

Henri Sopenen

ONLINE-KUNNONVALVONNAN  
RIKASTAMOON

SOVELTAMINEN

LAHNASLAMMEN

Insinööriyö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Kevät 2004



**Kajaanin**  
**ammattikorkeakoulu**

**INSINÖÖRITYÖ**  
**TIIVISTELMÄ**

Osasto Tekniikka	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Henri Juhani Sopanen	
Työn nimi Online-kunnonvalvonnan soveltaminen Lahnaslammen rikastamoon	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Kunnossapito	Ohjaaja(t) Erkki Kovalainen, Mikko Heikkinen
Aika Kevät 2004	Sivumäärä 101+8
Tiivistelmä <p>Nykyaikaisten paperikoneiden käyttöaste on erittäin korkea. Yksi syy tähän on laajamittainen online-kunnonvalvonnan käyttö. Rikastamoilla ei tällä hetkellä ole Suomessa missään käytössä online-kunnonvalvontaa vaan mittaavaa kunnonvalvontaa on suoritettu lähinnä kannettavilla mittalaitteilla. Mondo Mineralsin Lahnaslammen tehtaan talkkia käytetään monella paperikoneella paperin lisäaineena, joten talkin tuotannon keskeytyminen pitkäksi aikaa rikastamon konerikon takia, aiheuttaa ongelmia lopulta paperin valmistamiseenkin. Tämän takia suuret tehtaot alkavatkin vaatia samaa käyttövarmuutta alihankkijoiltaan kuin itseltäänkin.</p> <p>Tässä työssä on tarkoituksena selvittää rikastamon laitteille sopivia kunnonvalvontamenetelmiä. Työssä ei tehty mittauksia, mutta kirjallisuuden kautta saatuja mittauksia on käytetty valintojen perusteluissa hyväksi. Jokaiselle laitteelle on esitelty sopivia kunnonvalvontamenetelmiä, joista on valittu käyttökelpoisimmat. Yhteistä niille on, että ne soveltuvat jatkuvaan mittaukseen. Suunnittelussa käytettiin kirjallisuuden lisäksi haastatteluita, vikahistoriaa ja vika-vaikutusanalyysiä apuna.</p> <p>Tuloksina saatiin selvitys sopivista kunnonvalvontamenetelmistä, suositukset parhaita menetelmiä koskien ja kunnonvalvontaa toimittavien yritysten tarjoukset. Työssä tehtiin myös talkin valmistusprosessista kirjallinen kuvaus, jota ei ennen ollut. Työtä sivuavana tuloksena voidaan pitää vikahistorian käytön parantumista, koska työtä tehdessä huomattiin puutteita sen kirjoittamisessa.</p>	
Luottamuksellinen Kyllä Ei X	
Hakusanat Kunnonvalvonta, mineraalien rikastus, värähtelymittaus, akustinen emissio	
Säilytyspaikka Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto	



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**

**ABSTRACT**

**FINAL YEAR PROJECT**

Faculty Faculty of Engineering	Degree programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Henri Juhani Sopanen	
Title Adapting Online-Condition Monitoring for the Dressing Plant in Lahnaslampi	
Optional professional studies Maintenance	Instructor(s) / Supervisor(s) Erkki Kovalainen, Mikko Heikkinen
Date Spring 2004	Total number of pages 101+8 appendix pages
Abstract <p>Mondo Minerals produces talc for paper, plastic and paint industry. In paper industry online condition monitoring is a common way to measure the condition of machinery. In Finland online condition monitoring at mineral dressing plants is very rare. Nowadays paper industry begins to require same availability from subcontractors than from itself. Condition monitoring gives information about failing components, helps to make plans for plant downtime and to minimize the length of downtime.</p> <p>The purpose of this final year project was to choose the right condition monitoring methods for a jaw crusher, a cone crusher and three ball mills. Measurements made for other machines were found in literature. Arguments about choosing condition monitoring methods were made with the help of those measurements. Interviews, failure mode and effects analysis and failure history are an important way to find out potential machine failures. With the help of failures the correct measurement methods for condition monitoring can be found.</p> <p>The results of the project were recommendations to choose suitable condition monitoring methods for machinery, getting offers from condition monitoring vendors, making a description of the talc manufacturing process, making a failure mode and effects analysis and improving the use of failure history.</p>	
Confidential Yes No <input checked="" type="checkbox"/>	
Keywords Condition monitoring, mineral dressing, vibration measurement, acoustic emission	
Deposited at Library of Kajaani Polytechnic	

## ALKUSANAT

Kiitän Mondo Mineralsin Erkki Kovalaista mahdollisuudesta tehdä insinööriyötä mielenkiintoisesta aiheesta ja avusta tämän työn tekemisessä. Työn valvovaa opettajaa Mikko Heikkistä, Kajaanin ammattikorkeakoulusta, kiitän neuvoista, joita sain oman luovuuden ja tietotaidon ollessa kateissa.

Kiittäisin myös ABB Servicen Mikko Huttua ja Uljas Juntusta heiltä saamistani tiedoista ja neuvoista.

Kajaanissa 31. maaliskuuta 2004

Henri Sopenen

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## ALKUSANAT

1	JOHDANTO .....	7
2	TALKIN VALMISTUSPROSESSI.....	9
	2.1 Malmin louhinta, murskaus ja jauhatus .....	9
	2.1.1 Esi- / karkeamurskaus.....	9
	2.1.2 Hienomurskaus .....	10
	2.1.3 Jauhatus .....	10
	2.2 Esivaahdotus.....	11
	2.3 Kertausvaahdotus 1 .....	11
	2.4 Väljajauhatusmylly .....	11
	2.5 2- ja 3-kertausvaahdotus.....	12
	2.6 Sakeutus / vedenpoisto .....	12
	2.7 Suodatus .....	12
	2.8 Kuivaus .....	12
	2.9 Kuljetus silloon .....	13
3	VALVOTTAVAT LAITTEET .....	14
	3.1 Murskaimet.....	15
	3.2 Kierto- eli kitamurskain (leukamurskain).....	15
	3.3 Kartiomurskaimet .....	17
	3.4 Symons-murskain .....	18
	3.5 Kuulamylly.....	20
	3.6 Myllyn pääosat .....	20
4	KUNNOSSAPITO .....	23
	4.1 Kunnossapitotoimintojen perusluokittelu .....	24
	4.2 Kunnossapitotoimenpiteiden luokittelu .....	25
5	KUNNONVALVONTA .....	26
	5.1 Kunnonvalvontajärjestelmän luominen.....	27
	5.2 Kunnonvalvonnalla saavutettavat edut.....	27
	5.3 Kunnonvalvontamittausten tulosten tulkitseminen.....	28
	5.4 Kunnonvalvontamittausten luokittelu.....	28
	5.5 Kunnonvalvonnan ja kunnossapidon yhteys .....	30
6	KUNNONVALVONTATARPEEN MÄÄRITTELY .....	31
	6.1 Mitattavien kohteiden valinta .....	32
	6.2 Mittaustavan valinta .....	33
	6.3 Menetelmän ja analysointitavan valinta.....	34
	6.4 Mittausaikaväli.....	35
7	KUNNONVALVONTAMENETELMÄT .....	36

7.1	Iskusysäysmittaus .....	36
7.2	Värähtelymittaus .....	37
7.3	Akustinen emissio .....	40
7.4	Voitelujärjestelmän valvonta.....	42
7.5	Lämpötilamittaus .....	46
7.6	Virtamittaus .....	46
8	TYÖSSÄ KÄYTETYT MENETELMÄT .....	48
9	TYÖN KULKU.....	49
10	VIKAHISTORIA JA VIKA-VAIKUTUSANALYYSI.....	51
11	LAITTEILLE SOPIVAT KUNNONVALVONTAMENETELMÄT.....	54
11.1	Leukamurskain.....	54
11.2	Kartiomurskain .....	56
11.3	Kuulamyllyt.....	60
11.4	Vaihteistot .....	63
11.5	Sähkömoottorit .....	67
12	KUNNONVALVONTAMENETELMIEN VALINTA .....	70
13	VUONOKSEN MURSKAIN.....	74
13.1	SKF Copperhead .....	75
13.2	Acutest-järjestelmä.....	77
14	SENSODEC 6S MONITORING SYSTEM .....	84
15	SKF MACHINE ANALYST .....	92
16	TYÖN TULOKSET.....	96
17	YHTEENVETO .....	97
	LÄHDELUETTELO .....	99
	LIITELUETTELO.....	101
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Mondo Minerals Oy valmistaa korkealaatuisia talkkituotteita paperi-, muovi-, kumi-, maali- ja lannoiteteollisuuden tarpeisiin. Mondo Minerals on sveitsiläisen perheyhtiön Omya AG:n omistama ja sillä on kolme tehdasta Suomessa sekä konttori Helsingissä. Tehtaat sijaitsevat Outokummussa, Kaavilla ja Sotkamossa. Yhtiöllä on tytäryhtiö Mondo Minerals B.W. Hollannissa, jolla on tehtaat Amsterdamissa ja Katwijkissa. Mondo Minerals tunnettiin aiemmin nimellä Finn Minerals ja se perustettiin 60-luvulla Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n, Lohjan Kalkkitehdas Oy:n ja Teollistamisrahaston toimesta. Vuonna 1996 WMC Ltd. ja Omya AG ostivat Finn Mineralsin UPM-Kymmeneltä ja 1998 nimi muuttui Mondo Mineralsiksi. Vuonna 2001 yritys siirtyi kokonaan Omya AG:n omistukseen. Yhtiöllä on SFS-EN ISO 9001:2000 järjestelmän mukainen laatujärjestelmä. [1,2.]

Tämä insinööri työ tehtiin Sotkamon Lahnaslammen tehtaalle. Sotkamon tehdas on Mondo Mineralsin tehtaista suurin tuotannoltaan ja henkilöstöltään. Tehtaan tuotanto vuonna 2002 oli 240 000 tonnia ja henkilöstön määrä noin 84 työntekijää. Tuotemerkki on FinnTalc ja se toimitetaan asiakkaille säkeissä, suursäkeissä, granulaahteina tai lietteenä.

Mondo Minerals on ulkoistanut kunnossapidon ABB Servicelle. Ulkoistamisen yhteydessä vanhat työntekijät siirtyivät talkkitehtaan palveluksesta ABB:lle. Näin elintärkeä tietotaito ja kokemus ei päässyt häviämään yritysjärjestelyjen yhteydessä työntekijöiden mukana.

Online-kunnonvalvonta tarkoittaa kiinteää järjestelmää, joka mittaa jatkuvasti laitteen kuntoa. Sen etuja ovat: Mittauksen toistettavuus, trendin muodostaminen ja hyvä vian ennakoiminen. Koska mittaajan ei tarvitse mennä pyörivien laitteiden, kuumien tai meluisten kohteiden luokse mittaamaan, kiinteä järjestelmä mittaa turvallisesti. Kiinteä järjestelmä voi olla monella tehtaalla käytössä, mutta sen valvonta voidaan keskittää yhteen paikkaan, jolloin järjestelmän käyttäjien määrä voi olla pienempi.

Joitakin vuosia sitten, Mondo Mineralsin Lahnaslammen tehtaan höyryvoimalan kattila vaurioitui varoittamatta. Kun alettiin tarkastella syytä vaurioitumiseen, huomattiin, miten vähän oikeastaan tiedettiin laitteiden todellisesta kunnosta. Lahnaslammen tuottamaa talkkia käytetään usealla paperikoneella paperin lisäaineena, joten talkin tuotannon yhtäkkinen loppuminen heijastuu myös Mondo Mineralsin asiakkaiden toimintaan. Nykyään onkin suurilla yrityksillä tapana vaatia samaa käyttövarmuutta alihankkijoiltaan kuten itseltäänkin. Paperikoneiden käyttövarmuutta onkin saatu lisättyä juuri online-kunnonvalvonnan avulla, joten samanlainen järjestelmä on oikeastaan välttämätön myös rikastamolla. Ennalta suunnitelmattomien seisakkien kustannukset kasvavat helposti niin suuriksi, että online-kunnonvalvonta maksaa itsensä takaisin jo yhden tällaisen tapahtuessa.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, mitkä kunnonvalvontamenetelmät soveltuvat parhaiten rikastamon laitteiden kunnon mittaamiseen. Suomessa rikastamoilla kunnonvalvonta on käsittänyt lähinnä kannettavilla laitteilla suoritettuja mittauksia. Online-kunnonvalvontaa ei tällä hetkellä ole millään rikastamolla Suomessa käytössä, joten Mondo Mineralsia voidaankin pitää suunnannäyttäjänä rikastamon kunnonvalvonnan kehittämisessä.



## 2 TALKIN VALMISTUSPROSESSI

Prosessinkuvauksen teossa on ollut avustamassa rikastamonmestari [3]. Talkki rikastetaan vuolukivestä, jonka koostumuksesta noin 50 % on talkkia. Vuolukivi louhitaan avolouhintana ja kuljetetaan sen jälkeen murskaamolle.

### 2.1 Malmin louhinta, murskaus ja jauhatus

Urakoitsija hoitaa malmin louhinnan ja kuljetuksen esimurskaukseen, jonka jälkeen suoritetaan hienomurskaus ja jauhatus. Louhiminen tehdään räjäyttämällä kalliota räjähdysaineella, joka on poraamalla tehtyjen reikien avulla sijoitettu oikeisiin kohtiin. Liian suuret lohkat pienennetään ennen kuljetusta louhoksella iskuvasaran avulla.

#### 2.1.1 Esi- / karkeamurskaus

Malmi syötetään tärysyöttäjällä leukamurskaimeen, jonka toiminta perustuu puristukseen. Epäkeskon aiheuttama liikkuvan leuan liike on suurimmillaan kidan yläosassa, jossa hienonnetaan suurimmat kappaleet. Alle 100 mm:n raekokoon murskattu kivi jatkaa edelleen vaunusyöttäjälle ja hihnakuljettimien avulla jatkoprosessiin.

Kun malmin ajo ei ole käynnissä, toimii välivarastona murskekasa, jonka kivimäärä vastaa 1 - 2 viikon tarvetta. Ennen kuin materiaali päätyy murskekasaan, se seulotaan 2 -tasotäryseulalla, jonka yläverkon silmäkoko on 40 mm ja alaverkon 20 mm. Karkea jae, joka ei mene verkon silmän läpi on ylitettä ja hieno jae, joka menee silmän läpi on alitetta. Alite menee suoraan hienomurskaukseen ja karkeampi murske kivikasaan. Murskekasan alla on 3 kpl vaunusyöttäjiä, joilla hoidetaan rikastamon syöttö, kun kiven ajo ei ole käynnissä.

### 2.1.2 Hienomurskaus

Hienomurskaimena toimii kartiomurskain, jonka toiminta perustuu myös epäkeskon aiheuttamaan liikkeeseen. Kartiomurskaimessa liike on pyörivän lisäksi sivuttaista. Murskaus tapahtuu puristamalla ja iskemällä.

Kartiomurskain on suljetussa piirissä epäkeskotäryseulan kanssa. Seulassa on 40 mm ja 16 mm seulaverkot, seulan alite menee malmisiiloon ja ylite kartiomurskaimelle. Murskaimen tuote kiertää takaisin seulan syötteeksi. Tätä sanotaan kiertokuormaksi.

Murskauspiireissä syntyvä pöly otetaan talteen ja johdetaan omaan siiloonsa. Pöly erotetaan puhtaasta ilmasta letkusuotimien avulla. Letkusuotimen toiminta muistuttaa tavallisen imurin toimintaa. Siinä pölyinen ilma imetään putkimaisten suodatinsukkien läpi, jolloin pöly jää sukkaan ja puhdas ilma virtaa sukan läpi poistoputkeen. Pussit puhdistetaan pölystä täristämällä niitä, jolloin pöly päätyy suppilomaiseen alaosaan. Suppilosta pöly kuljetetaan pneumaattisesti siiloon.

### 2.1.3 Jauhatus

Talkki jauhetaan esivaahdotushienouteen kahdella  $\varnothing 3,8 \text{ m} \times 5,3 \text{ m}$  kuulamylyllä. Tässä vaiheessa prosessiin lisätään vesi eli jauhatus on märkäjauhatus. Myllyt ovat arinatyypisiä eli niissä on poistopäädysssä arina, jonka läpi liete voi poistua, näin vältetään liejuuntumisilmiö ja ylijauhautuminen. Jauhinkappaleina on 90 mm:n, 60 mm:n ja 40 mm:n teräskuulia, jotka iskevät ja hiertävät raaka-ainetta. Jauhinkappaleita on n. 35 - 40 tonnia per mylly ja syötettävä murskeen määrä on yhteensä molemmilla myllyillä maksimissaan 100 t/h. Myllyt ovat kumivuorattuja.

Myllyt ovat suljetussa piirissä luokittimien kanssa. Luokittimina toimivat syklonit, joihin liete syötetään tangentialisesti. Hienempi jae eli ylite nousee syklonissa ylös ja karkeampi jae eli alite laskeutuu alas. Syklonin alite palautetaan takaisin myllyn jauhettavaksi ja ylite menee esivaahdotukseen.

## 2.2 Esivaahdotus

Jauhatuksesta tullut liete esivaahdotetaan kahdessa 100 m<sup>3</sup>:n vaahdotuskennossa. Vaahdotuskemikaalina käytetään vaahdotusöljyä, joka lisätään ennen esivaahdotuskennoja. Lietteeseen puhalletaan kennon roottorin läpi vaahdotusilmaa, jolloin talkkimineraali tarttuu syntyneen vaahtokuplan pintaan ja nousee kennon ylitteeksi. Jäte jää kennon pohjalle, josta se menee jätekaivoon. Kennon ylite eli rikaste jatkaa kertausvaahdotukseen ja alite eli jäte menee ripevaahdotukseen. Ripevaahdotuksen rikaste johdetaan kertausvaahdotukseen ja jäte menee 40 m:n sakeuttimeen, nikkelin rikastuksen syötteenä.

## 2.3 Kertausvaahdotus 1

Esivaahdotuksesta tullut rikaste vaahdotetaan OK-16 -kennoissa. Jäte menee ripevaahdotukseen ja rikaste pumpataan syklonipattereihin joiden alite menee välijauhatukseen ja ylite 2-kertausvaahdotukseen.

## 2.4 Välijauhatusmylly

Välijauhatusmylly eli hienojauhatusmylly on myös kumivuorattu kuulamyly. Se on kooltaan  $\varnothing 2,9 \text{ m} \times 3,96 \text{ m}$ . Siinä olevat kuulat ovat pienempiä kuin edellisissä myllyissä (25 mm), koska pienemmät kuulat sopivat paremmin hienon syötteen jauhatukseen.

Välijauhatusmyllyn syöte tulee 1-kertauksen rikasteesta syklonien kautta. Syklonien alite päättyy siis myllyyn, kun taas ylite menee 2-kertauksen vaahdotukseen. Myllyn tuote menee välijauhatusmyllyn tuotevaahdotukseen, jonka rikaste palautuu 1-kertaukseen ja jäte menee rikastushiekan läjitysalueelle.

## 2.5 2- ja 3-kertausvaahdotus

2-kertauksen rikaste menee 3-kertauksen syötteeksi. 3-kertauksen rikaste on lopullinen tuote, jonka talkkipitoisuus on yli 96 %. Saatu rikaste pumpataan 50 m:n sakeuttimeen. 2- ja 3-kertauksen jäte menee välituotevaahdotukseen, jossa erotetaan vielä mahdollisesti jäljellä oleva talkki. Välituotevaahdotuksesta saatu rikaste palautetaan 2-kertauksen vaahdotukseen ja jäte pumpataan rikastushiekka-altaaseen.

## 2.6 Sakeutus / vedenpoisto

Rikastettu talkkiliete sakeutetaan  $\varnothing$  50 m:n sakeuttimessa. Liete pumpataan sakeuttimen keskellä olevien putkien kautta sakeutusaltaaseen. Kiintoaine laskeutuu sakeuttimen pohjalle alitteeksi, josta se kaavataan sakeuttimen alla oleville alitepumpuille. Sakeuttimen ylitevesi otetaan takaisin prosessin alkupäähän.

## 2.7 Suodatus

Lietteestä, jonka kap (kiintoainepitoisuus) on n. 60 %, poistetaan vettä suodattamalla. Käytössä on Larox Oy:n valmistama painesuodatin, jonka kapasiteetti on n. 30 t/h. Suodosvesi johdetaan takaisin sakeuttimeen ja suodatuksessa syntynyt kostea (n. 13 %) talkkirikaste menee hihnakuljettimella kuivaamolle tai ajetaan suodinkakkuna varastosiiloon.

## 2.8 Kuivaus

Suodinkakku, jonka kosteus on n. 13 %, syötetään ruuvikuljettimella tappimyllyyn, johon johdetaan myös öljypolttimella tuotettu, yli 600 -asteinen kuivausilma. Talkki kuivuu sen törmäillessä tappimyllyn siipiin ja kuuma ilma pääsee haihduttamaan kosteutta pois. Talkki ja kuivausilma johdetaan sykloniin, jossa ne erotetaan toisistaan. Palamiskaasut menevät letkusuotimien kautta savukaasupuhaltimen paineella piippuun. Kuivauksen loppulämpötila säättää syöttöruuvien kierroksia, ja

kuivauskapasiteettia säädellään öljyn syöttöä muuttamalla. Keskimäärin öljyä kuluu n. 400 kg/h.

## 2.9 Kuljetus siiloon

Kuivauksen jälkeen talkin kosteus on 0 %. Talkki kuljetetaan pneumaattisesti mikrotalkkitehtaalle kiertomäntäkompressorin synnyttämän tilavuusvirran avulla. Kuivaa talkkia menee jatkojalostukseen n. 30 t/h.

### 3 VALVOTTAVAT LAITTEET

Laitteet, joihin online-kunnonvalvontaa oli tarkoitus hyödyntää, valittiin niiden vikaantumisten aiheuttamien tappioiden vakavuuden mukaan. Tappioilla tarkoitetaan tuotannollisia ja taloudellisia tappioita. Esimerkiksi leukamurskaimen vikaantuminen vakavasti aiheuttaa koko tuotannon alasajon puskurien loputtua. Näitä puskureita ovat siilot, sakeuttimet ja ”kivikasa”.

