli tavoitteena selvittää sellaisen sulautetun diagnostiikkajärjestelmän toteuttaminen, jonka avulla voidaan määrittää puomistoon kohdistuvat rasitukset käyttämällä puomiston nykyistä anturointia. Kohteena oli selvittää nykyiseen anturointiin perustuen, mitä mittaamalla puomiston rakenteen rasittumista eli kuormitus-kertymää voidaan seurata. Kuormituskertymän perusteella voidaan määrittää puomiston huollon ajankohta sekä ennustaa puomiston elinikä.



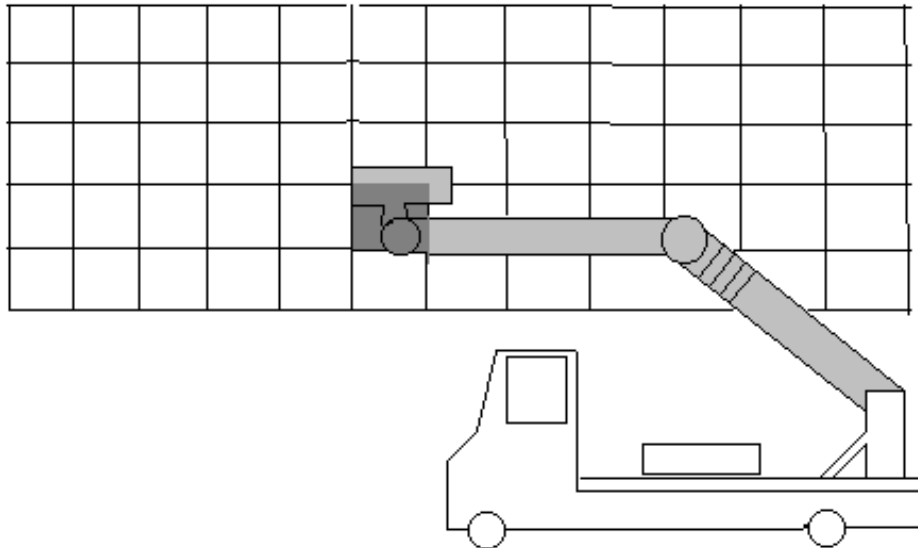
Kuva 19. Henkilönostin MDT B2+ Platform, Bronto Skylift.

Tällä hetkellä MDT B2+ Platform -henkilönostimessa ei ole käynninseuranta-järjestelmää, jonka tulosten avulla saataisiin tietoa puomiston rasituksista. Tiedonsiirto nostimessa on toteutettu CAN-väylällä. Nykyisen anturoinnin päätehtävä on estää nosturin koria siirtymästä sallitun toimialueen ulkopuolelle.

6.1.4 Sulautetun diagnostiikkajärjestelmän toimintakuvaus

Tässä tapauksessa päädyttiin käyttämään nykyistä puomiston anturointia puomiston rasitusten seurantaan. Kaikki puomiston kulmat sekä teleskooppivarren ulkonemat yhdessä identifioivat korin 3-ulotteisen sijainnin (kuva 20). Puomiston rasitukset määritettiin venymäliuskamittausten avulla puomiston nivelien aseman funktiona. Korin liikkumatila jaetaan matriisialkioihin, joissa mittausten perusteella voidaan määrittää likimääräiset puomiston jännitykset. Toiminta-ajan perusteella eri matriisin alkioissa

voidaan laskea puomistolle kuormituskertymää. Kuormituskertymän raja-arvot voidaan määritellä esimerkiksi nosturistandardeista tai kokemuksen perusteella. Järjestelmä ei huomioisi tuulen vaikutusta eikä korikuormaa, vaan se perustuisi oletuksille, että tuulen vaikutuksia ei huomioida ja että korissa on maksimikuorma 400 kg. Tiedot kuormituskertymistä tallennetaan ja hälytykset lähetetään GSM-linkin kautta haluttuun huoltopisteeseen.



Kuva 20. Työkorin sijainti 2-ulotteisessa jännitysmatriisissa.