Laitteiden vikaantuessa niiden varaosien saanti saattaa kestää jopa kuukausia. Laitteen vikaantuminen saattaa tapahtua sen verran harvoin, että niiden varaosia ei kannata kuitenkaan hankkia valmiiksi varastoon. Koska varaosakustannukset ovat niin suuret, täytyy saada varmuus siitä, että niitä todella tarvitaan.

Laitteen kriittisyys tuotannon suhteen voidaan määritellä monella tapaa. Esimerkiksi ABB:n viisiportaisen kriittisyysluokittelun perusteella tuotannon kaikki todella elintärkeät laitteet saadaan määriteltä. Tosin kaikille niille laitteille, jotka kuuluvat korkeimpiin luokkiin, ei välttämättä kannata online-kunnonvalvontaa toteuttaa.

Jos valitaan kriittisyysluokan neljä laite, se tarkoittaa, että laitteen pysähtyminen aiheuttaa lopulta koko tuotannon pysähtymisen. Kriittisyysluokan viisi laitteen vikaantuminen aiheuttaa edellisen lisäksi henkilö- ja ympäristöriskin.

Koska online-kunnonvalvonta on suhteellisen suuri investointi, valittiin sen piiriin vain ne laitteet, joiden osien saanti voi kestää kuukausia, vaikutus tuotantoon on huomattava sekä laitteet joiden kunnossapito- ja vauriokustannukset ovat huomattavat. Jotta opinnäytetyö ei paisuisi liian suureksi, rajattiin siihen kuuluvaksi leukamurskain, kartiomurskain ja kaikki kolme kuulamylyä. Myös laitteiden moottorit ja voimavälitykset otettiin mukaan työhön. Laitteet ovat varmentamattomia, joten niiden rikkoontuminen aiheuttaa tuotannon pysähtymisen vian pitkittyessä. Kuulamylyt 1 ja 2 voivat toimia erikseen, mutta jommankumman vioituessa kapasiteetti puolittuu. Niiden moottoreille on varakappaleet, mutta vaihteiston rikkoutuessa varavaihteiston toimitusaika on jopa kolme kuukautta. Tästä syystä vaihteiden suhteen kunnonvalvonta on perusteltua.

Esimerkkinä laitteen todellisen kunnon tuntemisen hyödystä on Vuonoksen leukamurskain. Se hankittiin käytettynä, ja kuukausi hankinnasta sen laakerit hajosivat. Murskain oli pitkään toimintakelvoton ja viasta aiheutuneet kokonaiskustannukset olivat kolme kertaa suuremmat kuin laitteen hankintahinta. Tuolla summalla olisi voinut kustantaa kaikille kolmelle tehtaalle kattavat kunnonvalvontajärjestelmät.

Seuraavat murskaimiin ja kuulamylyihin liittyvät kuvaukset perustuvat Toimi Lukkarisen mineraalitekniikan kirjoihin osat 1 ja 2. [4, 5]

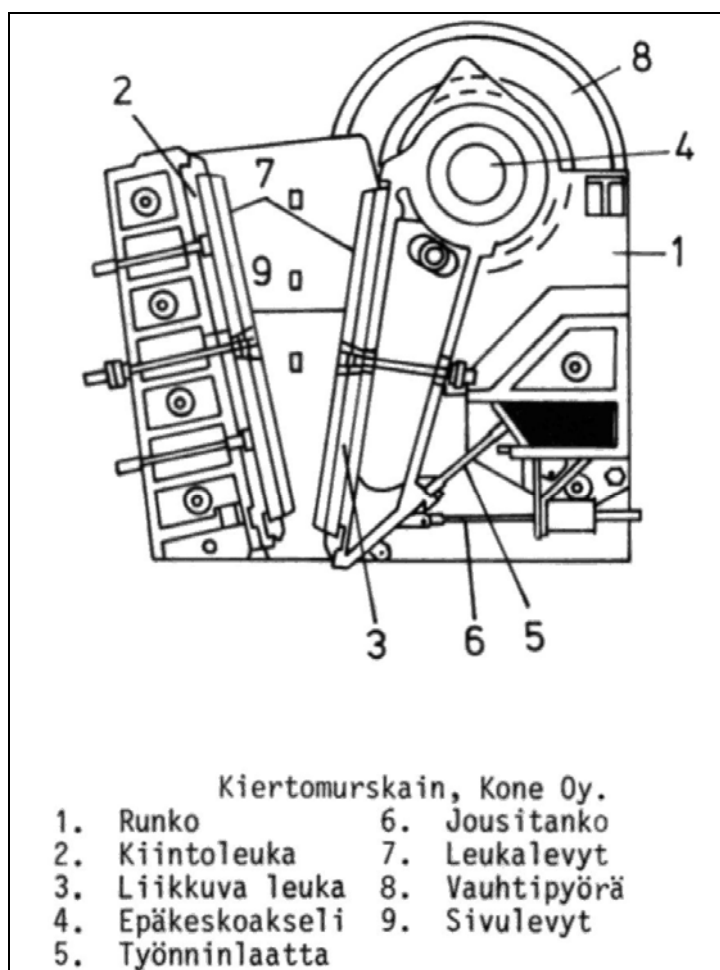
### 3.1 Murskaimet

Amerikkalainen Eli Whitney Blake kehitti leukamurskaimen 1800-luvun puolivälissä. Sen vuoksi leukamurskainta kutsutaan myös Blake-murskaimeksi. Toisen leukamurskaintyyppin nimeksi on vakiintunut kierto- tai kitamurskain nimen keinotekoisuudesta huolimatta. Molemmissa murskaimissa kivi hienonnetaan puristamalla se liikkuvan leuan a avulla kiinteää leukaa b vasten. Liikkuvan leuan liike saadaan aikaan koneen käyttölaitteiden pyörittämän epäkeskon c ja työnninlaattojen d avulla. Työnninlaattoja on kiertomurskaimessa yksi, mutta Blake-tyyppisessä kaksi. Kiertomurskain on tullut yksinkertaisemman ja halvemmän rakenteensa vuoksi Blake-murskainta suosittumaksi. [4, s. 89.]

### 3.2 Kierto- eli kitamurskain (leukamurskain)

Kiertomurskaimen rakenne on esitetty kuvassa 1. Koneen runko 1 tehdään teräslevyistä, jotka kootaan pulttiliitoksilla. Kiinteä leuka 2 kiinnitetään pulteilla runkoon. Liikkuva leuka 3 on akselinsa kautta ripustettu rungosta. Akselilla oleva epäkesko 4 panee leuan liikkeeseen. Liikkuvan leuan alapää on työnninlaatan 5 avulla tuettu koneen runkoon. Jousitanko 6 toimii liikkuvan leuan palauttajana. Kiinteää ja liikkuvaa leukaa kulutukselta suojaa Mn-teräksiset pystyuritetut, pulteilla leukoihin kiinnitetyt leukalevyt 7, jotka ovat joko suoria tai kaarevia. Murskaustilan sivut on

suojattu poskilevyillä 9. Vauhtipyörät 8 tasoittavat koneen käynnin. Toinen vauhtipyörä toimii samalla koneen kiilahihnapyöränä. [4, s. 89.]



Kuva 1. Leukamurskain [4]

Kiertomurskaimen asetusta eli leukalevyjen alapäiden keskinäistä etäisyyttä säädetään joko työnninlaatan takana olevilla levyillä tai liikuttamalla samaan paikkaan asennettua säätökappaletta hydraulisesti. Asetusarvo määrää murskatun materiaalin hienouden. Tangon 6 ja siihen kuuluvan jousen asemasta voidaan liikkuva leuka palauttaa myös hydraulisesti, jolloin palautusvoima on asetuksesta riippumaton. [4, s. 90, 6.]

Kiertomurskaimen epäkeskeinen liike on suurimmillaan liikkuvan leuan yläosassa eli sillä kidan alueella, missä suurimmat kappaleet murskataan. Tämä aiheuttaa sen, että sekä leukaan että epäkeskoon kohdistuvat voimat tulevat suuriksi. [4, s. 90.]



Kiertomurskain on tyypillisesti esimurskain. Suurien koneiden kidat ovat 2,5 - 4,0 m:n syvyisiä, mikä takaa hyvän murskaussuhteen, joka on noin 3 - 7. Tästä on hyötyä kaivoksissa, koska yksi esimurskausvaihe riittää. [4, s. 90.]

Kiertomurskaimen koko eli kita-aukko ilmoitetaan kidan pituuden ja leveyden mukaan. Esimerkiksi 1200 × 900 tarkoittaa, että murskaimen kidan akselin suuntainen pituus on 1200 mm ja sitä vastaan kohtisuora leveys 900 mm. Esimurskaimen koko valitaan louhinnasta tulevan suurimman lohkareen mukaan. [4, s. 90, 6.]

Leukamurskain murskaa vain 50 % sen käyttöajasta eli silloin kun liikkuva leuka liikkuu kohti kiinteää leukaa. Murskaimen jaksottaisen työtavan johdosta ovat siihen kohdistuvat rasitukset suuret. Koneen tulee olla joka kohdasta vahva ja runsaasti mitoitettu. [4, s. 93.]

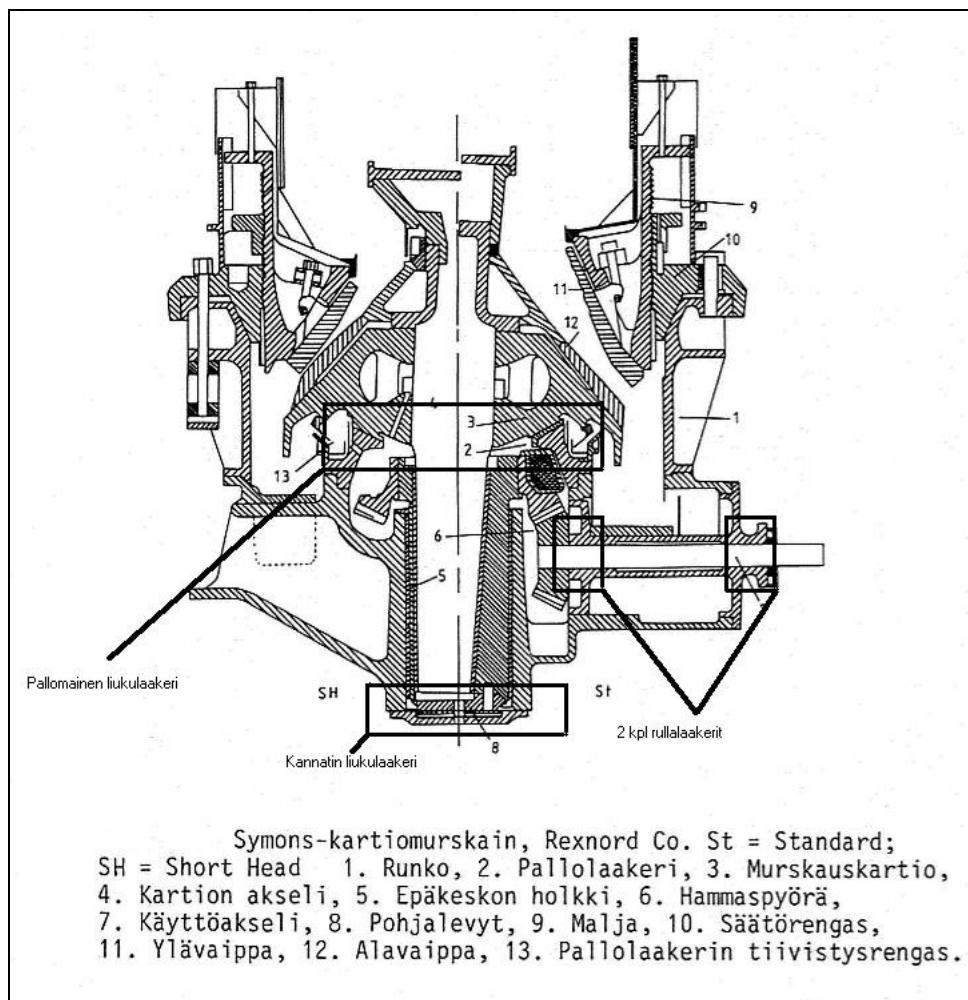
### 3.3 Kartiomurskaimet

Kartiomurskaimissa kivi hienonnetaan kahden sisäkkäin olevan kartiomaisen murskausvaipan välissä. Toinen vaippa on murskaimen runkoon kiinnitetty kiinteä ulkovaippa ja toinen vaippa on sisävaippa, joka on kiinnitetty liikkuvan murskainkartion pinnalle. Vaippojen välinen murskaustila kapenee alaspäin mentäessä. Asetus tarkoittaa vaippojen pienintä keskinäistä etäisyyttä.

Kartiomurskaimia on kahta päätyyppiä: karamurskain ja Symons-murskain. Edellisen murskauskartio on ripustettu yläpäästään, mutta jälkimmäisessä murskauskartio lepää pallolaakerin varassa. Kartiomurskaimet murskaavat jatkuvasti, mutta vain puolella vaippojen murskauspinta-alasta [4, s. 96]. Mondo Mineralsin Lahnaslammen tehtaalla on käytössä Symons-kartiomurskain.

### 3.4 Symons-murskain

Symons-kartiomurskaimen kehittivät amerikkalaiset Symonsin veljekset vuoden 1910 tienoilla. Tämä maailman eniten käytetty murskaintyyppi soveltuu väli- ja hienomurskaukseen. Siitä on edelleen kehitetty kolme päätyyppiä: Standard, Short Head ja Gyradisc. Murskaustuotteen hienousaste kasvaa edellä mainitussa järjestyksessä. Kahdesta ensiksi mainitusta tyypistä on lisäksi erittäin karkea (extra coarse), karkea (coarse), keskikarkea (medium) ja hieno (fine) muunnelma kunkin murskainkoon puitteissa aivan pienimpiä lukuun ottamatta. Murskaimen koko ilmaistaan murskauskartion alareunan läpimittana, USA:ssa jalkoina ja muualla millimetreinä. [4, s. 102] Kuva 2 esittää Symons-murskainta.



Kuva 2. Kartiomurskain [4]

Symons-murskaimen sylinterimäinen runko 1 voidaan kiinnittää perustukseen joko kumityynyjen päälle, asentamalla suoraan tai ripustamalla. Rungon alaosan muodostaa sylinterimäinen osa, jonka keskiosassa on pallopintainen pronssilaakeri 2. Murskauskartion 3 akselin 4 alapää on sijoitettu osan 1 sisällä olevaan epäkeskioholkkiin 5, jossa on kaksi sisäkkäin olevaa pronssioholkkia. Hammaspyörä 6 pyörittää epäkeskoa ja saa siten murskauskartion pyörivään ja kieppuvaan liikkeeseen. Moottorin antama teho siirretään kiilahihnavälityksellä käyttöakselin 7 kautta hammaspyöriin. Pohjalevyt 8 kannattavat murskauskartion alapäätä ja yhdessä pallolaakerin kanssa koko murskauskartiota. Murskaimen malja 9 on kierteillä kiinnitetty säätörenkaaseen 10, joka on puolestaan kiinnitetty runkoon jousien ja jousipulttien avulla. Maljaan on kiinnitetty murskaimen ylävaippa 11 ja kartioon alavaippa 12, joiden välissä malmi murskataan. Jousien on tarkoitus päästää malja nousemaan, jos vaippon väliin tulee tavallista suurempi kivi tai metalliesine. Pallolaakeri on suojattu lialta tiivisterenkaan 13 labyrinttien väliin johdetun paineilman tai veden avulla. [4, s. 103.]

Symons-murskaimissa on kolmiosainen hydraulinen säätöjärjestelmä, jonka ensimmäisen osan avulla säädetään murskaimen asetusta, toisen avulla malja lukietaan säätörenkaaseen ja kolmannella saadaan malja kohotetuksi vaippon väliin tarttuneen vieraan esineen irrottamiseksi. Symons-murskainten vaipat valmistetaan tavallisimmin kovamanganiteräksestä, mutta myös Ni-Cr-valurautaisia käytetään. Standard-tyyppisen murskaimen alavaippa on kaksiosainen, mutta ylävaippa on yhtenäinen. [4, s. 103.]

Murskausakselin yläpäähän pulteilla kiinnitetty syöttölautanen jakaa murskattavan malmin tasaisesti joka puolelle. On suositeltavaa, että syöte putoaa suoraan syöttölautaselle vähintään metrin verran pystysuoraan tasaisen 360° :n jaon varmistamiseksi. Muussa tapauksessa syöte menee kitaan yhtä puolta suosien, ja sen puolen jouset elävät tavallista enemmän, mikä aikanaan aiheuttaa säätörenkaan ja rungon kulumista. Kummankin osan täytehitsaus ja koneistus on kallista työtä. [4, s. 103.]

Kartiomurskaimen pallolaakeri, tiivistysrengas, epäkeskon holkit, kartion akselin kannatuslevyt ja käyttöakselin laakerit voidellaan automaattisesti. Öljy pumpataan

murskaimen ulkopuolella olevasta säiliöstä murskaimeen. Paluuöljy virtaa putkea pitkin säiliöön. Paineputkessa oleva painevahti valvoo paineen riittävyyttä, ja paluuputkessa oleva virtausilmaisoin hälyttää virtauksen katketessa. Öljysäiliössä on lisäksi lämpömittari. [4, s. 104.]

Edellä mainituista päätyypeistä Standard on tarkoitettu karkeampaa n. alle 30 - 40 mm:n ja Short-Head hienompaa n. alle 6 - 20 mm:n tuotteen murskausta varten. Standard-murskaimen murskaussuhde on 6 - 8:1 ja Short-Headin 4 - 6:1. Gyra-disc-tyyppi on tarkoitettu tuottamaan peräti alle 3 - 6 mm:n tuotetta murskaussuhteen ollessa 6:1. [4, s. 104.]

### 3.5 Kuulamyly

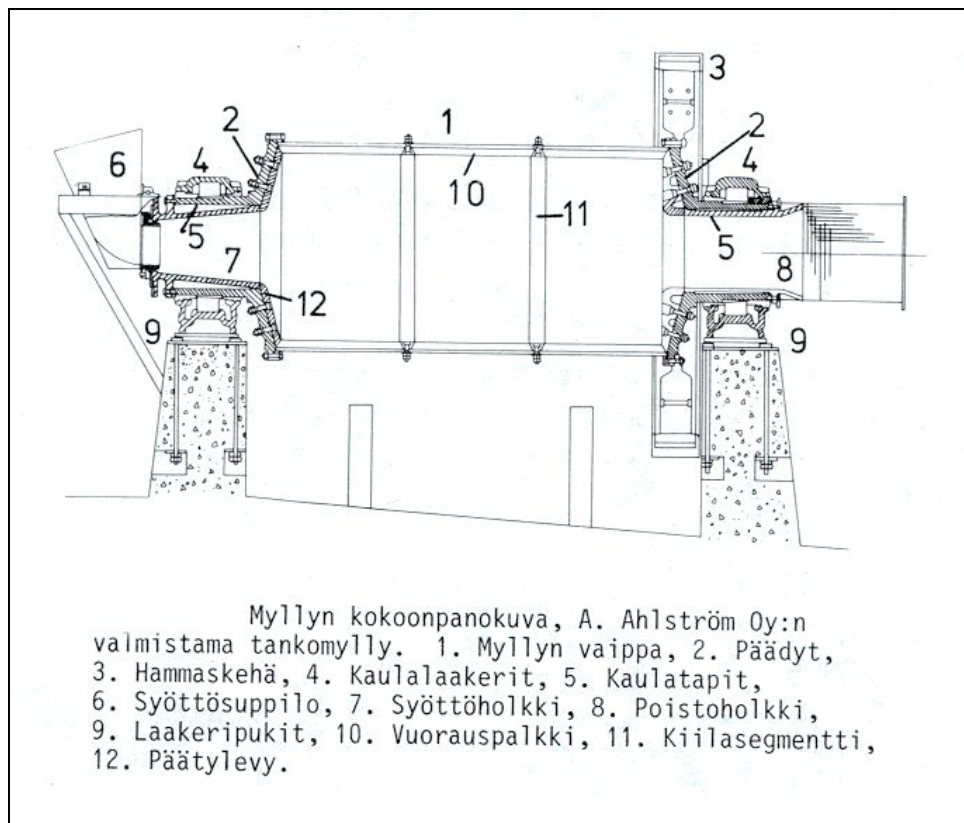
Kuulamyly oli aikoinaan ensimmäinen rumpumyly. Kuulamyly voi olla joko ylitehtäinmyly, joista edellinen on yleisempi. Periaatteessa kuulamyly voidaan muuttaa lohkar- tai palamylyksi vaihtamalla jauhinkappaleet ja asentamalla arina, ellei sitä ennestään ole. [4, s. 207.]

### 3.6 Myllyn pääosat

Myllyn pääosat selviävät kuvasta 3. Seuraavassa käsitellään niistä tärkeimmät.

1. Varsinaisen myllyn muodostaa valssatusta teräksestä valmistettu vaippa eli rumpu siihen pulteilla liitettyine päätyineen.
2. Myllyn päätyihin on pulteilla kiinnitetty tai samaksi kappaleeksi valettu kaulatapit, jotka toimivat myllyn kannatuseliminä.
3. Myllyjä pyöritetään tavallisesti rummun ympärillä olevan ison hammaskehän välityksellä. Tämä puolestaan pannaan liikkeelle myllyn sivulla olevan moottorin pyörittämän pienen hammaskehän avulla. Moottorin ja pienen hammaskehän välissä on hammasvaihteisto.
4. Kannatuslaakerit ovat joko vierintä- tai liukulaakereita. Pienten myllyjen laakerit ovat rullalaakereita ja suurissa myllyissä käytetään liukulaakereita.

5. Mylly pyörii kaulatappien ympärillä olevien kaula- eli kannatuslaakerien varassa. Näiden asemasta käytetään joskus rummun alla kantopyöriä, jotka voivat olla joko umpinaisia tai ilmarenkaita.
6. Syöttö johdetaan myllyyn sen syöttöholkin läpi.
7. Myllyn vaippa, päädyt ja kaulatappit on vuorattu kulumista vastaan erilisillä vuorauskappaleilla.
8. Tuote poistuu ulostulopäästä poistoholkin kautta, joskin muitakin tapoja on. Virtauksen helpottamiseksi pieni gradientti on tarpeen.
9. Kannatuslaakerien laakeripukit on asennettu teräsbetoniselle alustalle. [4, s. 196.]