6.1.5 Kannattavuuslaskelma

Seuraavia antureita ei tarvita, kun venymäliuska-anturointi korvataan olemassa olevilla asentoantureilla:

- venymäliuskat 25 kpl * 300 mk = 7500 mk
 - vahvistimet 25 kpl * 500 mk = 12500 mk
 - johdotus 25 kpl * 50 mk = 1250 mk
- liitynnät nykyiseen järjestelmään ja järjestelmän laajennus.

6.1.6 Johtopäätökset

Työssä kartoitettiin henkilönostimen puomiston jännitykset puomiston eri asennoissa. Tästä saadaan suoraa tietoa puomiston jännityshuipuista. Tietoa voidaan käyttää edelleen integroidun online-diagnostiikan luomiseen muodostamalla jännitysmatriisi korin eri sijainneille. Sen perusteella voidaan laskea kuormituskertymää ja muodostaa hälytysrajoja. Valmis järjestelmä hoitaa hälytyksen haluttuun huoltopisteeseen esimerkiksi GSM-linkin välityksellä kuormituskertymän ylittäessä sille määritetyt raja-arvot.

6.2 MEMS-antureiden integrointi koneisiin niiden valmistusvaiheessa

Perinteiset anturit eivät ole aina olleet toiminnaltaan riittävän luotettavia asennettaviksi valmistusvaiheessa sulautettuihin mittaus- ja analysointijärjestelmiin. Samoin perinteisten antureiden suuri fyysinen koko ja kallis hankintahinta rajoittavat niiden käyttökelpoisuutta sulautetuissa järjestelmissä. Piistä valmistetut MEMS-anturit voidaan suunnitella toiminnaltaan hyvin luotettaviksi ja pitkäikäisiksi. Luotettava, koneiden ja laitteiden käyttöikä lähenevä toiminta motivoi MEMS-anturoinnin suunnittelun ja toteutuksen laitteiden valmistusprosessin yhteydessä. Suurina määrinä käytettäessä MEMS-antureiden yksikkökustannukset tulevat alhaisiksi.

Koneisiin ja laitteisiin voidaan toteuttaa niiden valmistusvaiheessa sulautetut, MEMS-antureille suunnitellut mittausjärjestelmät kokonaisuuksina, joihin on upotettu laitteen kokonaiskäyttökustannusten kannalta lisäarvoa tuovia luotettavia mittauksia ilman rakenteeseen tehtäviä suuria muutoksia. Sulauttamalla koneiden ja laitteiden rakenteisiin useita eri mittauksia, mittausjärjestelmä voidaan hajauttaa huomaamattomasti [3].

Hajautetun kunnonvalvonnan käytön lisääntymisen yhtenä esteenä ovat olleet mittaussignaalin siirtämisen asettamat korkeat vaatimukset kenttäväyläkommunikoinnille ja -rajapinnalle [23]. Lisäksi valmiisiin rakenteisiin hajautetuille, useille eri mittauksille jälkikäteen tehtävä asennus on ollut aikaa vievää ja kallista. Uuden MEMS-tekniikan käytöllä voidaan kynnystä mittausten hajauttamiseen laskea. Hajautetun kunnonvalvontajärjestelmän mielekäs toteutus edellyttää, että yksittäiset mittauspisteet ovat ylemmän tason ohjauksen toimesta tarvittaessa automaattisesti uudelleenkonfiguroitavissa, omaavat omaa ohjaustoimintaa ja päättelyä sekä kykenevät oman toimintansa monitorointiin. Lisäksi jos käytettävä anturi ottaa käyttövirtansa kenttäväylästä tai omasta paristosta, on mittauspisteen alhainen tehonkulutus oleellista järjestelmän toiminnan kannalta.

Rakentamalla hajautettu mittausjärjestelmä MEMS-tekniikalla, voidaan mittauspisteiden anturielementeille integroida toimintoja, joilla ne kykenevät ohjaamaan itsenäisesti toimintaansa, ovat uudelleen konfiguroitavissa ja kommunikoivat kenttäväylän kanssa. MEMS-anturit ovat pienen kokonsa johdosta hyvin hajautettavissa hankaliinkin paikkoihin ja niiden tehonkulutus on verraten pientä. Lisäksi pienen kokonsa vuoksi MEMS-anturielementit ovat sekä suhteellisesti kestävämpiä että vähemmän herkkiä induktiivisille häiriöille, kuin perinteiset anturielementit.

Halvat piistä valmistetut integroidut anturipiirit voidaan hajauttaa esimerkiksi lentokoneen kriittisille alueille. Piirit voivat sisältää useita erilaisia MEMS-antureita vaurioiden havainnointiin ja vikasignaalien ristikkäistarkasteluun. Mittauspiirien ja ohjaamon välisessä tiedonsiirrossa ja kommunikoinnissa käytetään langatonta telemetriaa [24].

Hajauttamalla suorittavan diagnostiikan äly ja päättely mahdollisimman lähelle itse prosessia voidaan vähentää kenttäväylällä tapahtuvaa tietoliikennettä. Mittauskohteissa, joissa hajautettujen antureiden määrä on suuri, käsiteltävä anturi-informaatio on valtava. Esimerkiksi mitattaessa rakenteen virtausdynaamisia ilmiöitä tarvitaan suuri määrä mikroantureita ja -toimilaitteita satunnaisesti jakautuneiden virtausten mittaamiseen ja ohjaukseen. Mittausinformaation määrä on niin suuri, että se ylittää antureiden ja ohjauksesta vastaavan logiikan olemassa olevan tiedonsiirtokapasiteetin. Tämän vuoksi laajoissa hajautetuissa järjestelmissä tarvitaan prosessointia, joka on integroitu alas yksittäisille antureille [25].

Itsenäiset, omaa toimintaansa tarkkailemaan pystyvät sekä joustavasti uudelleen konfiguroitavat mittauspiirit suorittavat mitattavan kohteen monitoroinnin ja päättelyn reaaliajassa. Hajautetut mittauspiirit ottavat tietoliikenneyhteyden ylemmän tason diagnostiikkaan ainoastaan silloin, kun jotakin odottamatonta tapahtuu, kuten esimerkiksi asetettu hälytysraja ylittyy jollakin taajuusalueella. Tuloksena on koneiden sekä laitteiden toiminnan ja kunnan parempi reaaliaikainen seuranta ja -diagnostiikka.

6.3 Käytännön parannusehdotuksia teollisuuden kunnanvalvontajärjestelmien toimittajia sekä kone- ja laitevalmistajia varten

- Koneen tai laitteen valmistajan tulisi työstää antureiden paikat valmiiksi valmistuksen yhteydessä.
- Koneen tai laitteen toimittajan tulisi antaa ohjeet siitä, miten koneen kunnanvalvontamittaukset tulee suorittaa.
- Koneen valmistajan pitäisi antaa myös suositukset sallituista värähtelytasoista sekä kunnan että toisaalta tuotteen laadun kannalta.

- Kun kone toimitetaan, olisi välttämätöntä, että mukana seuraa laakerien vierintäelimiä, hammaspyörien hammaslukua, juoksupyörien siipilukua ym. kone-elimiä koskevat vastaavat tiedot, joita tarvitaan analysoinnin apuna.
- Kunnon- ja käynninvalvontajärjestelmien toimittajilla on vastuu siitä, että heidän järjestelmissään käytetään oikeita termejä. Väärät termit saattavat jäädä käyttöön aiheuttaen sekaannusta.
- Samanaikaisesti mitatut käynnin- ja kunnonvalvonnantiedot on voitava yhdistää samaan näyttöön, jotta analysointi olisi nopeampaa ja luotettavampaa.
- Siipilukujen, pyörimistaajuuksien ym. tietojen selkeä esittäminen spektrien yhteydessä nopeuttaa ja helpottaa oleellisesti analysointia, sekä tekee sen luotettavammaksi.
- Järjestelmien on oltava nykyistä käyttäjäystävällisempiä. Ihanne olisi, että käyttöohjeisiin ei tarvitse turvautua kuin erikoistapauksissa.
- Tulevaisuudessa kannattaa kunnonvalvontajärjestelmien toimittajien sekä kone- ja laitevalmistajien tutkia globaalin ja langattomaan tiedonsiirtoon perustuvan etädiagnostiikan mahdollisuuksia, kun pyritään parantamaan asiakkaan kilpailukykyä.