Kuva 3. Jauhatusmylly [4]

Jauhatusapahtuma on kuulamylyssä sekä isku- että hiertojauhatusa kuulien käsitellessä jauhettavaa materiaalia kuulamassan välissä ja vuorausta vasten. Kuulamylyyn ottaman syötön määrä riippuu monesta eri tekijästä, mutta erikoisesti malmin laadusta. Jos mylly on avopiirissä, siihen voidaan syöttää malmia enemmän kuin suljetussa piirissä toimivaan. Kuulamylyyn pyörimisnopeus on tehtävän

mukaan tavallisesti  $n_p = 65 - 80 \%$ . Myllyn muodosta johtuen suhteellinen nopeus pienenee myllyn läpimitan kasvaessa, mutta kehänopeus kasvaa. [4, s. 207.]

Kuulamylyn kuulakoko riippuu oleellisesti syötteen karkeudesta ja tuotteen hienoudesta. Esijauhatusmyllyssä käytetään suurempia ja hienojauhatusmyllyssä pienempiä kuulia. Tuotantoa aloitettaessa eli myllyä ensi kerran täytettäessä pyritään kuulapanos kokoamaan useista eri kokoisista kuulista. Saatavissa olevien kuulien koko vaihtelee laajoissa rajoissa, ja tavallisimpia ovat läpimitaltaan 25, 30, 50, 75, 100 ja 150 mm:n kuulat. Materiaali on valurautaa, Ni-hard-valurautaa tai valssattua terästä. Hienojauhatuksessa käytetään kuulien asemasta varsin yleisesti myös jauhinlieriöitä eli cylpebsejä. Niiden pituus on sama kuin paksuuskin. [4, s. 207.]

Myllyn pyörimisnopeus kiihdytyksen jälkeen on tasainen, joka on valittu jauhatustehtävän, kapasiteetin ja myllyn koon perusteella. Myllyn pyörimisnopeutta verrataan sen kriittiseen pyörimisnopeuteen ( $n_c$ ). Kriittisellä pyörimisnopeudella tarkoitetaan sellaista nopeutta, jolla jauhinkappale ei enää irtoa myllyn pyöriessä sen kehältä [4, s. 178]. Kriittinen nopeus saadaan kaavasta

$$n_c = 42,3 \times (D-d)^{-1/2},$$

jossa  $D$  on myllyn läpimitta ja  $d$  on jauhinkappaleen läpimitta. Kun myllyn nopeus  $n$  ilmaistaan %:ssa kriittisestä ja merkitään  $n_p$ :llä, saadaan

$$n_p = (n/n_c) \times 100 \% \quad [4, s. 180].$$

#### 4 KUNNOSSAPITO

Kunnossapito määritellään SFS-EN 13306 -standardissa seuraavasti: ”Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoitus on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon.” [7.]

Kunnossapito on käsitteenä laaja ja monitasoinen. Kunnossapidon tavoitteena on huolehtia koneiden, laitteiden ja rakennusten kunnosta, jotta

- Tuotanto voi tapahtua olosuhteissa, jotka ovat edullisimmat nettotuottojen, turvallisuuden, ympäristön ja laadun kannalta (tuotteiden tuottaminen).
- Palvelu voidaan tuottaa siten, että asiakas on tyytyväinen ja kustannus/laatu -suhde on mahdollisimman edullinen (esimerkiksi. liikenne, sairaalat, majoittuminen).

Tämän tavoitteen saavuttamiseksi täytyy pystyä:

Tuotantotoiminnan kunnossapidossa

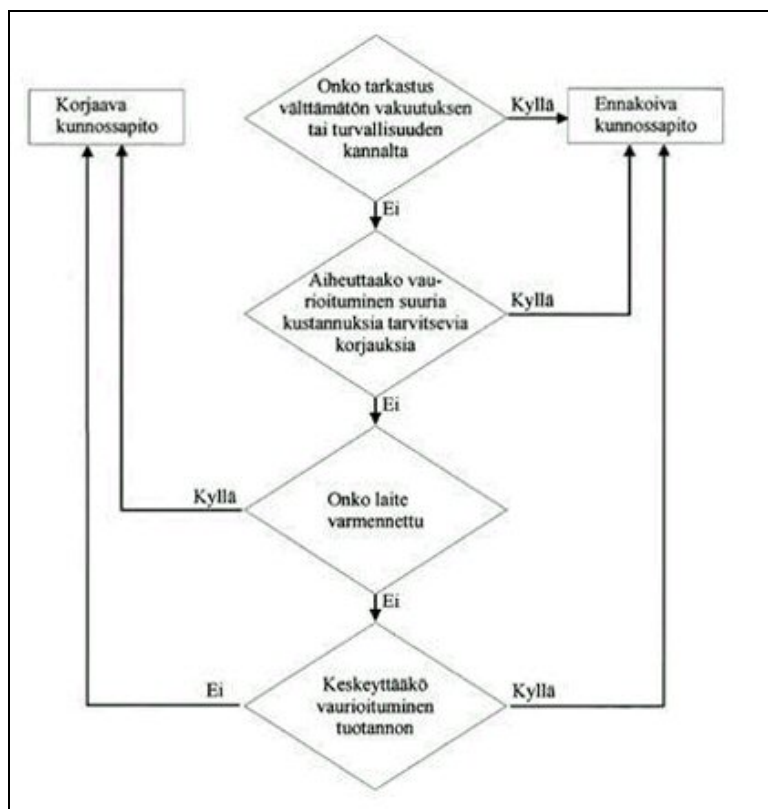
- Kunnonvalvontaan, huoltamaan, korjaamaan ja modifioimaan varsin erilaisia koneita ja laitteita.
- Korjaamaan syntynyt vika minimiviiveellä ja optimikustannuksilla.

Yleisessä kunnossapidossa

- Seurannalla ja ennakkoinnilla varmistaa varsin erilaisten toimintojen perusedellytysten saatavuus (sähkö, vesi, ilma, lämmitys jne.).
- Huoltamalla ja korjaamalla varmistaa toimintakyvyn säilyminen, esim. rakennukset, kulkuvälineet, tie- ja katuverkko, puhelimet, puistot jne. [8, s.13.]

#### 4.1 Kunnossapitotoimintojen perusluokittelu

Kunnossapitotoiminnot voidaan toimintaperiaatteiden tasolla luokitella seuraavasti: Ehkäisevä kunnossapito käsittää kaikki ne tarkastus-, testaus-, ja huoltotoimenpiteet, joita tehdään ilman, että laitteessa olisi tiedossa olevaa vikaa. Käyttöseuranta on kaiken kunnossapitotoimen perusta. Sitä suorittavat pääsääntöisesti laitteen käyttäjät [8, s. 24]. Joissain teoksissa puhutaan myös käytönvalvonnasta, mutta molemmat tarkoittavat samaa asiaa. Kunnonvalvonta on kohteen toiminnan tarkkailua ja mittausta joko jatkuvasti tai määrävälein. Tavoitteena on alkavan vikaantumisen havaitseminen ja korjaaminen ennen kuin se estää kohteen halutun toiminnon toteutumisen. Jaksotetut huollot on perinteinen käyttöaikaan, käyttökertoihin tai vastaavaan perustuva huoltotoimenpide, joka tehdään kohteen tilasta riippumatta, kuten esimerkiksi öljynvaihto. Korjaavaa kunnossapitoa suoritetaan, kun kohde on vikaantunut. Vikaantuminen voi olla joko kokonaisvika, joka estää kohteen kaikki toiminnot tai osittaisvika, joka estää osan kohteen toiminnoista. Kuvassa 4 oleva kaavio helpottaa päätöstä, kun pohditaan kunnossapidon strategiaa eli ennakoidaanko vai korjataanko viat. [8.]

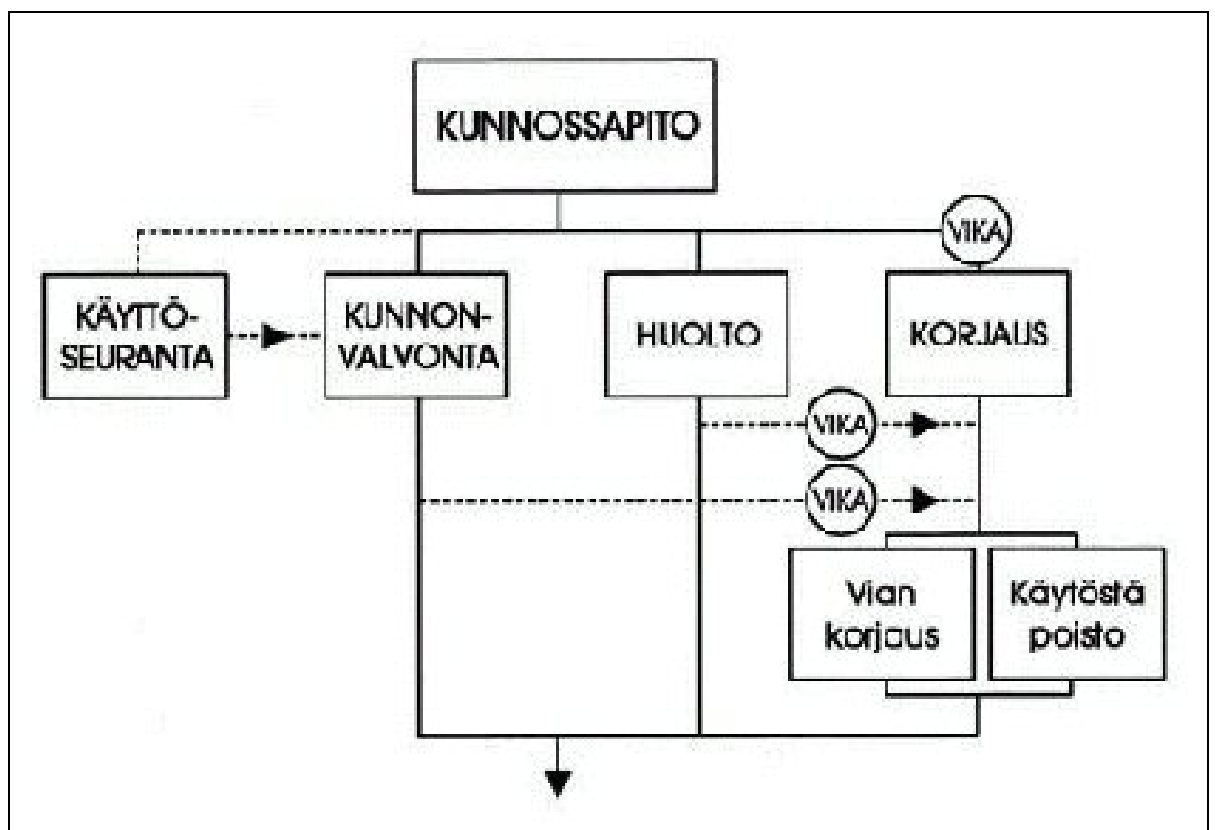


Kuva 4. Kunnossapitoperiaatteen valinta [8]



#### 4.2 Kunnossapitotoimenpiteiden luokittelu

Kunnossapitotoimenpiteet luokitellaan seuraavasti: Tarkastuksessa kohteen toimintakyky selvitetään ilman yksilöityjä mittauksia tai päätelmiä. Testaamalla kohteen toimintakyky tarkastetaan vertaamalla saatuja mittaustuloksia kohteelle spesifioituihin arvoihin. Testaus sisältää myös mittaustuloksiin liittyvät päätelmät. Huollossa kohteelle suoritetaan ennalta laaditun ohjelman ja toimenpidesuunnitelman mukaiset kunnonvalvonta ja huoltotoimenpiteet. Korjaus on toimenpide, jonka tarkoituksena on poistaa kohteesta paikannettu vika. Käytöstä poisto tarkoittaa osan tai koko kohteen käytöstä poistaminen spesifioidun eliniän täyttymisen, taloudellisesti kannattamattoman korjauksen tai kohteen modifioinnin vuoksi. On huomattava, että käytöstä poistaminen sisältää myöskin käytöstä poistetun kohteen tai purkamisen jälkeen sen osien asianmukaisen hävittämisen. Kuvassa 5 esitetään kunnossapidon jaottelu toimenpiteiden perusteella. [8, s. 25.]



Kuva 5. Kunnossapidon toimenpiteet [8]

## 5 KUNNONVALVONTA

Ennen kunnonvalvontaa suoritettiin pääasiassa aistien avulla, esimerkiksi kuuntelemalla puukepin avulla laakereita, kokeilemalla koneenosien lämpöä ja tunnustelemalla jaloilla tai kädellä koneen tärinää. Koneiden kuntoa voitiin arvioida myös seuraamalla lopputuotteen laatua. Nämä menetelmät ovat edelleen käyttökelpoisia eikä niitä pidä aliarvioida tänäkään päivänä, mutta niitä korvaamaan ja täydentämään on ryhdytty käyttämään yhä enemmän erilaisia mittausmenetelmiä. [9.]

Tärkeimmät syyt mittaavan kunnonvalvonnan käyttöön ovat:

- Tuotantolinjoja rakennetaan ilman varakoneita, jolloin yksittäisen koneen käynti tulee kriittisemmäksi koko tehtaan kannalta.
- Tuotantomäärien kohoaminen on aiheuttanut sen, että seisokkituntien hinnat ovat nousseet.
- Pyörimisnopeuksien kasvun myötä vikojen kehittyminen tapahtuu nopeammin.
- Koneiden rakenteiden keventäminen on tuonut tärinävalvonnan rakenteiden keston kannalta yhä tärkeämmäksi.
- Prosessien säädön muuttuessa yhä enemmän kierroslukusäätöiseksi vaihtelee koneiden tärinäkäyttäytyminen huomattavasti eri kierroslukualueilla.
- Koska huolto- ja käyttöhenkilökuntaa on vähennetty, säännöllinen aistien-varainen valvonta koneiden luona on myös vähentynyt.
- Aistienvaraisista huomioista ei saada kirjattua tunnuslukuja, joiden avulla voitaisiin koneiden kuntoa valvoa.
- Keräilevien mittalaitteiden kehittyminen on madalluttanut niiden käyttöönotto-kynnystä.
- Meluisa, vaarallinen tai muuten epämiellyttävä ympäristö on antanut aiheen siirtyä käyttämään mittauksia aistihavaintojen sijasta. [9, s. 13.]

## 5.1 Kunnonvalvontajärjestelmän luominen

Kunnonvalvontajärjestelmän luomisen neljä päävaihetta ovat:

1. Valitaan mitattavan kohteen tilaa parhaiten mittaavat tunnussuureet.
2. Valituille tunnussuureille määritellään mittauksen suoritustaajuudet ja hälytysrajat.
3. Luodaan mittausten suoritusjärjestelmä sekä tulosten tulkinta- ja taltiointijärjestelmä.
4. Luodaan hälytys ja toteutusjärjestelmä mittaustulosten vaatimille päätöksille ja toimenpiteille. [8, s. 32.]

## 5.2 Kunnonvalvonnalla saavutettavat edut

Kustannussäästöt

Tärkein kunnonvalvonnan tuoma hyöty on luonnollisesti kokonaiskustannuksissa saavutettava kustannussäästö toimintojen optimointimahdollisuuden kautta [8].

Turvallisuus

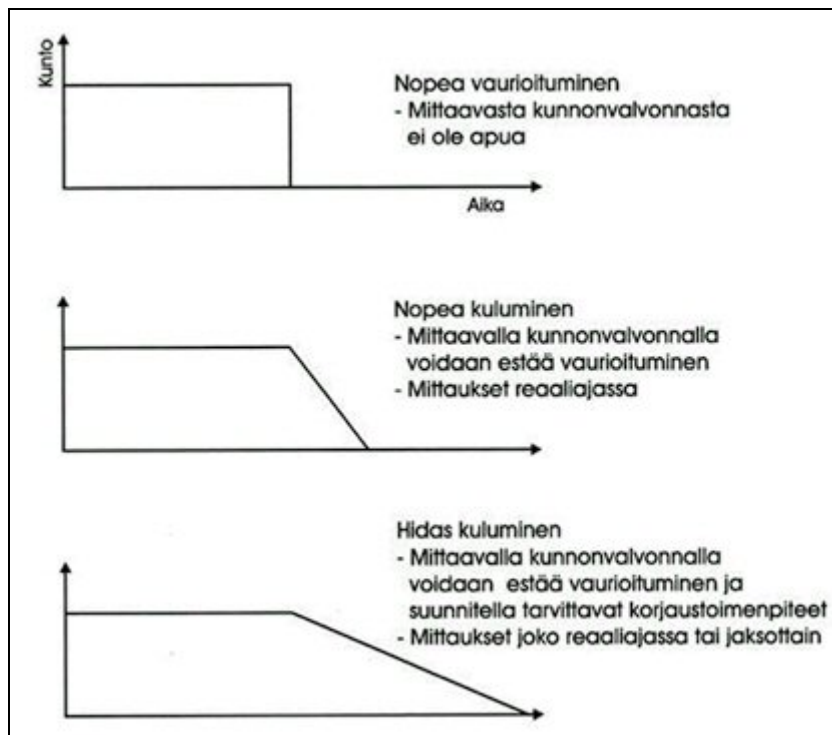
Varsin usein rikkoontuminen muodostaa turvallisuusriskin, joko laitteen käyttäjälle tai sivulliselle [8].

Päästöt ympäristöön

Kunnonvalvonnalla voidaan minimoida sekä jatkuvien että kertaluontoisten päästöjen riskit [8].

### 5.3 Kunnonvalvontamittausten tulosten tulkitseminen

Mittauksiin liittyy kiinteästi itse mittaus sekä tulosten analysoiminen. Tuloksen tulkitsemisessä on taas kaksi selkeätä erillistä osuutta: onko mittaustulos sallittujen rajojen sisällä ja havaitaanko trendiä verrattaessa aikaisempiin mittauksiin. Kunnonvalvontamittausten tehokkuus ja soveltuvuus riippuu voimakkaasti tutkittavan vikaantumisen muodonmuutosnopeudesta, kuten kuvasta 6 näkyy.



Kuva 6. Vian muodostumisnopeuden vaikutus kunnonvalvontaan [8]

### 5.4 Kunnonvalvontamittausten luokittelu

Kunnonvalvonnassa mittausten luokitteluperusteina voivat olla joko tunnussuureet tai mittausmenetelmät. Aistinvaraiset tarkistukset: ovat tärkeitä yleiskuvan antajia, mutta ne on vaikeita dokumentoida ja verrata eri aikoina tehtyihin havaintoihin. Aistinvaraisia tarkistuksia ovat esim. näkö, kuulo, haju ja tunto. [8, s. 34.]

## Fysikaaliset perussuureet

Lämpötilaa voidaan tarkkailla lämpökameralla, jolla voidaan paljastaa lämpö- ja nestevuodot. Lämpötilan mittausta käytetään mm. energiatekniikassa, prosessiteollisuudessa sekä laakerointien että jäähdytys- ja voitelujärjestelmien tarkkaisuun. [8.]

Painetta tarkkaillaan hydraulikka- ja pneumatiikkajärjestelmissä sekä voitelujärjestelmissä ja yleensäkin prosessiteollisuudessa [8].

Sähköisiä perussuureita kuten jännitettä ja virtaa mitataan sähkölaitteista ja -komponenteista. Tehoa ja vastusta mitataan sähkökäytöistä ja niillä voidaan selvittää käytettävien laitteiden yleiskunto [8].

Ainettarikkomattomat (NDT) mittaukset, joita ovat tunkeumaneste, ultraääni, röntgenkuvaus, pyörrevirta sekä akustinen emissio. Tunkeumanestettä käytetään rakenteiden halkeamien paljastamiseen. Ultraääntä, röntgenkuvausta, pyörrevirtaa sekä akustista emissiota hyödynnetään väsymismurtumien, korroosion ja vuotojen paljastamiseen. [8.]

## Värähtely- ja äänimittaukset

- värähtelymittaus (pyörivien laitteiden laakeroinnit)
- iskusysäys (hammasvaihteet, vierintälaakerit)
- äänimittaus (laitteiden yleiskunto). [8.]

## Öljyanalyysit

- hiukkasanalyysi (hydraulikka, voiteluöljyt, kuluminen)
- kemiallinen analyysi (voitelujärjestelmät, öljynvaihto, kulumisanalyysi).

[8, s. 35.]

## 5.5 Kunnonvalvonnan ja kunnossapidon yhteys

Kunnonvalvonnan tehtäväksi voidaan määrittää tietojen tuottaminen, joiden avulla koneita ja laitteita voidaan käyttää keskeytyksettä suunnitellun käyttöjakson ja suorittaa oikea-aikaisesti korjaukset, huollot sekä parannukset. Mitä aikaisemmin kunnonvalvonnan avulla havaitaan koneen kunnossa tapahtuneet muutokset, sitä enemmän aikaa on käytettävissä kunnossapitotöiden suunnitteluun. [9, s. 43.]

Kokemusten perusteella on huomattu, että koneiden kunnossapitoon tarvittavat tiedot voidaan ilmaista hyvin yksikäsitteisesti:

- nopeasti kehittyvien vikojen ilmoittaminen (hälytys)
- kehittyvien vikojen havaitseminen ja tunnistaminen (diagnoosi)
- jäljellä olevan käyttöajan arviointi (prognosi)
- korjaavien toimenpiteiden suunnittelu.

Hälytystieto syntyy yleensä automaattisesti ja viesti kulkee suoraan käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnalle.

Kunnonvalvonta itse tarvitsee palautetietona:

- tiedot koneen rakenteesta ja käyntiolosuhteista (nopeus, kuormitus)
- tiedot suoritetuista korjauksista, huolloista tai parannuksista.

Edellisen perusteella voidaan esittää toimintamalli kunnonvalvonnan ja kunnossapidon tietojärjestelmien välille. Oleellinen seikka on havaittava, että kunnonvalvonta on ohjaava toimenpide, ei ohjattava. Useissa kunnonvalvontajärjestelmissä on jo sisään rakennettu itseohjaus. [9, s. 43.]