6.4 Etädiagnostiikka

Etädiagnostiikka ja siihen liittyvät ratkaisut rajattiin Monitorointi ja diagnostiikka -hankkeen keskeisimmän tutkimusalueen ulkopuolelle. Etädiagnostiikkaa käsiteltiin hankkeessa diagnostiikan välineenä, eikä niinkään perusilmiönä tai ratkaisuna sinänsä. Hankkeen laajuus ei myöskään mahdollistanut aihepiiriin syventymistä. Etädiagnostiikkaan liittyvät tarpeet tulivat kuitenkin esille sekä työkone- ja moottorivalmistajien että prosessiteollisuuden puolella. Tulevaisuuden tuotteet ovat monitekniisiä kokonaisuuksia, joiden suunnittelussa myös etäkäytön ja etähuollon ratkaisut ja mahdollisuudet on otettava huomioon yhtä suurella painolla. Pitkällä aikavälillä etädiagnostiikka valtaa alaa eri elämänalueilla, erilaisissa hyödykkeissä ja tuotteissa. Ratkaisujen kehittämisessä osansa tulee olemaan myös vahvalla telealan osaamisella ja sen aktiivisella hyödyntämisellä [26].

7. Yhteenveto

Tämä julkaisu on SMART-teknologiaohjelmaan kuuluneen *Monitorointi ja diagnostiikka* -projektin tekninen loppuraportti. Raporttiin on koottu projektissa tehtyjen tutkimusten keskeisiä tuloksia. Tarkoituksena on toisaalta esitellä tulevaisuudessa yleistyviä kunnonvalvonnan ja diagnostiikan menetelmiä, toisaalta hahmottaa case-kohteiden tutkimustulosten kautta kokonaiskuvaa siitä, millaisia tulevaisuuden tuotteen diagnostiikkaan liittyvät suunnitteluvaatimukset ovat. Tutkimussuunnitelman mukaisesti suurin osa tutkimuksesta tehtiin yritysten case-kohteiden avulla. Case-kohteita oli hankkeessa lukuisia eri teollisuuden aloilta, esimerkkeinä liikkuvat työkonet, sähkömoottorit ja paperiteollisuus. Siksi esitetyt ratkaisumallit ovat hyvin erilaisia ja eritasoisia.

Hankkeen lähtöoletuksena oli, että tulevaisuudessa antureita hyödynnetään enemmän, koska niiden hinnat laskevat ja tuotteiden käyttökustannuksiin kiinnitetään pitkällä aikavälillä nykyistä enemmän huomiota. Tulevaisuuden tuotteiden tunnusomaisena piirteenä on LCC-ajattelu, ja toimiakseen tuote on suunniteltava sopivaksi tällaiseen liiketoimintamalliin. Tällä hetkellä monet kehittyneet anturiratkaisut ovat kuitenkin usein liian kalliita. Teollisuudessa halutaan mielummin hyödyntää mahdollisimman paljon jo olemassa olevia antureita ohjelmistoratkaisujen avulla. Tämä piirre – eli tietoa on mutta sitä ei pystytä parhaalla tavalla hyödyntämään – yhdistää oikeastaan kaikkia hankkeessa mukana olleita yrityksiä. Erilaisten samanaikaisesti mitattavien signaalien yhdistäminen ja tulkinta parantaisivat merkittävästi käyttövarmuutta. Nykyään tietokoneiden laskentakapasiteetti mahdollistaisi antureiden huomattavasti paremman hyödyntämisen. Tietoa pystytään prosessoimaan jo mittauspisteen lähellä, jolloin tiedonsiirtomäärää voidaan tehokkaasti pienentää.