## 6 KUNNONVALVONTATARPEEN MÄÄRITTELY

Seuraavat tässä luvussa esitetyt tiedot perustuvat suurimmaksi osin Petri Nohynekien ja Veli-Erkki Lumpeen Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset -teokseen [9]. Tehdaslaitoksessa käytettävien laitteiden kunnonvalvonnan tarve vaihtelee. Laitteen mittaustarve määritellään seuraavien tekijöiden perusteella:

### 1. Kriittisyys tuotannon kannalta

- tuotannon määrä
- tuotannon laatu
- käyttöolosuhteet
- häiriöherkyys

### 2. Turvallisuustekijät

- henkilöriskit
- ympäristöriskit

### 3. Kunnossapitotekijät

- kunnossapitokustannukset
- huollettavuus
- varaosien saatavuus
- luoksepäästävyys
- ympäristöolosuhteet

### 4. Muut tekijät

- vikaantumismekanismi
- vaurion laajuus
- laitteen pyörimisnopeus
- laitteen käyttöteho
- laitteen rahallinen arvo [10, s. 2].

## 6.1 Mitattavien kohteiden valinta

Määrittelyä helpottaa seuraava menettelytapa. Valitaan tärkeiksi katsotut tekijät, joille annetaan keskinäistä tärkeyttä kuvaavat kertoimet esim. pyörimisnopeudelle kerroin 5 ja kriittisyydelle 50. Tämän jälkeen arvioidaan yksittäisten koneiden kunkin tekijän painoarvoa, esim. pyörimisnopeus alle 500 1/min antaa painoarvon 1 ja pyörimisnopeus yli 12000 1/min antaa painoarvon 20. Laskemalla kunkin tekijän kohdalla kertoimen ja painoarvon tulo ja laskemalla kaikkien tekijöiden tulot yhteen saadaan laitekohtainen kunnonvalvontatarvetta kuvaava luku (kuva 7).

Tekijä Factor	Painoarvo Weighting coefficients	Kerroin Multiplier	Valintakriteeri Criteria of choice
Kriittisyys Criticality	40	0	Pysähtymisellä ei merkitystä tehtaaseen tai osaston tuotannolle. <i>Shut-down of the machine does not affect the production of the plant or department.</i>
		2	Lyhyt seisokki, vähäinen tuotannon menetys, järjestelyvaraa tai käyttövalmiina varalaitteita. <i>Short down-time, minor production loss, system resources or stand-by machine available.</i>
		4	Laaja seisokki, suuri tuotannonmenetys, vähän järjestelyvaraa tai ei varalaitteita. <i>Extensive down-time, major production loss, system resources or stand-by machine not available.</i>
		8	Tehtaaseen tai osaston täydellinen pysähtyminen, pitkä korjausaika, huono varaosien saatavuus tai katastrofivaara. <i>Total shut-down of the plant or department. Long repair time, poor availability of spare parts, risk of catastrophe.</i>
Häiriöherkkyys Sensitivity to failures	15	1	Varmakäyntinen <i>High reliability</i>
		2	Vähäisiä häiriöitä <i>Minor malfunctions</i>
		4	Häiriöherkkä <i>Sensitive to failures</i>
		8	Erittäin häiriöherkkä <i>Extremely sensitive to failures</i>
Ympäristöolosuhteet ja luoksepäästävyyden Accessibility and environmental conditions	15	1	Hyvät tai kohtuulliset, lattiatasolla <i>Good or reasonable, floor level</i>
		2	Kosteutta, likaa, syrjässä <i>Humidity, dirt, distant</i>
		4	Kuuma, kylmä tai hankala luoksepäästävyyden <i>Hot, cold or poor accessibility</i>
		8	Erittäin kuuma, märkää, likaa, syövyttäviä kaasuja tai luoksepäästävyyden käynnin aikana lähes mahdoton. <i>Extremely hot, wet, dirt, corrosive gases or extremely poor accessibility during machine operation</i>
16	Erittäin ankarat olosuhteet tai mittauspaikalle ei pääse laitetta purkamatta <i>Extremely harsh environment or inaccessible without dismantling the machine</i>		
Pyörimisnopeus Machine CPM	15	1	n < 100 1/min
		2	n = 100...2000 "
		4	n = 2000...5000 "
		8	n = 5000...10000 "
		16	n > 10000 "
Rahallinen arvo Financial value	10	1	H < 20000 mk (FIM)
		2	H = 20000...200000 "
		3	H = 200000...1000000 "
		4	H = 1...10 Mmk (million FIM)
		5	H > 10 "
Käyttöteho Machine service output	5	1	P < 5 kW
		2	P = 5...50 "
		4	P = 50...200 "
		6	P = 200...500 "
		8	P > 500 "

n on pyörimisnopeus 1/min,  
H on kohteen hankintahinta mk, ja  
P on laitteen käyttöteho kW

n is machine CPM, 1/min  
H is the purchase price of the machine, FIM, and  
P is power rating of the machine in kW

Kuva 7. Mittaustarpeen määrittely [10]



Kun kaikki laitoksen koneet on käyty läpi ja niille kullekin on saatu laskettua kunnonvalvontatarvetta kuvaava luku, jaetaan koneet tämän perusteella kolmeen ryhmään. Jos kone kuuluu ylimpään ryhmään, merkitsee se sitä, että koneeseen tulee asentaa kiinteä mittausjärjestelmä, joka jatkuvasti valvoo koneen kuntoa. Mittausjärjestelmä tulee valita siten, että se pystyy havaitsemaan varhaisessa vaiheessa koneen kunnossa tapahtuneet muutokset ja antamaan niistä hälytykset valvovalle henkilöstölle. Tällaisia järjestelmiä käytetään yleisesti suurten laitosten avainkoneissa, kuten paperikoneissa ja voimalaitosten turbiineissa, mutta myös pienempien tuotantolaitosten yksittäisissä avainkoneissa, kuten kompressoreissa ja puhaltimissa. [9, s. 33.]

Ne koneet, jotka arvioinnin perusteella kuuluvat keskimmäiseen ryhmään, kuuluvat myös säännöllisen kunnonvalvonnan piiriin. Näitä koneita tulee valvoa niillä mittausmenetelmillä, joilla voidaan riittävän ajoissa havaita koneiden kunnossa tapahtuneet muutokset. [9.]

Jos kone arvioidaan kuuluvan alimpaan ryhmään, merkitsee se sitä, että koneelle ei suoriteta mitään säännöllistä kunnonvalvontaa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö koneelle olisi hyödyllistä tehdä mittauksia. Esimerkiksi ennen seisokkia voidaan mittauksia suorittaa näille koneille, jotta niissä mahdollisesti havaittavia vikoja voidaan korjata samalla, kun korjaustoimia muutenkin tehdään. [9, s. 35.]

## 6.2 Mittaustavan valinta

Säännöllisiä kunnonvalvontamittauksia toteutetaan seuraavilla tavoilla:

- kiinteällä automaattisella järjestelmällä
- puolikiinteällä järjestelmällä
- kannettavilla mittalaitteilla.

Kiinteä, automaattinen järjestelmä koostuu koneeseen asennetuista antureista, anturikaapeleista sekä mittausyksiköstä. Mittausyksiköstä johdetaan mittausviesti eteenpäin joko digitaalisena, analogisena tai hälytysviestinä. Kiinteä järjestelmä

asennetaan kohdan 6.1 perusteella määritetyille koneille. Näiden lisäksi kiinteitä järjestelmiä voidaan asentaa toimimaan koneen suojausjärjestelmänä esim. erityyppisille nopeakäyntisille koneille. [9.]

Puolikiinteä järjestelmä koostuu koneeseen asennetuista antureista, anturikaapeleista sekä liitäntäyksiköstä, johon anturikaapelit on johdettu. Varsinainen mitaus suoritetaan liittämällä kannettava mittalaite liitäntäyksikössä anturikaapeleihin. Tätä mittaustapaa sovelletaan mitattaessa kohteita, joiden luokse on vaikeaa tai mahdotonta päästä tai joiden lähelle meneminen on suuri työturvallisuusriski. [9.]

Kannettavilla mittalaitteilla mitataan määrääjain muut laitteet, jotka on kohdan 6.1 perusteella määritelty säännöllisen mittaustoiminnan piiriin. Lähes kaikkiin mittalaitteisiin kuuluu nykyään sisäinen muisti, johon mittaustulokset kentältä voidaan kerätä, ja mittalaitteen kanssa toimiva ohjelmisto, jota käytetään tietokoneella. Ohjelmalla luodaan mittaustietokanta, jossa on mittauspisteet ja -reitit. Mittaustulokset tallennetaan tietokantaan, josta saadaan erilaisia hälytysraportteja ja jossa mittaustulosten kehittymistä voidaan tarkastella graafisesti. [9.]

### 6.3 Menetelmän ja analysointitavan valinta

Kun säännöllisen mittaustoiminnan piiriin valittavat koneet on saatu selvitettyä, tulee konekohtaisesti tarkastella tyypilliset ja todennäköisimmät vikaantumismekanismit. Tarkastelun jälkeen tulee valita sellaiset menetelmät ja analysointitavat, joilla merkittävimmät vikaantumismekanismit saadaan tunnistettua riittävän ajoissa. [9.]

Yhden menetelmän ja analysointitavan soveltaminen kaikkiin tuotantolaitoksen kohteisiin saattaa johtaa siihen, että osa koneisiin syntyvistä vioista jää täysin havaitsematta. Toinen ääripää on liian usean mittaustapojen soveltaminen saman koneen kunnonvalvontaan, jolloin tehdään turhaa työtä. Sopivia mittaustapojen ja analysointitapojen väärtelymittauksessa voisivat olla esim. seuraavat:

- puhallin: värähtelyn kokonaistaso
- vierintälaakerit: iskusysäysmittaus
- hitaasti pyörivät laakerit: verhokäyräanalyysi
- sähkömoottorit: spektrianalyysi
- vaihde: spektrianalyysi ja aikatasoanalyysi. [9, s. 36.]

#### 6.4 Mittausaikaväli

Mittausaikavälin määrittämisessä tulee ottaa huomioon erityisesti laitteen häiriöherkkyys ja vaurioiden kehittymisnopeus: Mittausaikavälin tulee olla niin lyhyt etteivät ennakoitavat viat pääse mittausten välillä kehittymään vaurioiksi. Kunnonvalvontaa aloitettaessa tai uuden koneen koekäyttövaiheessa valitaan riittävän lyhyt mittausväli, tyypillisesti 2 - 4 viikkoa. Kokemusten karttuessa voidaan mittausaikaväliä myöhemmin konekohtaisesti lyhentää tai pidentää. Yleisesti teollisuudessa käytetään mittausaikavälinä noin neljää viikkoa. Vikaantumisen merkkejä havaittaessa on mittausaikaväliä luonnollisesti lyhennettävä, jotta vikaantumista voidaan tarkemmin seurata. Lisäksi siinä vaiheessa voidaan turvautua täydentäviin mittausmenetelmiin, kuten lämpötilamittaukseen. [9, s. 37.]

Jos koneen mittausaikavälin arvioidaan pysyvästi olevan lyhyempi kuin yksi viikko, on taloudellisten seikkojen perusteella syytä harkita kiinteän mittausjärjestelmän valintaa. Jos mittausaikaväli asetetaan pidemmäksi kuin kaksi kuukautta, ei kunnonvalvonta enää ole ennakoivaa, koska monet viat voivat mittausaikavälin aikana syntyä koneeseen ja kehittyä vaurioiksi. Tällöin kunnonvalvonnasta on siirrytty koneen kuntomittaukseen, jota voidaan käyttää esim. ennen huoltoseisokkia määrittämään huoltotoimenpiteitä ja huoltoseisokin jälkeen varmistamaan, että huoltotyöt ja koneen kokoaminen ovat tapahtuneet asiallisesti. [9.]

## 7 KUNNONVALVONTAMENETELMÄT

Pyörivät koneet ja laitteet pääsääntöisesti, riippumatta kierrosluvusta, sisältävät laakeroinnin ja niiden moitteettoman toiminnan mahdollistavan voitelun. Tästä syystä laitteiden kunnonvalvonta liittyy suurelta osin joko niiden kunnon mittaukseen tai niiden kautta tehtävään mittaukseen. Sähkömoottoreiden kunnonvalvonnassa käytetään myös sähköisiä mittauksia. Välillisten mittausten kautta voidaan koneen kuntoa myös arvioida. Näitä ovat muun muassa prosessi-suureiden mittaaminen ja tuotteiden laadun tarkkaileminen, mutta näihin ei tässä työssä puututa. Liitteessä A on esitetty eri kunnonvalvontamenetelmien soveltuvuus erityyppisten vikojen havaitsemiseen. Sen avulla voi vertailla eri menetelmien hyötyä juuri oman kohteen vikaantumisten estämiseen.

Seuraavassa on esitelty lyhyesti yleisimmät kunnonvalvontamenetelmät. Niistä löytyy enemmän tietoa tämän opinnäytetyön lähteistä.

### 7.1 Iskusysäysmittaus

Iskusysäysmittaus on kehitetty erityisesti vierintälaakereiden vikojen tunnistamiseen. Iskusysäysmittaus tunnetaan yleensä SPM-mittauksena. SPM tulee sanoista shock pulse method eli vierintälaakereissa muodostuvat viat synnyttävät iskuja jotka voidaan tunnistaa. [11.]

Kun esimerkiksi laakerin ulkokehällä on vika, vierintäelimen ohittaessa sen kohdan, syntyy paineaalto joka etenee materiaalissa kaikkiin suuntiin. Paineaalto on transienttinen eli se vaimenee nopeasti. Paineaallon etureunan kohdatessa iskusysäysanturin, se saattaa anturissa olevan vertailumassan vaimenevaan värähtelyyn. Anturista saatava huippuamplitudi on suoraan verrannollinen iskun nopeuteen. [11.]

Suodatettu anturisignaali kuvaa painevaihteluja laakerin vierintäpinnoilla kosketusvyöhykkeellä. Kun laakerin voitelukalvo on kunnossa, iskusysäystaso on matala ja siitä ei erotu erillisiä huippuja. Kun voiteluainekalvo ohenee signaalin taso alkaa

kasvamaan, mutta erottuvia huippuja ei esiinny vielääkään. Kun voiteluainekalvo pettää aiheuttaa se signaalissa voimakkaita pulsseja epäsäännöllisesti. Vierintäpintojen vauriot aiheuttavat suuren nousun iskusysäyssignaalin huippujen voimakkuudessa sekä suuren eron heikkojen ja voimakkaiden pulssien välillä. Iskuarvot muutetaan mittaustuloksiksi, jotka kuvaavat voitelukalvon tai laakerivaurion suuruutta. [11.]

Jotta mittausta voidaan tulkita, tarvitsee iskusysäysmittari alkutietoina tiedot laakerityypistä ja -halkaisijasta sekä pyörintänopeudesta. Iskusysäyssignaalit mitataan yleensä desibeliasteikolla. [11.]

## 7.2 Värähtelymittaus

Kaikki koneet pyöriessään synnyttävät värähtelyjä. Värähtely on koneen tai koneen osan edestakaista liikettä tai pyörivän akselin kieppumista. Akselin kieppuminen on taipuneen akselin keskipisteen kiertoliikettä pituusakselin ympäri. Värähtelyn voimakkuus on koneen kunnan ensisijainen ilmaisin. Mitä voimakkaampaa värähtely on, sitä huonommassa kunnossa kone yleensä on [12]. Liitteessä B on esitetty vianhakutaulukko [13], josta ilmenevät yleisimmät vianaiheuttajat ja niiden tunnusomaiset piirteet värähtelyspektreissä.

Koneen tai rakenteen värähtelyä ylläpitävät ulkoiset tai sisäiset herätevoimat. Rakenteen värähtelee yleensä siinä vaikuttavien herätevoimien taajuuksilla. Rakenteen ominaistaajuuksilla pienikin herätevoima saa aikaan voimakkaan värähtelyn. Resonanssiksi kutsutaan tilannetta, jossa jokin koneessa vaikuttavista herätevoimista osuu lähelle jotakin ominaistaajuutta. [12.]

Koneen värähtelyä mitataan siirtymänä ( $\mu\text{m}$ ), nopeutena ( $\text{mm/s}$ ) ja kiihtyvyytenä ( $\text{m/s}^2$ ,  $g$ ). Mitattava suure valitaan mittaushetken, ratkaistavan ongelman ja valittavan vauriotyyppin perusteella. Värähtelyn voimakkuutta ilmaisee signaalin amplitudi. Tätä voidaan mitata tehollis- eli RMS-arvona, huippuarvona (peak) tai huipusta huippuun (peak to peak) arvona [12]. Nopeuden tehollisarvolle on kansainvälisiä standardeja sallituista värähtelyarvoista. Liitteessä C on esitetty

värähtelyjen arvosteluperusteet VDI 2056:n mukaan [13]. Siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyden yhteys selviää seuraavasta taulukosta (1).

*Taulukko 1. Värähtelysuureiden muunnokset*

Kiihtyvyys (peak)	Nopeus (peak)	Siirtymä (peak)
$A_p$	$V_p = A_p / (2 \times \pi \times f)$	$S_p = A_p / (2 \times \pi \times f)^2$

Kiihtyvyyssanturi on nykyään yleisin värähtelymittauksissa käytetty anturi. Sen toiminta perustuu pietsosähköiseen kiteeseen. Kiihtyvyyssanturin käytön etuja ovat pienikokoisuus, keveys eivätkä ne kuormita mitattavaa kohdetta. Käyttökelpoiset taajuusalueet ovat laajat ja lineaariset. Kiihtyvyyssignaali voidaan mittarissa muuttaa helposti nopeudeksi ja edelleen siirtymäksi integroimalla. Taajuusalue värähtelymittauksessa kokonaistasoa mitattaessa on karkeasti 10 Hz - 10 kHz, mutta spektrianalyysillä päästään jopa 1 Hz - 100 kHz taajuusalueeseen. [14.]

Mittauskohtaa valittaessa tulisi ottaa huomioon ainakin tärkein asia, eli signaalitien on oltava mahdollisimman lyhyt. Signaali saa ylittää ainoastaan yhden rajapinnan eli laakerista laakeripesään. Mittauskohta on valittava kuormitustilanteen mukaan, siten että jos kuormitussuunta on alaspäin niin mittaus tulee suorittaa laakeripukin alemmasta puoliskosta.

Värähtelyn mittaus voidaan suorittaa tarkkailemalla useilla eri tavoilla mitattavaa kohdetta. Signaalia voidaan tarkastella aikatasossa ja taajuustasossa (spektri). Näitä voidaan käsitellä seuraavilla menetelmillä: verhokäyräanalyysi (envelope), kepstri, tahdistettu keskiarvostus, vaihekulma ja kurtosis. Hitaasti pyöriville laitteille envelope-analyysi on tehokas menetelmä ja vaihteistolle kepstri sekä tahdistettu keskiarvostus.

Jotta värähtelymittauksista saadaan paras hyöty, täytyy valvottavien kohteiden vikataajuudet selvittää. Kun vikataajuudet tiedetään voidaan keskittyä valvomaan niitä. Tämän vuoksi laitteen toiminnasta syntyvät normaalit taajuudet eivät häiritse kunnonvalvontaa koska ne voidaan suodattaa pois mitattavasta signaalista. Esimerkiksi vaihteistossa syntyy kahden hammaspyörän pyöriessä ryntötaajuus, joka on verrannollinen niiden pyörimistaajuuteen kerrottuna rynnössä olevien hampai-

den lukumäärällä. Jos normaalin ryntötaajuuden amplitudi kasvaa normaalista tasosta voimakkaasti, se voi merkitä esimerkiksi puutteellista voitelua tai liian suurta kuormitusta. Vaihteistossa sen normaali toiminta aiheuttaa tiettyä taajuutta, jota voidaan kutsua hampaiden ohitustaajuudeksi, mutta vikaantumisen yhteydessä vikataajuudeksi. Värähtelymittauksissa onkin tärkeää ymmärtää koneen toiminta ja rakenne, ettei synny vääriä johtopäätöksiä mitatuista signaaleista. Koska kunnonvalvonnassa seurataan juuri laakereiden vikaantumista, on niiden toiminnassa syntyvien ohitus/vikataajuuksien tietäminen tärkeää. Vierintälaakereiden vika-taajuudet lasketaan seuraavasti. Ulkokehän sysäystaajuus  $f_u$  syntyy kun vierintäelin osuu ulkokehällä olevaan vaurioon. Ulkokehän vikataajuus lasketaan

$$f_u = N/2 \times (1 - d/D \times \cos\beta)n.$$

Sisäkehän vikataajuus  $f_s$  lasketaan

$$f_s = N/2 \times (1 + d/D \times \cos\beta)n.$$

Vierintäelimen vikataajuus  $f_r$  lasketaan

$$f_r = D/2d \times [1 - (d/D \times \cos\beta)^2]n.$$

Vierintäelimien pidikkeen vikataajuus  $f_p$  lasketaan

$$f_p = 1/2 \times (1 - d/D \times \cos\beta)n.$$

Kaavoissa olevat termit:

$N$  = vierintäelimien lukumäärä

$d$  = vierintäelimen halkaisija

$D$  = laakerin jakohalkaisija

$\beta$  = vierintäelimen kosketuskulma

$n$  = pyörimistaajuus

### 7.3 Akustinen emissio

Akustisella emissiolla tarkoitetaan ilmiötä, jossa materiaalissa tapahtuva paikallinen nopea energian vapautuminen synnyttää siinä etenevän hetkellisen kimmoaallon. Tällaisia kimmoaaltoja syntyy esimerkiksi toisiinsa nähden liikkuvien pintojen kosketuksessa, särönkasvussa tai materiaalin deformatumisen yhteydessä. Impulssimaiset tapahtumat aiheuttavat purskemaista emissiota. Jatkuva akustiseksi emissioksi kutsutaan puolestaan esimerkiksi vuotojen synnyttämää emissiota. [12.]

Akustinen emissio käyttäytyy materiaalissa ultraäänen tapaan heijastuen, vaimentuen ja synnyttäen erilaisia aaltomuotoja. Akustisen emission erilaisia aaltomuotoja on neljä: pitkittäinen, poikittainen, Rayleighin ja Lambin aaltomuodot. [15.]

Akustisen emission käyttökelpoinen taajuusalue on 50 kHz - 1 MHz, mutta mittausalueena käytetään yleensä aluetta 100 kHz - 500 kHz. Tällöin alemmilla taajuuksilla olevan taustamelun ja ylemmillä taajuuksilla syntyvän vaimenemisen vaikutukset voidaan minimoida. [15.]

Akustisella emissiolla ei tutkita laakerivian aiheuttamaa laitteen geometrista käyttäytymistä vaan laakerin kitkatasoa, joten pyörimisnopeudella ei katsota olevan vaikutusta mittaukseen. Tämän vuoksi teollisuudessa akustisen emission käyttäminen hitaasti pyörivien laitteiden kunnonvalvonnassa on varteenotettava vaihtoehto. Erityisesti laakereiden voitelun toimivuutta, laakereiden vikaantumista ja laitteen kuormitusta tarkkaillaan akustisella emissiolla. [15.]

Tässä ja seuraavassa kappaleessa kerrottava tieto perustuu Holroyd Instruments Ltd:n valmistamaan MHC - Memo mittalaitteeseen. Akustisen emission mittaukseen käytettävä anturi muistuttaa normaalia pietsosähköistä kiihtyvyyssanturia, mutta tässä tapauksessa siitä puuttuu kiihtyvyyssanturissa käytettävä lisämassa. Anturin kiinnityksessä väliaineena käytetään rasvaa, jonka tehtävä on tasoittaa mitattavan pinnan karheutta jotta tämä ei vaikuttaisi emissiotasoihin. Rasvan on todettu antavan 30 % paremman kytkennän verrattuna ilman rasvaa tehdyn kytkennän. Anturilta tuleva signaali johdetaan koaksikaapelilla mittalaitteelle. [15.]



Akustisessa emissiossa siis kuunnellaan laitteen emittoimia eli lähettämiä ääniä yli 100 kHz taajuusalueella. Mittalaitteella mitataan desibeli- ja distressarvojen muutoksia. Desibelitaso mittaa keskiarvoa korkeataajuisesta signaalista. Desibeliarvo on riippuvainen laitteen koosta, pyörimisnopeudesta ja tyypistä, joten se on sen vuoksi vertailuarvo. Eli dB-arvoa tulee verrata aiemmin samalta koneelta samoissa olosuhteissa mitattuihin arvoihin tai identtisten koneiden mittausravoihin. Distressarvo mittaa yhteenvetoa kilahduksista, vingahduksista ja narskahduksista ja muista rasisusäänistä, joita pyörivä viallinen laite voi synnyttää. Koska arvo on hyvin herkkä, voidaan sen avulla kohteen yllirasitus havaita jo aikaisessa vaiheessa. Tämä mahdollistaa toimenpiteisiin ryhtymisen jo ennen kuin vikaantuminen tapahtuu. Distress-arvon avulla voidaan havaita esimerkiksi puutteellinen voitelu. [15.]

Akustisen emission etuja ja puutteita ovat:

#### Edut

- Akustinen emissio mittaa sisäistä kitkaa, ei geometrsta käyttäytymistä, jolloin pyörimistaajuudella ei katsota olevan merkitystä.
- korkeat taajuudet  $\Rightarrow$  mekaanisten häiriöiden minimoiminen
- helppo käyttää
- mittaa herkästi jopa voitelun puutteet  $\Rightarrow$  aikainen puuttuminen vikaantumisiin
- edullinen (kannettava)
- kuulokkeet lisäarvona mittaavat korkeita taajuuksia. [15.]

#### Puutteet

- korkeat taajuudet  $\Rightarrow$  signaali vaimenee nopeasti
- värähtelyt/emissiot saattavat vähentyä, kun vaurioiden reunat pyöristyvät
- vian analysoiminen eli kohdentaminen vaikeaa (kannettava)
- tehty ensisijaisesti paineastioiden säröjen valvomiseen
- kömpelö spektrin mittaus (kannettava)
- ei voida mitata laitteita joiden prosessissa tapahtuu hankaamista
- voi ottaa häiriöitä sähkömoottoreista
- ei välttämättä havaitse täysin rikkinäistä laakeria. [15.]

Holroydin mukaan akustisen emission etu on sen helppokäyttöisyys verrattuna värähtelymittaukseen. Värähtelymittauksen hyödyntäminen vaatii koneen toiminnan ymmärtämisen, sen rakenteen tuntemisen, laakeritiedot, kaikkien vikataajuuksien laskemisen ja koneen pyörimisnopeuden selvittämisen. Ilman näitä toimenpiteitä ei pystytä analysoimaan signaalista tarvittavaa tietoa. Tämän lisäksi täytyy vielä hallita eri signaalinkäsittelytavat. Akustisessa emissiossa verrataan vain ehjän ja mitattavan laitteen antamia signaaleja. Eli periaatteena on, että ehjä laite tuottaa vain vähän akustista emissiota yli 100 kHz:n taajuuksilla, mutta viallinen tuottaa niitä enemmän. Tämän perusteella voidaan päätellä onko laite vikaantunut. [16.]

Holroyd on myös kehittänyt kaksi vuotta uusia parametrejä desibeli- ja distressmittausten rinnalle. Niiden tarkoituksena on paremmin mitata erittäin alhaisen pyörimistaajuuden omaavien, jopa 0,25 1/min, laitteiden kuntoa. Moduuli on jo saatavilla kaupallisena versiona. [16.]

#### 7.4 Voitelujärjestelmän valvonta

Koska öljyä voidaan pitää yhtenä koneenosana tulee siitäkin saada entistä enemmän irti. Tämä edellyttää öljyn säännöllistä kunnontarkkailua ja huolto-toimenpiteitä. Öljyyn tulee laitteistosta kulumahiukkasia ja järjestelmästä tai sen ulkopuolelta vettä ja muita epäpuhtauksia. Öljyjen kunnonvalvonta on näiden ominaisuuksien seuranta ja siihen reagoimista. Seuranta tapahtuu tekemällä analyysejä online-laitteilla ja laboratoriotutkimuksien avulla. [17.]

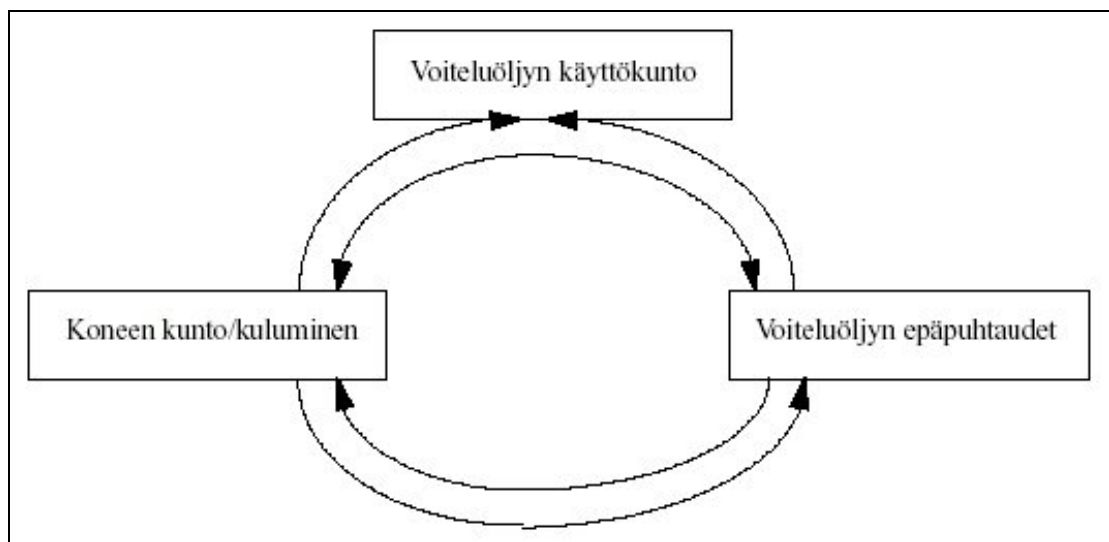
Erityyppisillä öljyanalyyseillä haetaan vastauksia muun muuassa seuraaviin kysymyksiin:

- Ovatko öljyn voiteluominaisuudet säilyneet riittävinä?
- Onko öljyn puhtaus sillä tasolla, jonka voideltava kohde tai järjestelmä ja itse öljy edellyttävät?
- Ovatko öljyn joukkoon kertyneiden kulumismetallien määrästä tunnistettavissa laitteen kulumismuutokset?

- Tarvitaanko analyysitulosten perusteella huoltotoimenpiteitä öljylle tai laitteelle?

Voiteluöljyn käyttökunto, koneen kunto ja öljyn epäpuhtaudet muodostavat ketjureaktion (kuva 8) vaikuttaen toisiinsa seuraavasti:

- Epäpuhtaudet lisäävät kulumista.
- Epäpuhtaudet huonontavat öljyn kuntoa.
- Öljyn huonontunut kunto heikentää voitelua.
- Laitteen kuluminen lisääntyy.
- Lisääntyvä kuluminen ja öljyn huonontuminen lisää epäpuhtauksia.



Kuva 8. Voiteluaineen kunnan ja koneen kunnan yhteys [17]

Öljystä tutkittavien ominaisuuksien analysointi jaotellaan seuraavasti: perusominaisuuksien-, partikkelien- ja kulumismetallienanalysointi [17]. Liitteessä D on esitetty erilaisia apulaitteita näytteenottoa varten.

Perusominaisuuksista analysoidaan:

- ulkonäkö
- viskositeetti
- happoluku (TAN)
- kiintoaine (paino-%).

Näiden perusteella jo usein pystytään päättelemään käyttökelpoisuus ja tarvittavien lisäanalyysien tarve. Öljyn ulkonäkö antaa viitteitä siitä, onko sen käytön aikana tapahtunut jotain epänormaalia. Ulkonäössä kiinnitetään huomiota öljyn väriin, sameuteen, kiinteiden epäpuhtauksien määrään ja partikkeleiden kokoon ja väriin [17]. Ulkonäön lisäksi esimerkiksi ”palaneen haju” kertoo öljyn olevan pilalla.

Öljyn viskositeetti on niitä perusominaisuuksia, jotka varmentavat öljyalaadun ja on öljyn käytettävyyden kannalta aina tutkittava. Hapettuminen ja runsaat epäpuhtaudet saattavat nostaa viskositeettia. Viskositeetin lasku voi johtua lisääneistetun öljyn polymeerin leikkautumisesta tai vieraasta öljystä tutkittavan öljyn seassa. [17.]

Kokonaishappoluku (TAN) riippuu sekä hydraulij- ja voiteluöljyjen komponentteina käytetyistä perusöljyistä että lisäaineistuksesta. Kun öljyn happoluku nousee yli kaksi- tai kolmekertaiseksi lähtöarvostaan, kannattaa selvittää tarkemmin nousun syy. [17.]

Kiintoainepitoisuus ilmoitetaan painoprosenttina (p-%), joka lasketaan suodattimeen jääneen kiintoaineen suhteesta sen läpäisseeseen öljymäärään. Tyypillisenä maksimiarvona vaihteisto- ja kiertovoiteluöljyille pidetään 0,1...0,3 painoprosenttia. Hydraulijärjestelmissä tyypilliset arvot ovat alle 0,05 p-%. [17.]

Näiden lisäksi mitattavia perusominaisuuksia ovat: öljyalaatu, vesipitoisuus (ppm. %), viskositeetti-indeksi, lisäaineet, vieraat ainesosat, hapettuminen ja vaahtoaminen [17].

Partikkelianalyysitavat:

- puhtausluokka
- partikkeleiden kokojakauma
- partikkeleiden laatu ja muoto.

Epäpuhtauspartikkelien alkuperää voidaan tutkia öljynäytteestä muodostetun mikroskooppinäytelevyn avulla. Yleensä partikkelien muoto, väri ja koko antavat

osviittaa niiden alkuperästä. Jos tietty partikkelityyppi lisääntyy näytteiden säännöllisen seurannan aikana, on tästä tehtävissä johtopäätöksiä myös kulumisvaurion voimakkuusasteesta. [17.]

Kulumismetallianalysointitavat:

- spektrometrinen analyysi
- ferrografia (magneettiset partikkelit).

Koneiden käynnistys-, käyttö- ja pysäytysvaiheissa, kuormitusvaihteluista sekä virheellisten käyttöjen yhteydessä syntyy rajavoitelutilanteita, joissa voitelukalvon kuormankantokyky saattaa pettää. Näissä tilanteissa toisiaan vasten liukuvat tai vierivät kone-elinten pinnat kulumat synnyttäen öljyn joukkoon kulumismetalleja. Lisäksi öljyn joukkoon saattaa päästä voitelukohteen ulkopuolelta mm. alkuainemetalleja, jotka ovat peräisin prosessin raaka-aineista tai tuotteista. Kulumismetallianalyysissä on hyödyllistä tietää, mitä metalleja järjestelmässä ja koneen osissa on käytetty. Kulumismetallien alkuperää ja kulumisen syitä selvitetessä myös voitelujärjestelmiin liittyvien suodattimien tutkiminen on käytetty keino. [17.]

Jotta voiteluaineen loppuminen tai sen parhaan mahdollisen toiminnan estyminen voidaan havaita mitataan seuraavia asioita:

- öljyn määrä säiliössä
- veden poisto säiliöstä
- laakerille tulevan öljyn paine
- laakerille tulevan öljyn lämpötila ja jäähdytyksen toiminta
- öljyn lämpötila laakerin jälkeen
- öljysuodattimien tukkeutuminen (paine-eromittaus)
- öljyjärjestelmän tiiviys (öljysäiliön alipainemittaus).

## 7.5 Lämpötilamittaus

Laakerin lämpötila on verrannollinen laakerin kuormitukseen. Kiinniotto ja hankaus voi aiheuttaa laakerin lämpenemisen tai jopa sulamisen. Laakerin sallittu lämpötila riippuu laakerimetallin koostumuksesta [12]. Koska lämpötilan perusteella saatava tieto kohteessa tapahtuvista muutoksista saadaan suhteellisen myöhään soveltuu se parhaiten jatkuvaan mittaukseen.

Lämpötilamittauksia, joilla voidaan mitata koneiden kuntoa ovat mm.

- sähkömoottorien lämpötila
- voiteluöljyjen lämpötila
- laakerien lämpötila.

Pintalämpötilamittauksessa voidaan käyttää termoelementtejä. Jos tarvitaan kosketuksetonta mittausta käytetään lämpösäteilyyn perustuvia laitteita. Näitä ovat säteilypyrometri, IR-mittari sekä lämpökamera. Näiden laitteiden toiminta perustuu mitattavan pinnan lähettämän säteilyn riippuvuudesta sen lämpötilaan. [14.]

Säteilylämpömittaus soveltuu vain sellaisten vikojen havaitsemiseen, jotka ilmenevät lämpötilan muutoksina kohteen ulkopinnalla. Lämpökameralla voidaan helposti mitata nopeasti laajoja pintoja. Muut mittausmenetelmät soveltuvat paremmin pienempien kohteiden tarkkailuun. [14.]

## 7.6 Virtamittaus

Moottoreiden kuntoa valvotaan sekä mekaanisesti, että sähköisesti. Mekaanisia mittauksia on lähinnä moottorin laakereista, akselista ja käämityksistä tehtävät värähtelymittaukset. Sähköisiä mittauksia edustavat akselijännitteen, laakerivirtojen, vaihevirtojen ja osittaispurkausten mittaus [18]. Pelkästään virran tehollisarvoilla pystytään arvioimaan koneen käytössä tapahtuneita muutoksia. Nimellisarvoa suurempi virta tai virran suuruuden muutos kertoo jotain tapahtuneen koneen toiminnassa [19].

Staattorivirran mittaus on yksinkertainen tapa tutkia moottorin tilaa. Mitatusta moottorin ottamasta virrasta muodostetaan spektri, jonka avulla saadaan selville muun muassa viallinen roottorisauva. Katkennut roottorisauva aiheuttaa helposti havaittavia sivukeiloja verkkotaajuuden ympäristöön [18]. Myös roottorin epäkeskeisyys ja pitkälle edenneet laakerivauriot näkyvät spektrissä. Käytännön kunnonvalvonnassa staattorivirran spektrianalyysin avulla ilmaistaan lähinnä roottorisauvarikkoja sekä mekaanisia epäsymmetrioita [19].

Tehokas tapa etsiä staattorikäänitykseen liittyviä vikoja on osittaispurkaustestit. Näitä vikoja on käänitysten huono kyllästys valmistusvaiheessa, eristeen puoli-johtavan kerroksen huononeminen, löysät urat, kierrosoikosulut ja likaantuneet käänit. Kaikki nämä mekanismit ovat heikentämässä käänityksiä moottoreissa ja generaattoreissa, joiden käänin yli vaikuttava jännite on 4 kV tai enemmän. [18.]

Osittaispurkausmittauksia käytön aikana suoritetaan yleensä kahdella tavalla, staattorin vaihejohtimiin kytkettävillä kapasitiivisilla antureilla tai staattoriuriin sijoitettavilla mitta-antureilla. Ympäristöstä tulevien häiriöiden taso saattaa olla jopa 1000-kertainen verrattuna mitattavaan signaaliin, joten häiriöiden poistoon tai niiden estämiseen on kiinnitettävä huomiota. Ulkoisia häiriölähteitä ovat mm. lähitöillä suoritettavat kytkinlaitteiden käyttötoimenpiteet sekä liukurenkaiden ja akselien maadoitusharjojen kipinöinti. [18.]

Kiertäviä laakerivirtoja syntyy, kun kone on magneettisesti epätasapainossa. Sen yhtenä aiheuttajana on magnetointikäänitysten kierrossulut. Kiertäviä laakerivirtoja voidaan mitata maadoittamalla moottorin akseli molemmista päistään moottorin runkoon esim. hiiliharjoilla ja mittaamalla piirissä kiertävä virta jollain suuren taajuuskaistan omaavalla mitta-anturilla. [18.]

## 8 TYÖSSÄ KÄYTETYT MENETELMÄT

Tämä insinööriö oli luonteeltaan selvitystyö. Aiheeseen tutustuminen kirjallisuuden, alan julkaisujen ja internetin välityksellä oli olennaista, jotta selvitys pääsisi alkuun. Oikeiden kunnonvalvontamenetelmien löytäminen vaatii laitteiden toiminnan ja rakenteen tuntemista. Leuka- ja kartiomurskaimeen löytyi valmistajan laatima käyttöohjekirja ja piirustuksia. Kuulamyllyihin näitä ei löytynyt, mutta myllyn yksinkertaisen toiminnan ja rakenteen ymmärtäminen ei ollut vaikeaa.

Vikahistoriaan tutustumisen kautta laitteeseen tulleisiin vikoihin voi perehtyä ja tämän perusteella voi miettiä, minkä vikojen kehittymistä kunnonvalvonnassa pitäisi tarkkailla. Vikahistoriasta on kerrottu enemmän tämän työn kappaleessa 10. Haastattelemalla kunnossapitohenkilöitä, saatiin yksityiskohtaisempaa tietoa vioista ja niiden korjaamisesta. Myös parannusehdotuksia joihinkin kohteisiin liittyen sai parhaiten laitteiden kanssa työskentelevien henkilöiden puolelta. Myös värähtelymittausta työkseen tehneen opettajan haastatteluissa sai apua vaikeiden kohteiden mittauspisteiden valinnassa.

Yhteydenotot kunnonvalvontaa tarjoaviin yrityksiin auttoivat itse online-kunnonvalvonta järjestelmää koskeviin ongelmiin. Yritysten tekemät tarjoukset antoivatkin opinnäytetyön otsikon vaatimaa sisältöä.

Vika-vaikutusanalyysin avulla (Liite E) laitteen toiminnan ja rakenteen perusteella voi tarkastella laitteeseen tulevien vikojen vaikutuksia. Jos vialla voidaan olettaa olevan vakavia vaikutuksia laitteen toimintaan, tulee vian kehittymistä seurata, joko säännöllisin väliajoin tehtävin mittauksin tai jatkuvalla mittauksella.

Koska omia mittauksia ei tässä työssä ollut, täytyi etsiä kirjallisuudesta ja internetistä muiden tekemiä mittauksia. Mittaustulosten pohjalta pystyi vertailemaan eri menetelmien soveltuvuutta ja perustelemaan, miksi tiettyihin johtopäätöksiin oltiin päädytty. VTT:n tekemistä kokeista olikin suurta hyötyä, koska niissä juuri vertailtiin eri mittausten menetelmien eroja ja niiden kautta saatavia tuloksia.



## 9 TYÖN KULKU

Kun aihe oli selvillä aloitettiin opinnäytteen tekeminen. Työn luonteen vuoksi se alkoi kirjallisuuden ja lähdetietojen keräämisellä. Erilaisten kunnonvalvontamenetelmien periaatteet oli ymmärrettävä ennen kuin niitä sovelsi käytäntöön. Laitteet, joille online-kunnonvalvontaa oltiin harkittu, oli valittu valmiiksi niiden kriittisyyden takia, joten tähän työhön ei kuulunut niiden kartoittaminen.

Kun kunnonvalvonnasta oli koossa aineistoa, alkoi rikastusprosessin opetteleminen. Koska edellisenä kesänä olin töissä samalla tehtaalla, jolle opinnäytetyötä oltiin tekemässä, oli rikastamisesta jo valmiiksi tietoa. Kun prosessi oli kokonaisuudessaan läpikäyty alkoi osaprosessien lähempi tarkastelu. Osaprosesseja ovat esimerkiksi murskaus, jauhatus, vaahdotus ja kuivatus. Aluksi opinnäytetyöhön kuului toistakymmentä laitetta eripuolelta rikastamoita, kaikkien laitteiden ollessa luokitukseltaan kriittisiä. Aihe rajattiin myöhemmin koskemaan prosessin alkupään suuria koneita, jottei työ paisuisi liian laajaksi. Vaikka tietoa jouduttiinkin alussa hankkimaan lopullisen aiheen ulkopuolelta, se ei vaikuttanut kuitenkaan hidastavasti työn tekoon. Päinvastoin tekijällä on nyt parempi kuva rikastamisesta ja siihen kuuluvista laitteista sekä niiden vaikutuksesta prosessiin.

Konetietojen ja vikahistorian hankkimisen jälkeen alkoi todennäköisten vikojen selvittäminen. Tällä tavalla oikean kunnonvalvontamenetelmän valinta selkeytyy. Henkilöillä, jotka ovat tekemisissä laitteiden kanssa eli kunnossapito- ja käyttöhenkilöstö, on kokemuksia ja mielipiteitä laitteista, joten heidän haastattelujen kautta saadaan tietoa, jota ei ole missään kirjoitettuna. Kierros koko prosessin läpi kunnossapitohenkilöstöön kuuluvan henkilön kanssa, selkeytti sekä prosessin että laitteiden toiminnan ymmärtämistä. Samalla saatiin lisätietoa laitteisiin tulleista viroista ja niiden korjauksista. Yllättävää oli se, miten hyvä kuva rikastusprosessista kunnossapidon henkilöllä oli. Kokemuksen tuomaa tietoa ei voi vähätellä. Rikastamon mestarin ja käyttöhenkilöstön haastatteluilla saatiin myös olennaista tietoa aiheeseen liittyen. Vikavaikutus-analyysin avulla pystyi hahmottamaan viasta johtuvia seuraamuksia. Samaa periaatetta käytetään luotettavuuskeskeisessä kunnossapidossa (RCM). Siinä kootaan asiantuntijaryhmä, joka analysoi kohteen

toimintaa ja rakennetta kokemusten kautta ja tätä kautta miettii miten viat voidaan ehkäistä.