Uudet tekniikat, kuten väyläratkaisut ja mikromekaaniset MEMS-anturit, mahdollistavat anturien määrän ja lisäävät siirrettävän tiedon moninkertaiseksi. Tulevaisuuden tuotteet ovat monitekniisiä kokonaisuuksia, joiden suunnittelussa myös etäkäytön ja etähuollon ratkaisut ja mahdollisuudet on otettava huomioon yhtä suurella painolla. Yhä enemmän samoja antureita käytetään sekä toiminnan ohjaukseen että kunnon valvontaan. Erilaisilla ratkaisuilla voidaan järjestelmän toimintaa kehittää yksittäisten komponenttien seurannasta ja diagnostiikasta kohti laajempaa, koko järjestelmän kattavaa hallintaa ja diagnostiikkaa.

Lähdeluettelo

- 1 Tekninen esite. S. a. ABB Motors Oy.
- 2 Hydraulinen värähtely ja melu. 1983. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. 289 s. (TTKK Opintomoniste nro 94.) ISBN 951-720-830-8.
- 3 Halme, J. 2000. Mikroantureiden soveltaminen kunnonvalvontaan. Teoksessa: Käyttövarmuussuunnittelu ja diagnostiikka. Espoo, 21.11.2000. Holmberg, Kenneth (toim.). Espoo: VTT Valmistustekniikka. S. 25–31. (VTT Symposium 206.) ISBN 951-38-5705-0.
- 4 Halme, J. 1997. Mikromekaaniset MEMS-anturit ja niiden käytettävyys kunnonvalvonnassa. Espoo: VTT Valmistustekniikka. 40 s. (VALB 255).
- 5 Miettinen, J. & Pataniitty, P. 1999. Acoustic emission in monitoring extremely slowly rotating rolling bearing. Teoksessa: Proceedings of Comadem '99, University of Sunderland. S. 289–297.
- 6 Reuben, B. 1998. The role of acoustic emission in industrial condition monitoring. International Journal of COMADEM, 1(4), s. 35–46.
- 7 Sillanpää, T. & Seppä, H. 1999. Mikromekaaninen akustisen emission anturi. Espoo: VTT Automaatio. 6 s. (Väliraportti 99R1047-1).
- 8 Saarilahti, J. 1999. Kaasuanturin prosessointi. Gass 1.0 Espoo: VTT Elektrooniikka. 40 s. (Tilanneraportti).
- 9 Halme, J., Lehtonen, J. & Parikka, R. 2001. MEMS-anturit prosessien ja laitteiden kunnonvalvonnassa sekä diagnostiikassa: Espoo: VTT Valmistustekniikka. 24 s. (BVAL : 73-011095.)
- 10 Alanen, J. 1992. CAN-tiedonsiirtoväylä työkoneissa. Konepajamies nro 6, s. 30–32.
- 11 Automaatiojärjestelmät ja tiedonsiirto. 1999. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. (TTKK, EDUTECH-opetusmateriaali.)
- 12 Salmenperä, P. 2001. Automaatiioväylät. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. 13 s. (TTKK:n julkaisuja. Koneensuunnittelu, raportti nro 86.) ISBN 952-15-0557-5.