Kun laitteiden todennäköiset ja vakavat viat olivat selvillä, piti selvittää, millä menetelmällä ne on parhaiten havaittavissa. Tässäkin oli apuna kokemus, jota oli henkilöillä, jotka ovat mitanneet kannettavalla mittalaitteella värähtelyarvoja erilaisista kohteista. Myös muualla tehdystä mittauksista, joita löytyi kirjallisuudesta, oli apua.

Lopuksi pyydettiin tarjoukset Metso Oyj:ltä sekä Oy SKF Ab:ltä online-kunnonvalvontajärjestelmästä rikastamolle. Tarjouksien sisällöt on esitetty työn loppuosassa.

## 10 VIKAHISTORIA JA VIKA-VAIKUTUSANALYYSI

Arvioitaessa laitteeseen syntyviä todennäköisiä vikoja auttaa vikahistoriaan perehtyminen kohdentamaan kunnonvalvontaa juuri niihin vikoihin. Tässä kappalessa on kerrottu huomioista, joita on tehty vikahistoriaa luettaessa. Sen lisäksi on annettu ohjeita, mitä historian tulee sisältää ja miten se täytetään järkevästi. Vikahistoria on laitteeseen tulleiden vikojen tiedosto. Hyvästä vikahistoriasta selviää seuraavat seikat:

- vikaantuneen laitteen tai sen osan nimi
- vian syy
- vikaantumisen ajankohta
- korjaustoimenpide ja sen kesto
- toimenpiteen suorittaja
- onko viasta aiheutunut seisakkia ja seisakin kesto.

Vikahistorian pitää olla niin tarkasti ja huolellisesti kirjattu, että sen avulla voidaan selvittää viat, joista on tullut kustannus- ja tuotantotappiota. Vikojen säännöllisyys tai niiden lisääntyminen näkyy myös hyvin laaditusta vikahistoriasta. Koska viat voivat aiheuttaa turvallisuusriskin niin ympäristön kuin henkilöiden kannalta, pitää vikahistorian olla laadittu järkevästi ja selkeästi.

Työssä tarkoituksena oli selvittää laitteiden yleisimmät ja todennäköisimmät vikaantumiset. Pelkästään laitteen rakenteen tai toiminnan tunteminen ei riitä, jotta vikaantumismekanismit voidaan ymmärtää. Tässä tapauksessa on hyvä käyttää vikahistoriaa apuna.

ABB:n käyttämässä laitehistoriaraportissa ilmoitetaan vikaantunut laite ja vian ajankohta, toimenpide ja kesto sekä työlaji ja raportoiija. Raportin rakenne on selkeä ja ytimekäs, mutta raportista saatava tieto ei ole aina sitä. Heti on huomattavissa, että yhteisiä pelisääntöjä raportoinnin suhteen ei ole raportoijien eli toimenpiteen suorittajilla. Toimenpideosassa saattaa välillä lukea vika, toimenpide tai pelkkä laitteen nimi. Joissain kohdissa saattaa olla pitkäkin selvitys viasta ja

sen korjaamisesta, kun taas toisaalla saattaa lukea vain vaihdetut osat. Myös laitteiden ja niiden osien nimien suhteen on suurta epätietoisuutta. Sen takia on vaikeaa saada selvää, mitä laitteen osaa toimenpide tai vika on koskettanut. Esimerkiksi leukamurskaimella olevien laitteiden joukosta löytyy tukkohälytin, aukkohälytin ja syöttöaukon tukkohälytin.

Tässä olisikin parantamisen varaa, jotta vikahistorian kirjaamisesta saataisiin se hyöty, jota sillä haetaan. Vikahistorian perusteella pitää pystyä seuraamaan laitteen kunnon kehitystä ja samalla siirtämään tietoa muillekin laitteen kanssa työskenteleville. Tämä ei tarkoita kunnonvalvontaa suoraan, mutta saman vian ja laitteen esiintyminen vikahistoriassa yhä tiheämmin on hyvä indikaattori laitteen kunnon muutoksesta. Jotta ei toistettaisi samaa virhettä joka kerta, voidaan vikahistorian perusteella päätellä, ovatko toimenpiteet olleet oikeita edellisillä kerroilla.

Kaikkien kunnossapito- ja käyttöhenkilöiden kesken sovittaisiin yhteinen kieli, jolla saataisiin väärinkäsitysten ja inhimillisten erehdysten todennäköisyys myös pieneneään. Sovittaisiin yhteinen tapa, miten raportti täytetään, jotta siitä saatava hyöty voidaan maksimoida.

Yksi raportointitapa olisi merkitä ensin vika tai oire isoilla kirjaimilla ja toimenpiteet ja tarvittavat osat pienillä kirjaimilla edellisten alapuolelle. Ranskalaiset viivat olisivat myös selkeä vaihtoehto toimenpidekohtaan. Myös viasta aiheutuneen seisakin kesto olisi tärkeää merkitä arvioitaessa viasta aiheutuneita kustannuksia.

Tämän työn yhtenä tuloksena voidaan pitää, että vuodenvaihteeseen mennessä ABB:n kunnossapitohenkilöstölle järjestettiin vikahistorian kirjoituskurssi. Vikahistorian huono luettavuus selvisi kunnossapidon esimiehille, kun tähän työhön haettiin tietoa sen avulla. Tosin oli huomattavissa, että vuosien mittaan raportointi oli parantunut joka vuosi. Oikeastaan yhteiset nimitykset laitteille olivat vielä monenkirjavia. Kaikille laitteille on järjestelmään merkitty tietty nimi, joksi sitä nimitetään. Kuitenkin vuosien saatossa niille on syntynyt monia eri kutsumanimiä, jonka takia oli vaikeaa hahmottaa, mitä kohdetta toimenpide koski.

Pyrittäessä ehdottomaan luotettavuuteen joudutaan usein tilanteeseen, jota tavallisin kunnossapidon keinoin ei pystytä hallitsemaan. Yhtenä osana luotettavuuden hallintaa on erilaiset analysointitekniikat, kuten: vikapuuanalyysi, tapahtumapuu-analyysi ja vika-vaikutusanalyysi. Rajoituksista huolimatta riskien analysointi on ottanut paikkansa kunnossapidossa. Analysointi on erinomainen työkalu nostettaessa kalliiden tuotantokoneiden luotettavuus mahdollisimman korkealle tasolle. Sitä tarvitaan niin koneiden suunnittelussa, rakentamisessa, käyttämisessä kuin kunnossapidossakin. Yhdessä perusanalyysien ja historiatietojen käytön kanssa analyysien avulla pystytään kartoittamaan kunnossapidollisia ja tuotannollisia häiriötekijöitä, jotka perinteisin keinoin löydettäisiin vasta laitteiden rikkoonnuttua. [7.]

Työhön liittyviin laitteille hahmoteltiin vika-vaikutusanalyysit niiden rakenteen ja toiminnan perusteella. Niiden tarkoituksena oli auttaa selvittämään laitteille muodostuvia todennäköisiä vikoja. Esimerkiksi leukamurskaimella sen työnninlaatan ja vastimien vikaantuminen aiheuttaa koneen pysäyttämisen, joten jos valvontamenetelmä on oikein valittu, sen avulla voidaan edellä mainittu vikaantuminen ennakoita. Murskaimen laakerit ovat valvontakohteena ensimmäisenä, mutta analyysin ja vikahistorian perusteella työnninlaatan ja vastimien kulumisen aiheuttavat korjaustoimenpiteitä turhaan, jos niiden annetaan kulua liikaa. Laitteille tehdyt vika-vaikutusanalyysit löytyvät liitteestä E.

## 11 LAITTEILLE SOPIVAT KUNNONVALVONTAMENETELMÄT

Tässä kappaleessa on esitetty juuri Lahnaslammen rikastamon laitteille sopivia kunnonvalvontamenetelmiä. Yhteistä niille on soveltuvuus jatkuvaan mittaukseen. Alussa jokaisesta kerrotaan perustiedot, jonka jälkeen esitellään sopivia menetelmiä. Tekniset tiedot perustuvat käyttöohjeiden tietoihin, jotka ovat vanhoja, joten osa tiedoista on muuttunut vuosien ja käytön aikana. Toiminta periaate ja rakenne on pysynyt kuitenkin samana, jolloin vanhentuneetkaan tiedot eivät ole harhaanjohtavia.

### 11.1 Leukamurskain

Leukamurskaimen on valmistanut Murskauskone Ky ja tyypiltään se on L 125 - 100/200. Kita-aukon leveys on 1250 mm ja syvyys 1000 mm tai 100 mm:n välilevyllä 900 mm. Murskaimen asetus on maksimissaan 360 mm ja 100 mm:n välilevyllä 250 mm. Minimi asetus on 200 mm ja välilevyn kanssa 125 mm. Vuolukiven murskauksessa minimi vällys on n. 90...100 mm [20]. Tuotanto tunnissa on asetuksesta riippuen 130 - 325 m<sup>3</sup> [4].

Murskainta pyöritetään kiilahihnojen välityksellä vauhtipyörän toimiessa hihnapyöränä. Vauhtipyörät myös tasoittavat koneen käyntiä. Murskaimen kierrosluku on 200 1/min. Heiluriakseli muuttaa pyörimisliikkeen epäkeskeiseksi, jolla saadaan aikaan liikkuvan leuan edestakainen liike. Liikkuvaa leukaa kutsutaan heiluriksi sen liikkeen takia. Itse heiluri on koottu hitsaamalla teräslevyistä ja sen päälle kiinnitetään kulutuslevyt pulteilla. Laakereita on yhteensä neljä kappaletta ja ne ovat yksirivisiä rullalaakereita: kaksi heilurin laakeria ja kaksi runkolaakeria. [20.]

Jotta murskaus olisi mahdollisimman tehokasta, tulisi syötön olla mahdollisimman tasaista. Koska louhittu kivi tuodaan murskaimelle kippiautolla epäsäännöllisin väliajoin, ei syöttö ole tasaista. Murskainta ennen olevan tärysytäjän kierroksia säädetään murskaimen alla olevan alushihnaa pyörittävän moottorin virranoton perusteella [21]. Kun alushihnan virranotto pienenee eli kiviä on vähän hihnalla, nousee tärysytäjän kierrokset aina maksimiin asti. Kun uusi kuorma kipataan tärysytäjälle, sen kierrokset ovat suuret ja murskaimelle tulee äkillisesti paljon

murskattavaa. Tämä aiheuttaa murskaimelle hetkellisen kuormitushuipun, joka saattaa aiheuttaa tukoksen. Tämä rasittaa rakenteita, löysää liitoksia ja aiheuttaa vieläpä turhaa työtä, jos tukos pitää avata iskuvasaralla.

Murskaimen ainoat voideltavat kohteet ovat runko- ja heilurinlaakerit, ja ne voidellaan rasvanippojen kautta. Työnninlaatta on keinutuolityyppiä, jolloin se ei tarvitse voitelua. Työnninlaatta toimii murtolevynä; murskautumattoman kappaleen joutuessa leukojen väliin, työnninlaatta antaa periksi suojaten koneen muita osia vaurioitumiselta. Asetuksen säätö tehdään lisäämällä tai vähentämällä säätölevyjä, joiden paksuus on 10 mm - 50 mm, työnninlaatan taakse. Säätölevyjen avulla kompensoidaan myös leukalevyjen, työnninlaatan ja sen vastimien kulumista. Työnninlaatta on vastimien kautta tuettu runkoon ja heiluriin, jolloin vastimien ja työnninlaatan välissä ei saa olla välystä. Liike saa tapahtua vain vierimällä eikä liukumalla, jolloin kulumisen kasvaa. Kun vastimien tai työnninlaatan pinta on kulunut tarpeeksi, vaihdetaan molemmat. Asennuksen jälkeen ei saa kuulua kolkattavaa ääntä, joka syntyy välyksestä vastimien ja työnninlaatan välissä. Tämä voi johtua palautusjousen mutterien löysyydestä. Syntyvien iskujen lisäksi kulumista lisää kivijauheen pääsy pintojen väliin aukeavasta välyksestä. [20.]

Laakereiden kuntoa voitaisiin mitata värähtelymittauksilla tai akustisen emission avulla. Niitä molempia testaankin Vuonoksen tehtaan murskaimella. Koska murskaimen laakerit ovat vierintälaakerit, niiden toiminnassa syntyy vikataajuuksia, joita voidaan valvoa värähtelymittausten avulla. Laakereiden kunnan mittausta on tärkeää, koska niiden rikkoutuminen aiheuttaa todella korkeat kustannukset. Epäkeskoakseli voi vioittua, jos laakerit rikkoontuvat tarpeeksi pahasti. Akselin koneistaminen on erittäin vaikeaa ja kallista, joten sen vioittuminen tulee estää.

Värähtelymittauksilla saadaan myös lisätietoa koneen muiden osien kunnosta. Vialliset tai löysät kiilahihnat sekä vauhtipyöriin epätasaisesti tarttunut pöly näkyy kiilahihnapyörän puoleisen runkolaakerin värähtelyissä. Kuluneet työnninlevyn vastimet aiheuttavat ”kolkutusta”, joka ilmenee värähtelyissä pyörimistaajuuksilla. Jottei vastimien kulumisen niiden alustaa myöten ehdi tapahtumaan, täytyy vika huomata tarpeeksi ajoissa. Myös jousien löysyys näkyy värähtelyissä, jolloin edellä mainittu vikaantuminen ei pääse syntymään. Löysässä olevat leukalevyt aiheuttavat voimakasta kulumista itse leukoihin, jolloin saattaa pahimmassa tapa-

uksessa leuat kulua siihen kuntoon, että leukalevyjä ei saada asettumaan paikoilleen ollenkaan.

Valmistaja on suositellut myös käyttöohjekirjassa laakereiden lämpötilan seuraamista. Lämpötilaa seurataankin Pt - 100 antureiden avulla. Lämpötilassa näky nousua rasvaa lisättäessä laakereihin, mutta tasot laskevat takaisin normaaliin, jos laakerit ovat kunnossa. Koska murskain sijaitsee kylmässä tilassa, ulkoilman lämpötila vaikuttaa voimakkaasti. Jotta laakereiden voiteluaine voi toimia kunnolla, pitää lämpötilan olla oikealla alueella (ei liian kylmää eikä liian kuumaa). Kovalla pakkasella on jouduttu murskaimen laakereita lämmittämään, koska pakkanen on saanut rasvan jähmettymään. Jotta murskausta ei aloiteta liian aikaisin, jolloin voiteluaine ei ole saavuttanut oikeaa lämpötilaa, pitää murskain lämmittää ajamalla sitä tyhjäkäynnillä. Oikea lämpötila tiedetään lämpötilamittauksen perusteella, jolloin murskain on valmis murskausta varten. Voiteluaineen oikea lämpötila säästää laakereita.

## 11.2 Kartiomurskain

Murskaimen valmistaja on ruotsalainen Morgårdshammar. Tyyppi on Symons ja se on tehty Nordberg Manufacturingin lisenssillä. Malli on Standard 4 ¼' ja sen nettopaino on 22000 kg. Murskaimen kierrosluku on 255 1/min. Koska murskaimen toimintatavan vuoksi koko laite pyrkii liikkumaan painopisteensä ympäri, se on kiinnitetty joustavasti perustukseen. Murskaimen iskun pituus murskaustilan alaosassa on 70 millimetriä. Asetusta säädetään kiertämällä maljaa ylös- tai alaspäin murskauskartiota kohti. [22.]

Murskainta käytetään kiilahihnojen välityksellä 110 kW:n moottorilla. Koska murskain liikkuu moottoriin nähden, hihnakäyttö on yksinkertaisin tapa voimansiirron kannalta. Hihnapyörältä voima välitetään rullalaakeroidun käyttöakselin ja kartiohammaspyörien sekä lieriöhammasrataan välityksellä murskainakselille. Kartiohammaspyöristä toinen on pehmeää valua, jonka tarkoitus on ilmeisesti toimia suojana laitteen vakavammalta vaurioitumiselta, jos jossain tilanteessa murskain menee jumiin. Tästä ei ohjekirjassa ollut mainintaa, mutta asia kävi ilmi juttellessa kunnossapitohenkilöiden kanssa [23]. Pehmeämpi hammaspyörä siis vaurioituu ja



ottaa vastaan rasitusvoimat. Tätä voisi verrata leukamurskaimessa olevaan työnнинlevyyn, joka myös antaa periksi liian suuren voiman kohdistuessa leukoihin.

Murskausakseli on tuettu alapäästä kannatuslaakerilla ja murskauskartion kohdalta pallomaisella laakerilla. Akseli on siis vapaa yläpäästään, jossa sijaitsee syöttölevy, jonka tarkoitus on tasoittaa malmin syöttö murskaimeen. Tämä parantaa murskauskapasiteettia, vähentää epätasaista kulumista ja jousien turhaa liikkettä. Jouset saavat liikkua eli joustaa vain, jos murskaimeen tulee kappale, jota se ei voi murskata tai murskaimen mennessä tukkoon. Pallomainen laakeri ja kannatuslaakeri ovat liukulaakereita. Kannatuslaakeri koostuu neljästä levystä: alimmaisena on liikkumaton pronssinen levy, sen päällä vapaasti pyörivä teräksinen levy, edellisen päällä vapaasti pyörivä pronssinen levy ja päällimmäisenä on epäkeskon kanssa pyörivä teräksinen levy. Viimeksi mainitussa levyssä on veto-tappi, joka tarttuu epäkeskossa olevaan vastaavaan koloon. Pallolaakeri pallomaisine laakerimaljoineen kantaa kokonaan murskauksessa syntyvän murskauspaineen. Tiivistiminä on tiivistysrengas ja huopatiiviste. Pallolaakeri on varustettu tiivisteilma-puhalluksella. Ilma johdetaan tiivistysrenkaan ulomman ja sisemmän tiivistyspinnan väliin estämään öljyn ulospääsy sisemmän ja pölyn sisäänpääsy ulomman tiivistyspinnan ohi. [22.]

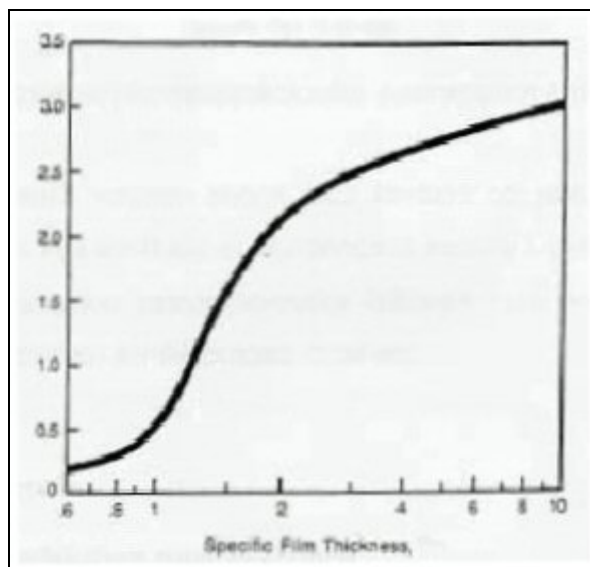
Kerran vuodessa murskainakseli, pallolaakeri, käyttöakseli ja hammaspyörät irrotetaan ja viedään huollettavaksi. Vuoden aikana huolletut varakappaleet asennetaan vuorostaan paikoilleen [21]. Tällä tavalla osat saadaan pysymään hyvässä kunnossa, eikä vuoden normaalilla käytöllä pitäisi päästä syntymään vaurioita, joista olisi haittaa tuotannolle. Toimenpiteet suoritetaan vuosittaisen seisakin aikana.

Tiivisteilmapuhallus on äärimmäisen tärkeä kartiomurskaimen pysäyttämättömälle toiminnalle. Ilman sitä pallolaakeri ei kestä pitkään vaurioitumatta. Puhallin sijaitsee seinän takana omassa tilassaan ja ilma johdetaan letkun välityksellä tiivisteelle. Jotta pöly ei pääsisi tunkeutumaan laakeriin, pelkkä tieto puhaltimen pyörimisestä ei riitä, vaan mahdollisimman lähelle murskainta putkeen pitäisi sijoittaa paineanturi. Tällä tavalla putkeen tullut vuoto ei estä tiiviste puhallusta. Vuoto huomataan ennen kuin laakeri pääsee vaurioitumaan, joten murskaus keskeytetään ja vuoto korjataan.

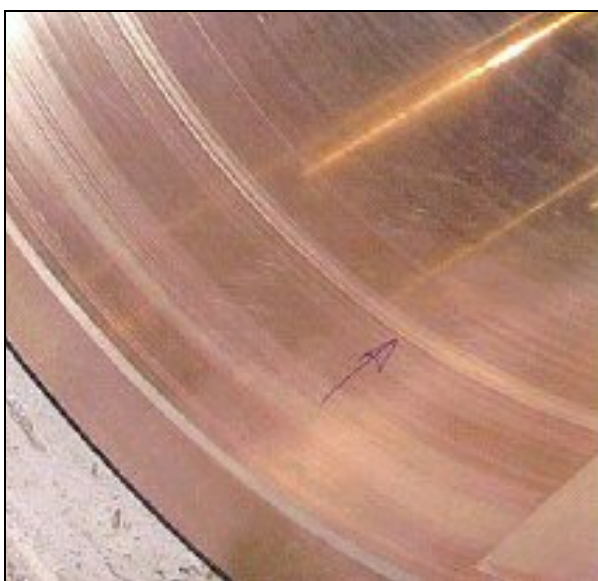
Käyttöakselin rullalaakerit voidellaan vaippaputkessa olevien nippojen kautta [22]. Murskaimen muu voitelu tapahtuu kiertovoitelulla. Öljyn avulla suoritettava kunnonvalvonta olisi sopiva kunnonvalvontavaihtoehto kartiomurskaimelle. Selvittämällä eri osien materiaalit voidaan kulumismetallianalyysillä selvittää, mistä kohtaa kulumista on syntynyt eniten. Koska murskaimessa on käytetty eri materiaaleja kuten hammasrattaassa valua, kannatinlaakerissa pronssia ja muualla terästä voidaan ainakin näiden osien kuluminen selvittää tehokkaasti. Kunnossapitoon kuuluvan henkilön mukaan öljy likaantuu melko nopeasti, joka saattaisi indikoida turhan aikaisin öljyn olevan käyttökelpotonta. Tämä ei ole kuitenkaan ongelma: jos analyysia käytettäisiin automaattisessa järjestelmässä, joka tietyn rajan ylittyessä antaa hälytyksen tai jopa pysäyttää murskaimen, hälytys- ja pysäytysrajat laitettaisiin niin korkeiksi, että pöly tai muu epäpuhtaus ei sotkeennu laitteen kulumiseen. Pelkästään kulumismetallien määrää voiteluaineessa tarkkailtaisiin jatkuvalla mittauksella ja voiteluaineen ominaisuudet mitattaisiin näytteistä.

Koska murskauskartio lepää kannatin- ja pallolaakerin varassa, ne ottavat vastaan murskauksessa syntyviä voimia. Siksi niiden kunnonvalvonta olisi tärkeää. Pallolaakerin valvonta on kuitenkin melko vaikea toteuttaa. Jos tarkoituksena olisi valvoa laakeria esimerkiksi värähtelyanturilla, sen asentaminen mahdollisimman lähelle laakeria tuottaa vaikeuksia. Pallolaakerilla ei ole niin sanottua laakeripesää, johon anturit yleensä asennetaan. Koska kyseessä on liukulaakeri, sen toiminnassa ei synny vikataajuuksia, joita värähtelymittauksilla valvotaan. Kirjallisuudessaakin liukulaakereiden mittaukset koskevat radiaaliliukulaakereiden valvontaa, mutta tässä tapauksessa kyseessä on eräänlainen aksiaaliliukulaakeri. Näin ollen värähtelymittaukset eivät sovellu mittaamenetelmäksi. Myös kannatinlaakeri on aksiaaliliukulaakeri. Koska se sijaitsee murskaimen rungon alaosassa, mittaasanturin sijoitus järkevään paikkaan saattaa olla mahdollinen. Kunnonvalvonnan pitäisi siis mitata voitelukalvon käyttäytymistä liukulaakerissa, joten akustinen emissio voisi olla käyttökelpoinen menetelmä. Akustisen emission avulla voidaan mitata muun muassa voitelun onnistumista. Esimerkiksi voitelukalvon paksuus ja pyörteily saadaan mitattua sen avulla. Kuvassa 9 näkyy voiteluainekalvon paksuuden vaikutus laakerin keston. Kuvasta ei näy tarkat arvot, mutta periaate selviää siitä. Tarkkoja arvoja ei voida antaa vaan ne ovat tapauskohtaisia.

Kuvassa pystyakselilla on laakerin kestoikä ja vaaka-akselilla kalvon paksuus. Kuvassa 10 näkyy vaurio, joka syntyy kun kalvo peltää liukulaakerissa. Öljynpaine vaikuttaa myös voitelukalvon paksuuteen ja yleensäkin voitelun onnistumiseen, joten se on ratkaiseva tekijä laakerin eliniän suhteen. Murskaimen voiteluyksikössä on painemittari jo valmiina, joten sen tieto voidaan viedä prosessiohjausyksikölle, jonka kautta painetta voidaan valvoa. Akselin aseman mittaaminen on yksi tapa valvoa liukulaakerin toimintaa. Laakerin rakenteen vuoksi antureiden sijoitus on kuitenkin lähes mahdoton tehtävä.



Kuva 9. Voiteluainekalvon paksuuden vaikutus laakerin keston [24]



Kuva 10. Liukulaakerivaurio [24]

### 11.3 Kuulamylyt

Kuulamylyt on valmistanut Karhula Oy. Kuulamylyjä pyöritetään sähkömoottoreilla hammasvaihteistojen välityksellä. Kuulamyly 2:n ja välijauhatusmyllyn moottorit ovat teholtaan 625 kW ja ilman taajuusmuuttajaohjausta. Kuulamyly 1:n moottori on teholtaan 1000 kW ja sitä ohjataan taajuusmuuttajalla.

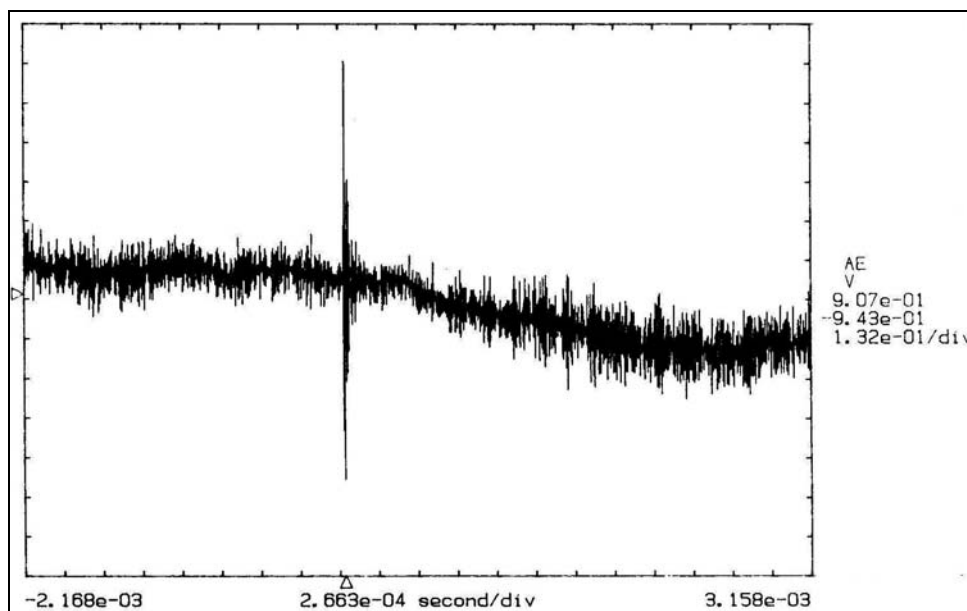
Kuulamylyt ovat rakenteensa vuoksi yksinkertaisia kunnonvalvontaa ajatellen, mutta hankalia sen suhteen, että ne ovat hidaskäyntisiä. Kuulamyly 1:n ja kuulamyly 2:n kierrosnopeus on noin 13 - 14 1/min ja välijauhatusmyllyn kierrosnopeus on hieman tätä suurempi. Kuulamyly pyörii kahden kannatinlaakerin varassa ja voima välitetään vaihteistolta myllyyn hammaskehän välityksellä. Myllyn kuluvia osia ovat laakerit, hammaskehä, kumivuoraukset, palautuskierukka, syöttö- ja tuotesuppilot sekä poksitiiviste.

Itse myllyn kunnonvalvonta kannattaa kuluvien osien suhteen vain kannatinlaakereille. Mitattaessa laakerien kautta saadaan selville myös hammaskehän kuluneisuus. Myllyn pyörityskoneiston eli moottorin ja vaihteiston valvonta tulee tässä tapauksessa yhtä tärkeäksi.

Kannatinlaakerit ovat kuulamylyillä 1 ja 2 mallia SKF 239/850, joten kyseessä on todella suuret laakerit (laakerin sisähalkaisija on 850 mm). Laakerit maksavat todella paljon ja ne saattavat kestää jopa 30 vuotta ilman vaurioitumista, joten niille ei kannata pitää varakappaleita varastossa. Laakereiden käyttöikä voidaan nostaa kääntämällä ulkokehää tietyn väliajoin, jolloin ulkokehän kuormitusalueelle saadaan pintaa vähän kuormitetulta alueelta. Lahnaslammella kannatinlaakereiden kehiä käännetään noin 10 vuoden välein. Kuulamyly 2:sen laakerit ovatkin kestäneet jo yli kolmekymmentä vuotta ja kuulamyly 1:sen laakerit on vaihdettu viimeksi 1983.

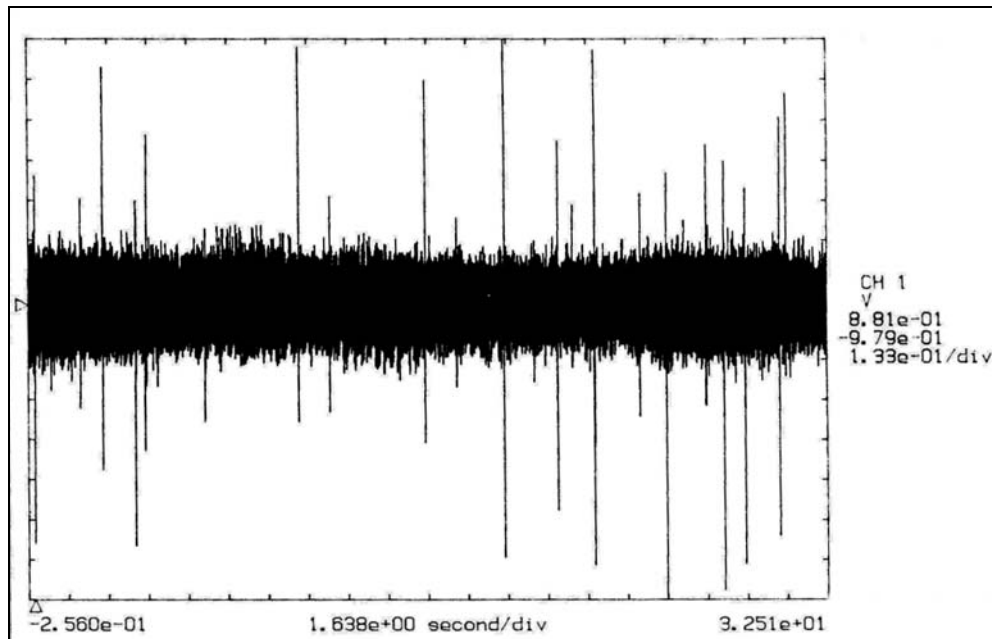
Selluloosatehtailla on käytössä sellupesureita. Sellupesuri muistuttaa rakenteeltaan kuulamylyä ja sen pyörimisnopeus on todella alhainen. VTT on tutkinut niiden kunnonvalvontaa ja tutkimuksista saa hyvän vertailupohjan kuulamylyjen kunnonvalvonnasta. Tutkimuksessa olleen sellupesurin rummun mitat ovat:

halkaisija 4 metriä ja pituus 9 metriä. Rummun pyörimisnopeus on noin 2 1/min. Rummun vapaa pää on tuettu kuulalaakerilla ja käyttöpää rulla-laakerilla. Alustavissa mittauksissa oli havaittu vapaan pään laakerissa värähtelyn aikatasosignaaliassa iskumaisia, harvoin toistuvia piikkejä, joita päätettiin ruveta mittaamaan säännöllisesti. Mittauksia tehtiin sekä akustisen emission ja värähtelyn avulla. Akustisen emission mittaukset tallennettiin instrumenttinauhurilla ja tulokset analysoitiin laboratoriossa. Laakeri vaurioitui myöhemmin, jolloin havaittiin laakerin muovisen pidikerengon murtuneen. Värähtelysignaali syntyi todennäköisesti kuulien koskettaessa toisiinsa rikkoutuneen osan kohdalla. Kuvassa 11 on akustisen emission signaali, jossa kuulien kosketus näkyy. [13.]

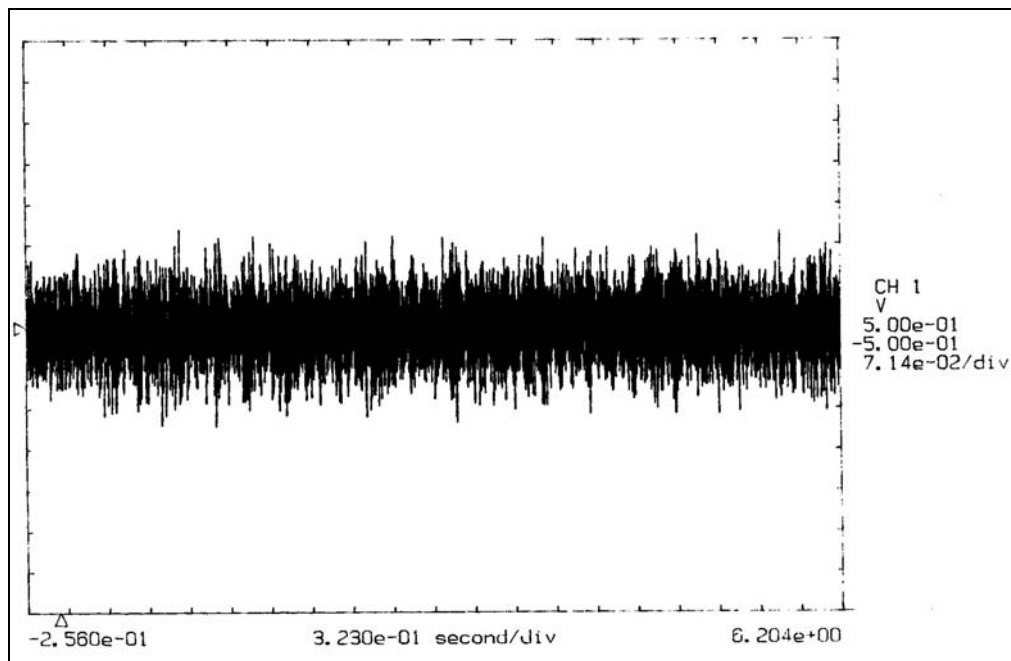


*Kuva 11. Kuulien osuminen vaurioituneessa laakerissa näkyy noin 100 kHz:n taajuudella. Aika-akselin pituus on 5,3 ms [13].*

Eräällä toisella sellupesurilla havaittiin laakerivaurio tarkastelemalla kiihtyvyyden aikatasoa. Viallisen laakerin aikatasossa näkyy runsaasti satunnaisesti toistuvia piikkejä (kuva 12), joita kunnossa olevan laakerin aikatasossa ei ole (kuva 13). Näiden havaintojen perusteella sekä akustisen emission ja värähtelyn aikataason mittausta soveltuvat hitaasti pyörivien laitteiden kunnonvalvontaan. [13.]

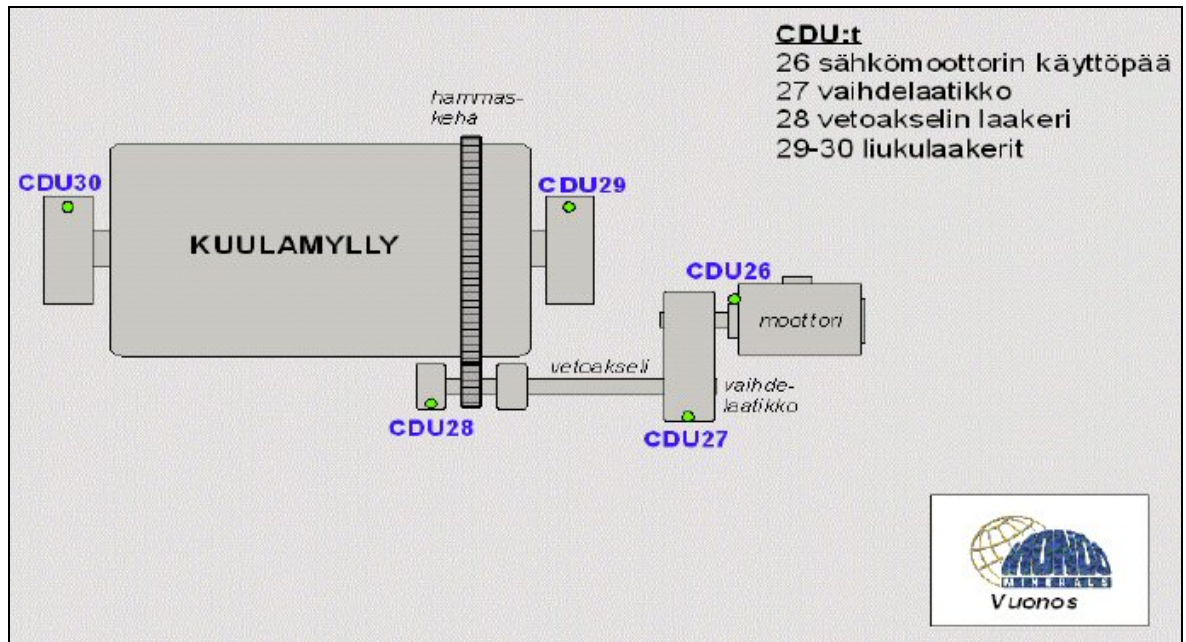


Kuva 12. Viallisen laakerin aikatasosignaali [13]



Kuva 13. Ehjän laakerin aikatasosignaali [13]

Kuvassa 14 on esitetty Vuonoksen kuulamylyllä olevan akustista emissiota mittaavan järjestelmän mittauspisteet. Kannatinlaakereilla on omat anturit ja valvonta on myös voimansiirrossa ja moottorilla. Kappaleessa 11.5 on kerrottu moottoriviasta, joka näkyi moottorin akustisessa emissiossa.

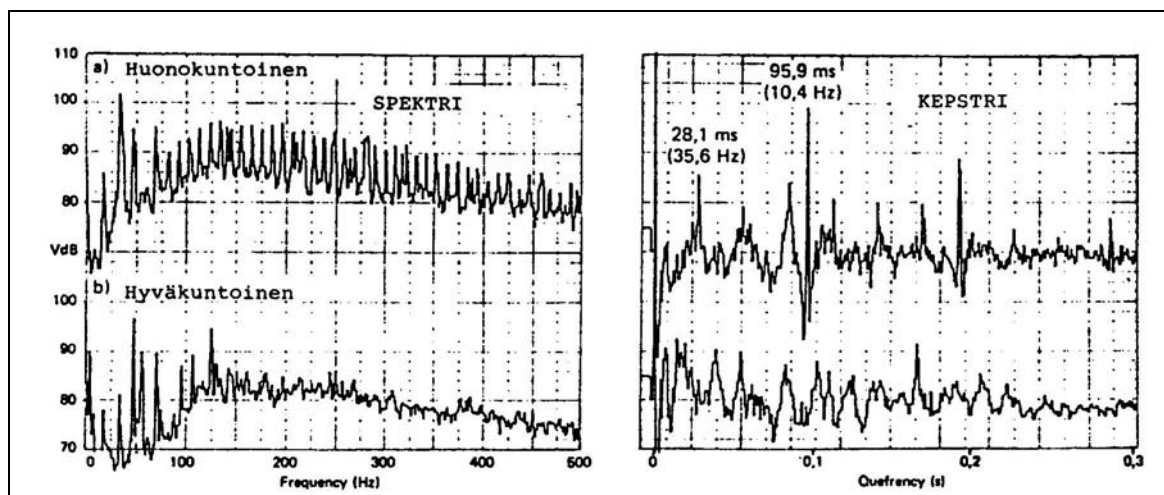


Kuva 14. Akustisen emission mittauspisteet [25]

#### 11.4 Vaihteistot

Hammasvaihteistoille ei ole varakappaleita varastossa, joten niiden vaurioituminen aiheuttaa pitkän, jopa kolmen kuukauden seisakin vaurioituneen vaihteiston pyörittämälle myllylle. Hampaiden kunnon seurannassa värähtelymittaukset ovat osoittautuneet tehokkaiksi. Käyttämällä kepstrianalyysia tai tahdistettua aikakeskiarvostusta, jaksolliset ilmiöt, jotka syntyvät hammaspyörien rynnöstä saadaan näkymään.

Kepstri on spektrin spektri ( $\text{FFT}^2$ ). Se muodostetaan ottamalla spektristä uusi spektri samalla tavalla kuin ensimmäinen spektrikin on muodostettu. Kepstri ei ole niin herkkä esimerkiksi kuormituksen vaihtelulle kuin alkuperäinen spektri, joten sen analysointi soveltuu hyvin jatkuvaan kunnonvalvontaan [13]. Tarkasteltavan perustaajuuden (ryntötaajuus) molemmille puolille muodostuu sivunauhoja, jotka syntyvät hammaspyörien kulumisesta tai huonosta voitelusta. Sivunauhojen kehittymistä voidaan kepstrillä valvoa. Kuvassa 15 on esitetty hyväkuntoisen ja vioittuneen vaihdelaatikon spektri ja kepstri.



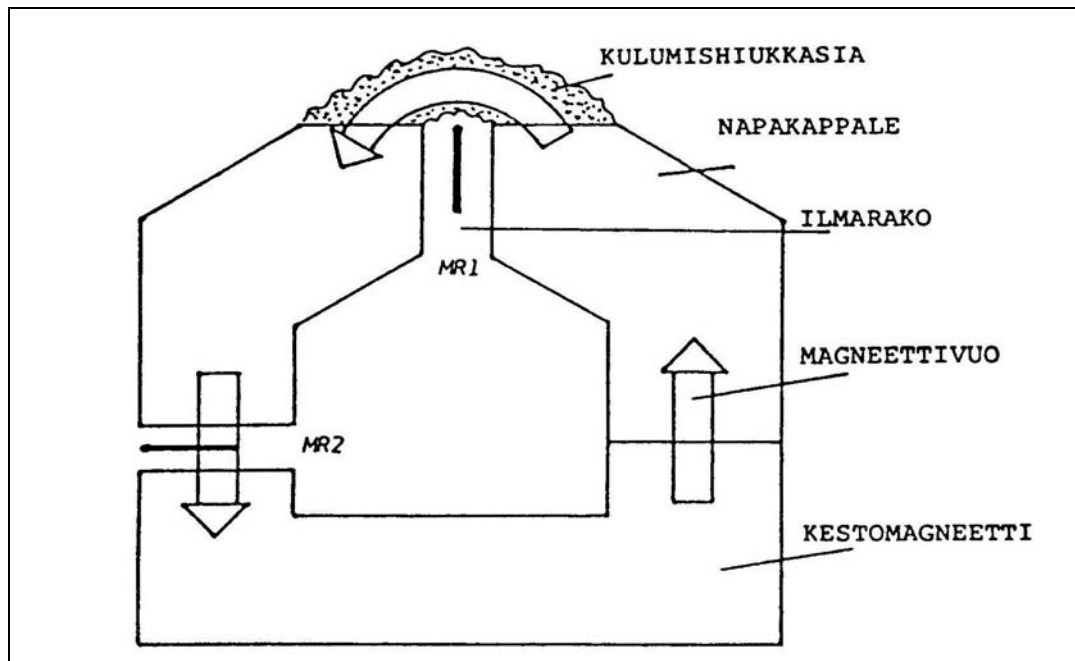
Kuva 15. Vasemmalla näkyy spektrit huono- ja hyväkuntoisesta vaihdelaatikosta ja oikealla niistä muodostetut kepstrit [13].