- 13 Mustonen, M. 2000. Elektronisen anturin käyttö öljyn kunnonvalvonnassa. Espoo: VTT Valmistustekniikka. 14 s. (BVAL73-001024.)
- 14 Smith, G. & Bowen, M. 1995. Considerations for the utilization of smart sensors. *Sensors and Actuators A*. Vol. 46–47, s. 521–524.
- 15 Kollmann, K. 1998. Extended oil drain intervals. Conservation of resources or reduction of engine life (Part 2). USA: Society of Automotive engineers. 22 s. (SAE technical paper No. 981443.)
- 16 Patton, R. J. 1997. Robustness in model-based fault diagnosis: The 1995 situation. *Annual reviews in control*, Vol. 21, s. 103–123.
- 17 PSK 5707 EHD. 2000. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Vianmääritys. Vantaa: Prosessiteollisuuden standardoimiskeskus r.y. 22 s. ISBN 951-97098-4-3.
- 18 Wapler, H.-K. 2000. Condition monitoring as a part of modern maintenance. Between reality and wishful thinking. *Maintenance, Condition Monitoring and Diagnostics – International Seminar, Oulu 2.–3.2000*. Oulu: POHTO Publications. S. 3–20.
- 19 MacIntyre, J. 2000. Neural networks in condition monitoring: Just another fad?. *Maintenance, Condition Monitoring and Diagnostics – International Seminar, Oulu 2.–3.2000*. Oulu 2000, POHTO Publications. S. 199–207.
- 20 Kessler, H.-W. 1998. Die Zukunft der Schwingungsmesstechnik in der Maschinen- und Anlagendiagnostik – Von der Vision zur Realität 2005. AKIDA – Aachener Kolloquium für Instandhaltung, Diagnose und Anlagenüberwachung, Aachen 3.–4.6.1998. Aachen 1998, AKIDA. S. 17 – 32.
- 21 Kruusing, A. 2000. Miniature acceleration sensors. *Maintenance, Condition Monitoring and Diagnostics – International Seminar, Oulu 2.–3.2000*. Oulu 2000, POHTO Publications. S. 141–147.
- 22 Pyssysalo, T. 2000. Outlooks of wireless data transfer in the condition monitoring. *Maintenance, Condition Monitoring and Diagnostics – International Seminar, Oulu 2.–3.2000*. Oulu 2000, POHTO Publications. S. 149–158.
- 23 Middlehoek, S. et. al. 1995. Silicon sensor. *Teoksessa: Measurement Science & Techonogy*, Vol. 6, Number 12, s. 1641–1658. ISSN 0345-0442.

- 24 Cowan, R. S. & Winer, W. O. 1997. Emerging technologies for machinery diagnosis and prognosis. Teoksessa: 10 th International Congress and Exhibition on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management. Espoo, Finland, 9–11 June.
- 25 Ho, C. M. & Tai, Y. C. 1996. MEMS and its application for flow control. ASME Journal of Fluid Engineering Vol. 118, s. 437–447.
- 26 Kuuva, M., Airila, M. & Kivikko, L. 2001. Huomisen koneet ja järjestelmät – SMART 1997–2000. Helsinki: Teknologian kehittämiskeskus. 125 s. (Tekes teknologiaohjelmaraportti 1/2001.) ISBN 952-457-010-6.



Tekijä(t) Parikka, Risto, Ahlroos, Tiina, Halme, Jari, Miettinen, Juha, Salmenperä, Pekka, Lahdelma, Sulo, Kananen, Markku & Kantola, Petteri			
Nimeke Monitorointi ja diagnostiikka			
Tiivistelmä <p>Antureihin perustuvan diagnostiikan hyödyntäminen teollisuudessa on viime vuosiin saakka ollut vähäistä. Kuitenkin erilaisista antureista saatavaa informaatiota voitaisiin käyttää laajemmin hyväksi tuotteiden ja tuotantoprosessin laitteiden kunnan valvonnassa ja huoltotarpeiden määrittelyssä. Tulevaisuuden tuotteissa Life Cycle Cost -ajattelu on tunnusomaista ja toimiva tuote on suunniteltava tällaiseen liiketoimintamalliin sopivaksi. Tällöin uudet tekniikat, kuten väyläratkaisut ja mikromekaaniset MEMS-anturit, mahdollistavat anturien määrän moninkertaistamisen. Yhä enenevästi käytetään samoja antureita sekä prosessin ohjauksessa että diagnostiikassa, ja yhdistelemällä useilta antureilta kerättyä tietoa saadaan nykyistä runsaampaa ja luotettavampaa tietoa diagnostiikan perustaksi.</p> <p>Tähän julkaisuun on koottu SMART-hankkeessa Monitorointi ja diagnostiikka tehtyjen tutkimusten keskeisiä tuloksia. Tarkoituksena on esitellä tulevaisuudessa yleistyviä kunnan valvonnan ja diagnostiikan menetelmiä sekä hahmottaa case-kohteiden tutkimustulosten kautta kokonaiskuvaa siitä, millaisia tulevaisuuden tuotteen diagnostiikkaan liittyvät suunnitteluvaatimukset ovat. Järjestelmän toimintaa voidaan kehittää edelleen yksittäisten komponenttien seurannasta ja diagnostiikasta kohti laajempaa, koko järjestelmän kattavaa hallintaa ja diagnostiikkaa.</p>			
Avainsanat condition monitoring, diagnostics, diagnostic methods, future, trends, acoustic emission, sensors, MEMS, automation, components, microchemical applications, reliability			
Toimintayksikkö VTT Valmistustekniikka, Käyttötekniikka, Kemistintie 3, PL 1704, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5828-6 (nid.) 951-38-5829-4 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinumero V0SU00344	
Julkaisuaika Kesäkuu 2001	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 55 s.	Hinta B
Projektin nimi Monitorointi ja diagnostiikka		Toimeksiantaja(t) Teknologian tutkimuskeskus (Tekes), teollisuus	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
 Phone internat. +358 9 4561
 Fax +358 9 456 4374

Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2098
 VTT-TIED-2098

Author(s) Parikka, Risto, Ahlroos, Tiina, Halme, Jari, Miettinen, Juha, Salmenperä, Pekka, Lahdelma, Sulo, Kananen, Markku & Kantola, Petteri			
Title Monitoring and diagnostics			
Abstract <p>The utilization of sensor-based diagnostics in industry has been quite negligible until the past few years. However, information from different types of sensors could be utilized more widely in condition monitoring and determination of service needs of products and production process machinery. Life Cycle Cost thinking will become a routine feature of future products, and in order to be viable a product must be designed to fit this type of business model. Consequently new technologies, such as bus solutions and micromechanical MEMS sensors, will enable a multifold increase in the number of sensors. Increasingly the same sensors will be used in both process monitoring and diagnostics, and by combining information collected from several sensors more information and more reliable information will be obtained than at present on which to base diagnostics.</p> <p>This publication compiles the key results of studies conducted within the SMART project Monitoring and Diagnostics. On one hand, this publication aims to introduce methods of condition monitoring and diagnostics, which will become more common in the future. On the other hand, it is designed to outline the general view of the planning requirements for diagnostics of future products by using research results from case studies. Different types of advanced solutions can be used to further develop systems operations, from monitoring and diagnostics of single components to more extensive monitoring and diagnostics covering the whole system.</p>			
Keywords condition monitoring, diagnostics, diagnostic methods, future, trends, acoustic emission, sensors, MEMS, automation, components, microchemical applications, reliability			
Activity unit VTT Manufacturing Technology, Operational Reliability, Kemistintie 3, PL 1704, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5828-6 (soft back ed.) 951-38-5829-4 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number V0SU00344	
Date June 2001	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 55 p.	Price B
Name of project Monitorointi ja diagnostiikka		Commissioned by The National Technology Agency (Tekes), industry	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

VTT TIEDOTTEITA – MEDDELANDEN – RESEARCH NOTES

VTT VALMISTUSTEKNIikka – VTT TILLVERKNINGSTEKNIK – VTT MANUFACTURING TECHNOLOGY

- 1854 Lahdenperä, Kari. Varastosäiliöiden pohjien kunnonvalvonta. 1997. 25 s.
- 1862 Hentinen, Markku, Hildebrand, Martin & Visuri, Maunu. Adhesively bonded joints between FRP sandwich and metal. Different concepts and their strength behaviour. 1997. 44 p.
- 1880 Heikkilä, Jouko. TOMHID – Tuotantolaitoksen turvallisuuden kartoitusmenetelmä. 1997. 45 s. + liitt. 31 s.
- 1882 Sarkimo, Matti. Jatkuvan monitoroinnin menetelmät rakenteiden eheyden varmistamiseen ydinvoimaloissa. 1998. 41 s.
- 1886 Malm, Timo & Järvenpää, Jorma. Pneumatiikalla toteutetun kappaletavara-automaation turvallisuus. 1998. 49 s. + liitt. 23 s.
- 1920 Taipale, Ville. Osajärjestelmän vaikutus prosessijärjestelmän elinjaksotuottoon. LCP-laskentamalli. 1998. 51 s. + app. 1 s.
- 1925 Kaski, Petteri, Virolainen, Kimmo, Leino, Tapio & Mörönen, Lasse. Kaatuessaan vaaraa aiheuttavat rakenteet. 1998. 37 s. + liitt. 15 s.
- 1938 Malm, Timo, Kivipuro, Maarit & Tiusanen, Risto. Laajojen koneautomaatiojärjestelmien turvallisuus. 1998. 72 s.
- 1978 Salonen, Jorma. Kaasuturbiinien siipimateriaalit. 1999. 75 s.
- 1983 Siivinen, Jarmo & Mahiout Amar. Pintakäsittelylaitosten jätevesikuormituksen vähentäminen. Osa 1. Kirjallisuusselvitys. 1999. 102 s. + liitt. 12 s.
- 1987 Hildén, Jouko, Muukkonen, Tatu & Pehkonen, Antero. Hiiliterästen ja ruostumattomien terästen hapettuminen lämpökäsittelyssä ja peittäus. 1999. 59 s.
- 1997 Jokinen, Petri, Lahtinen, Reima & Lehmus, Eila. Teräsrakenteiden suojaus kaariruiskutetulla sinkkipinnoitteella. 1999. 50 s. + liitt. 14 s.
- 2008 Kähönen, Asko, Pärssinen, Valtteri, Ilvonen, Reijo & Siljander, Aslak. Putkipalkkien ja korkealujuuksisten terästen käyttö ajoneuvorakenteissa. 1999. 43 s.
- 2010 Mahiout, Amar & Siivinen, Jarmo. Pintakäsittelylaitosten jätevesikuormituksen vähentäminen. Osa 2. Kokeellinen tutkimus. 1999. 45 s. + liitt. 10 s.
- 2011 Tonteri, Hannele & Vatanen, Saija. Kierratettävyyden ja elinkaariajattelu ajoneuvojen ja työkoneiden suunnittelussa. 2000. 47 s. + liitt. 8 s.
- 2012 Korpiola, Kari & Varis, Tommi. Termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden mekaaniset ominaisuudet E, v ja σ . 2000. 39 s.
- 2020 Korpiola, Kari & Jokinen, Petri. Keraamipinnoitteiden valmistus HVOF-ruiskutuksella. 2000. 76 s. + liitt. 11 s.
- 2021 Tonteri, Hannele & Vatanen, Saija. Recyclability and life cycle thinking in the design of vehicles and work machines. 2000. 46 p. + app. 8 p.
- 2036 Parikka, Risto, Mäkelä, Kimmo K., Sarsama, Janne & Virolainen, Kimmo. Hihnakuuljettimien käytön turvallisuuden ja luotettavuuden parantaminen. 2000. 77 s. + liitt. 24 s.
- 2039 Bojinov, Martin, Laitinen, Timo, Moilanen, Pekka, Mäkelä, Kari, Mäkelä, Matti, Saario, Timo & Sirkiä, Pekka. Development of a controlled-distance electrochemistry arrangement to be used in power plant environments. 2000. 48 p.
- 2063 Tonteri, Hannele, Vatanen, Saija & Kuuva, Markku. Työkoneiden käytön jälkeisen käsittelyn suunnittelu. 2000. 32 s. + liitt. 4 s.
- 2064 Tonteri, Hannele, Vatanen, Saija & Kuuva, Markku. Design for end-of-life treatment of work machines. 2000. 32 p. + app. 4 p.
- 2077 Solin, Jussi (ed.). Plant life management (XVO). Report 1999. 2001. 68 p. + app. 3 p.
- 2098 Parikka, Risto, Ahlroos, Tiina, Halme, Jari, Miettinen, Juha, Salmenperä, Pekka, Lahdelma, Sulo, Kananen, Markku & Kantola, Petteri. Monitorointi ja diagnostiikka. 2001. 55 s.