Värähtelymittausta opettavan opettajan mukaan vaihteiston kunnonvalvonnassa tahdistettu keskiarvostettu signaalin käsittely selvittää parhaiten hammasrattaan kulumisen [26]. Niin sanotussa STA-mittauksessa hammasrattaan värähtelyistä muodostetusta spektristä tehdään rengasmainen kuvaus. Siinä näkyy jokaisen yksittäisen hampaan kulumisen ja itse spektriä on äärimmäisen helppoa tulkita. Näin ollen rattaiden kulumisen voidaan todeta aikaisessa vaiheessa ja aloittaa tutkimaan mistä ilmiö johtuu. Tahdistukseen käytetään triggeri-anturia, joka liipaisee mittauksen käyntiin joka kierroksella. Jos kyseessä on muuttuvanopeuksinen kone, käytetään signaalin aikatahdistusta, jolloin mittaus ei vääristy. Myös VTT:n tekemissä tutkimuksissa, tahdistetun värähtelysignaalin analysointi osoittautui tehokkaaksi menetelmäksi vaihteistojen kunnonvalvonnassa. [13.]

Koska vaihteistossa on kiertovoitelu voi värähtelymittausten lisäksi käyttää öljyn kunnonvalvontaa. Tällä ei tarkoiteta itse voiteluaineen ominaisuuksien tarkkailemista, vaan öljyyn joutuneiden kulumishiukkasten tarkkailua. Vaihteistossa olevista hammasrattaista irtoaa metallihiukkasia esimerkiksi riittävän voitelukalvon puuttuessa. Kuvassa 16 on VTT:n kehittämän online-kulumishiukkasanturin periaate. Anturin toiminta perustuu magneettisten kulumishiukkasten aiheuttaman magneettivuon muuttumiseen ilmaraossa. Vuota mittaavilta antureilta MR 1 ja MR 2 saadaan muutokseen verrannollinen jännite. Jännitteen kasvaessa tiettyyn

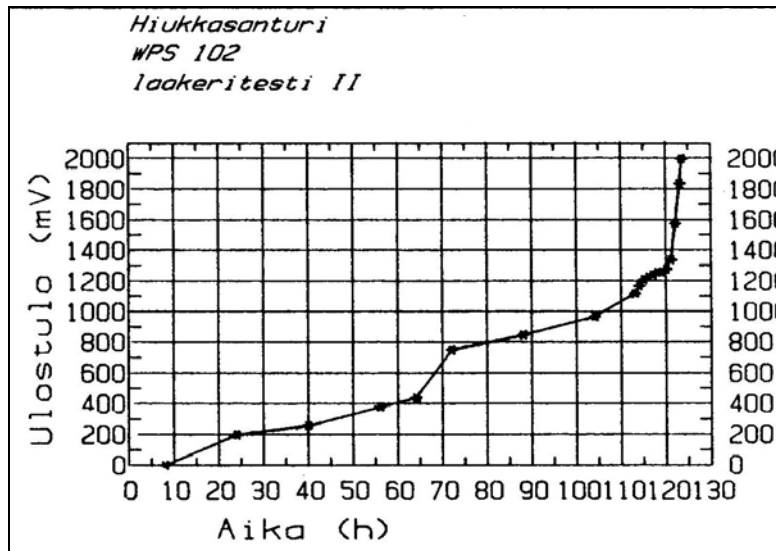


arvoon, anturi huuhdellaan vetämällä sähkömoottorilla kestomagneetti irti hetkeksi muusta piiristä. Lyhentynyt huuhteluväli indikoi kulumisen kasvua. [14.]

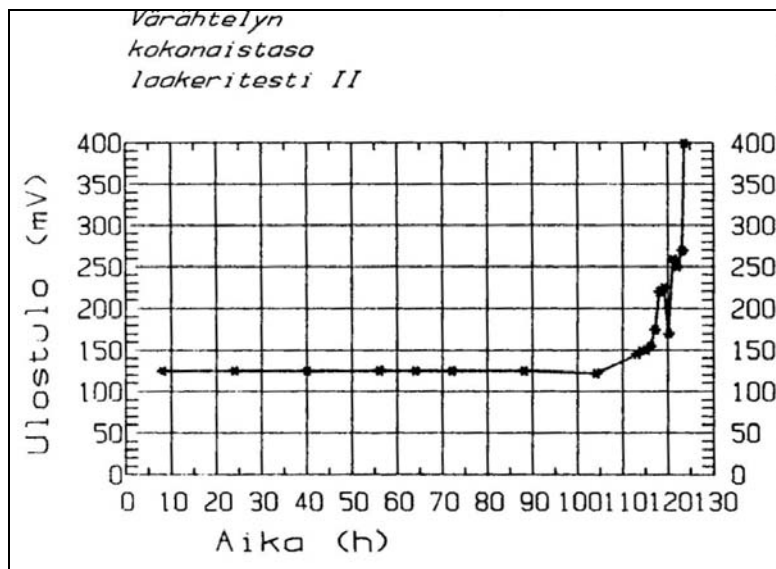


Kuva 16. VTT:n kehittämä online-kulumishiukkasanturi [14]

VTT:n tekemissä kokeissa online-kulumishiukkasanturi toimi moitteettomasti. Vertailtaessa kulumishiukkasanturi- ja värähtelymittausanturisignaaleja voitiin erottaa sisäänajokuluminen (nousu alussa), normaali kuluminen ja vakavan kulumisen alkaminen kokeiden loppupuolella (kuvat 17 ja 18). Anturi mittaa koneen todellista kulumista, koska mittaustuloksiin eivät vaikuta kuormituksen vaihtelut tai muissa koneen toimintaparametreissa tapahtuneet muutokset. Verrattaessa kulumishiukkasanturin antamia arvoja ja värähtelynopeuden tehollisarvoihin havaitaan molempien osoittavan kulumisen kasvaneen voimakkaasti 120 tunnin kohdalla. [13.]



Kuva 17. Laakerin kulumisen näkyminen kulumishiukkasmittauksessa [13]



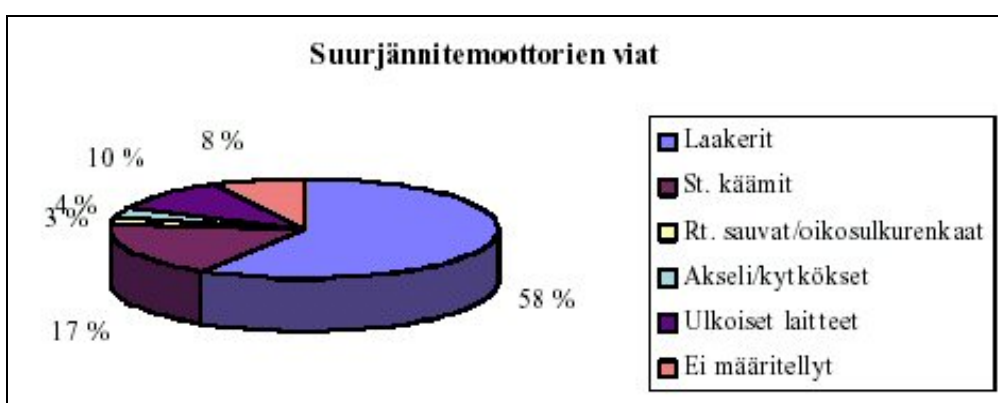
Kuva 18. Laakerin kulumisen näkyminen värähtelymittauksissa [13]

Kahden erityyppisen kunnonvalvontamenetelmän yhdistämisen tehokkuus selvisi eräessä VTT:n tekemässä mittauksessa. Erään sekoittajan vaihteen kokonaistasomittautulosten huomattiin kasvaneen varsin suuriksi. Vaikka vaihde vaihdettiin peruskorjattuun varavaihteeseen värähtelyt pysyivät korkeina. Jälkeenpäin huomattiin värähtelyjen aiheutuneen erään massaputken värähtelyistä. Öljy- ja kulumishiukkasanalyysien mukaan minkäänlaista vauriota vaihteessa ei ollut. Jos heti olisi huomattu, että toinen kunnonvalvontamittaus ei ilmoita vauriota olevan, oltaisiin säästyttävä turhalta vaihteistojen vaihtotyöltä. [27.]

Toisessa tutkimuksessa, joka liittyi erään rikastamon kuulamylyn tappivaihteeseen, huomattiin myös kunnonvalvontamenetelmien yhdistämisen hyöty. Siinä värähtelymittaukset eivät kertoneet minkäänlaisesta viasta vaihteessa, mutta vaihteistoöljystä tehtyjen analyysien mukaan öljyssä olevien hiukkasten määrä oli kasvanut niin suureksi, että analyysit tehnyt laboratorio antoi laitteen pysäyttämiskäskyn. Laboratorio epäili mm, että alkava laakerivaurio aiheuttaa suuret hiukkas- pitoisuudet öljyssä. Tarkemmissa analyyseissä selvisi rasvavoidellun liukulaakerin voiteluaineen vuotaneen vaihteistoöljyn sekaan, joka aiheutti hiukkas- määrän kasvun öljyanalyyseissä. Koko aikana värähtelytasot olivat laskeneet kauttaaltaan eli vaihteisto oli loistavassa kunnossa värähtelymittausten mukaan. [ 27.]

### 11.5 Sähkömoottorit

Suurjännitemoottoreiden yleisimmät viat jakaantuvat kuvan 19 mukaisesti. Moottoreiden laakerit ovat yleisesti vierintälaakereita. Laakerivaurioita aiheuttavat väärä tai riittämätön voiteluaine, tärinä tai liian suuret radiaaliset tai aksiaaliset voimat. Myös laakereiden läpi kulkevat virrat aiheuttavat vaurioita [18]. Staattorivikoja aiheuttaa ylikuumentuminen, joka johtuu ylikuormasta tai liian aiheuttamasta huonosta tuuletuksesta. Roottorivauriot johtuvat yleensä ylikuumentumisesta tai valmistusvirheestä [19].

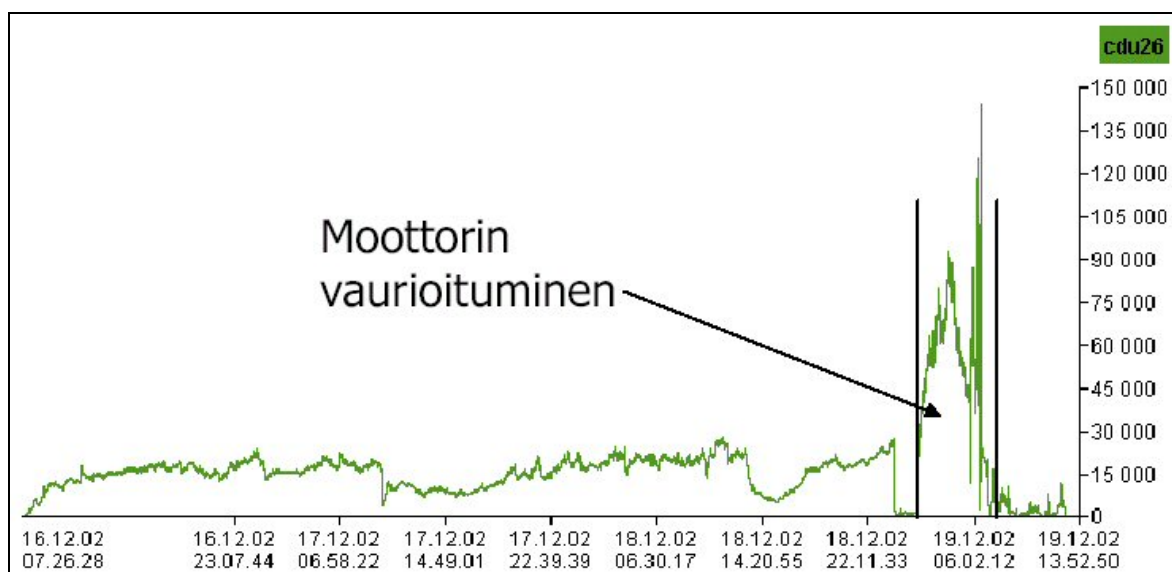


Kuva 19. Suurjännitemoottoreiden viat [18]

Shaft Grounding Systems Inc:n tekemä tutkimus paljasti mielenkiintoisen asian. Tutkimuksessa 1150 vaihtovirtamoottoria analysoitiin värähtelymittauksilla, joista

1000 oli taajuusmuuttajakäyttöisiä ja loput oli suoraan kytkettyjä. Alle 18 kuukauden käytön jälkeen 25 %:lla taajuusmuuttajakäyttöisistä moottoreista oli jonkinasteinen laakerivaurio ja kahden vuoden käytön jälkeen jopa 65 %:lla oli samanasteinen laakerivaurio. Vain 1%:lla suoraan kytketyistä moottoreista havaittiin laakerivaurio. [18.]

Vuonoksen kuulamylyn moottori on vesijäähdytteinen ja vuonna 2002 sen lämmönvaihtimeen oli tullut vuoto. Moottori paloi, mutta sille oli varakappale toisen yrityksen varastossa. Tämän kokoisia vesijäähdytteisiä moottoreita on tehty tietävästi vain neljä kappaletta, joten varamoottorijärjestely oli jo valmiiksi suunniteltu. Akustisen emission signaalissa (Kuva 20) on nähtävissä vaurion syntyminen. Moottorin emissiot nousivat perustasosta 25 000 countista neljän tunnin aikana 150 000 countiin. Koska järjestelmässä ei ollut hälytysrajoja, vaurio pääsi kehittymään ilman, että siihen ehdittiin reagoimaan.



Kuva 20. Moottorin akustisen emission signaalista näkyvä moottorin vaurioituminen [28]

Sähkömoottorin laakerivaurio voidaan mitata joko sähköisesti tai mekaanisesti. Sähköiset mittaukset käsittävät akselijännitteen, laakerivirtojen, lämpötilan, vaihevirtojen tai osittaispurkausten mittausta. Mekaanista mittausta tarkoittaa värähtelyn tai akustisen emission mittausta. Magneettinen epätasapaino, joka johtuu staattorin tai roottorin viasta, näkyy värähtelymittauksessa kaksinkertaisella syöttävän ver-

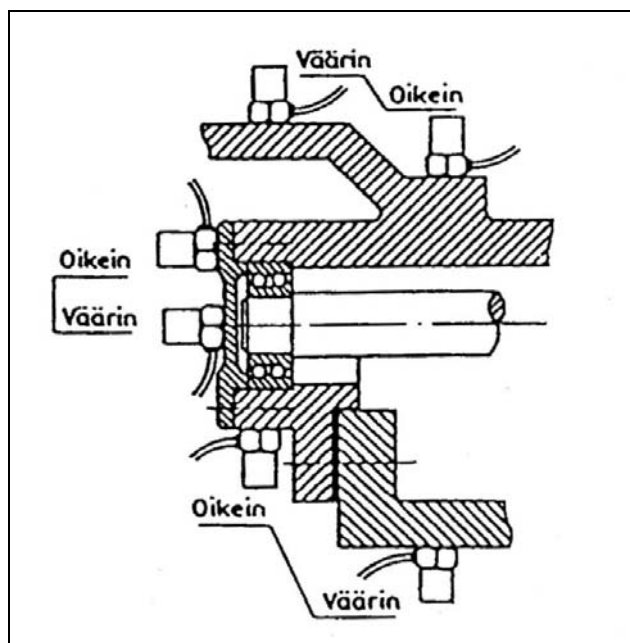
kon taajuudella. Värähtelymittauksilla voidaankin valvoa juuri yleisimpiä sähkömoottoreihin syntyviä vaurioita. Sähköiset mittaukset on vaikeaa toteuttaa jatkuvana mittauksena, joten niitä voi suorittaa kannettavilla mittalaitteilla aina kun on epäily koneen kunnosta. [19.]

Konepajateollisuudessa juuri ylikuumentuminen on suurin sähkömoottoreiden vikojen aiheuttaja [19, s. 8]. Tätä voi aiheuttaa joko ylikuormitus tai puutteellinen jäähdytys. Jotta ylikuumentamista ei pääse syntymään, pitää moottorin lämpötilaa valvoa. Se voidaan suorittaa joko lämpötilaa mittaavilla antureilla tai lämpökameralla. Anturit ovat halvempi vaihtoehto ja ne voidaan integroida kiihtyvyyssantureihin, jolloin niiden käyttö on perustellumpaa. Lämpötilan mittausta voi pitää vikoja estävänä kunnonvalvontamenetelmänä, joten senkin takia sen käyttö on perusteltua.

## 12 KUNNONVALVONTAMENETELMIEN VALINTA

Tässä kappaleessa kerrotaan, mitkä kunnonvalvontamenetelmät tekijän mielestä olisivat sopivia juuri työhön kuuluviin koneisiin. Periaatteessa vasta eri menetelmiä testaamalla jokaiseen kohteeseen voitaisiin sanoa varmasti, mitkä ovat ne tehokkaimmat menetelmät, mutta sellaisen testin tekeminen tulisi hyvin kalliiksi. Perustelut tulevat lähinnä edellisessä kappaleessa esitetyistä mittaustuloksista, haastatteluista ja kokeista, joista kappaleessa kerrotaan.

Mittauspisteiden valinta tulisi tehdä siten, että siitä mitattaessa vika saadaan parhaiten selville. Esimerkiksi värähtelymittauksissa anturi sijoitetaan mahdollisimman lähelle laakeria (kuva 21), jolloin signaali on vaimentunut mahdollisimman vähän. Sen lisäksi anturi tulisi sijoittaa sille puolelle laakeria, jolle sen kantama kuormitus kohdistuu. Siihen, mitataanko pysty- vai vaakasuunnassa, vaikuttaa useampi tekijä. Suunta jossa vika ilmenee selvimmin on paras, mutta on tekijöitä, jotka estävät tämän toteutuksen: Anturi pitää pystyä vaihtamaan helposti, anturin suojaus ja kaapelointi täytyy voida toteuttaa luotettavasti, eikä anturiin saa kohdistua liian suuria kiihtyvyyksiä tai lämpötiloja. Näiden lisäksi anturi ei saa estää laitoksella suoritettavia normaaleja huolto- tai käyttötoimenpiteitä. [ 29.]



Kuva 21. Värähtelyanturin sijoitus [29]

## Leukamurskain

Leukamurskaimen valvonta voitaisiin toteuttaa värähtelymittauksilla. Anturit asennetaan runko- ja heilurinlaakereiden välittömään läheisyyteen. Mittaukset suoritetaan koneen tyhjäkäynnillä, jolloin murskaus ei häiritse värähtelyjen mittausta. Värähtelymittauksilla saadaan myös lisätietoa murskaimen työnninlaatan, vastimien ja liitoksien kunnosta. Vikahistorian mukaan juuri työnninlaatta ja vastimet sekä löystyneet tai katkenneet pultit aiheuttivat paljon korjauksia. Värähtelymittaus puolustaa valintaansa sillä, että sen käytöstä on enemmän kokemusta kuin esimerkiksi akustisesta emissiosta. Suuret kunnonvalvontaa tarjoavat yritykset (SKF ja Metso) käyttävät myös omissa leukamurskaimen valvontasovelluksissa värähtelymittausta. Vierintälaakereiden valvonnassa juuri värähtelymittaukset ovat yleisin mittaamenetelmä.

Laakerien lämpötilan mittaaminen ei kerro laakerien vikaantumista tarpeeksi aikaisessa vaiheessa, koska lämpötila nousee vasta kun vika on jo vakava. Liian suuri tai vähäinen voiteluaineen määrä vaikuttaa laakerin lämpötilaan, joten sen avulla voitelun onnistumista voidaan kylläkin arvioida. Lämpötilan perusteella voidaan säästää laakereita ja voiteluainetta, koska kovalla pakkasella murskain pystytään lämmittämään oikeaan lämpötilaansa ennen varsinaista käyttöä.

## Kartiomurskain

Kartiomurskaimen käyttöakselin rullalaakereita voidaan valvoa värähtelymittauksilla. Myös tässäkin tapauksessa värähtelyjen perusteella saadaan lisätietoa koneen muiden osien kunnosta. Vialliset kiilahihnat ja hammaspyörät lisäävät värähtelyn kokonaistasoa tietyillä taajuuksilla, jotka voidaan selvittää analysoimalla signaalia taajuustasossa. Rullalaakereiden mittausta suorittaa koneen tyhjäkäynnillä, kuten leukamurskaimellakin tehdään.

Kartiomurskaimen murskausakselin kanto- ja pallolaakerin valvonta perustuu voitelun onnistumiseen. Tätä voidaan mitata joko akustisella emissiolla tai se voidaan varmistaa öljynpaineen valvonnalla. Liukulaakeri vaurioituu melko nopeastikin, jos kalvo pettää ja metallinen kosketus pääsee tapahtumaan [12, s.12]. Akustisen

emission suhteen ongelma on anturin sijoitus. Oikea paikka saattaa löytyä vasta kokeilemalla useita vaihtoehtoja. Jotta voiteluainekalvon paksuudesta ja toimivuudesta saadaan oikea kuva, mittaus tehdään murskauksen aikana, jolloin nähdään kuormituksen vaikutus voiteluun. Öljynpaineen valvonta on erittäin tärkeää, koska juuri öljyvuodot ovat vika historian mukaan aiheuttaneet välillisesti suuria vaurioita. Toisaalta murskaimen tärkeimmän laakerin (pallolaakeri) toiminta perustuu öljykalvon varaan, joten öljynpaineen olemassaolo pitää varmistaa.

### Kuulamylyt

Kuulamylyjen kaula- tai kantolaakereiden valvonta voidaan tehdä joko värähtelymittauksilla tai akustisella emissiolla. Molempien soveltuvuutta hitaasti pyöriin kohteisiin on tutkittu ja molemmilla on vika saatu paljastettua. SKF:n SEE-mittaus (Spectral Emitted Energy) muistuttaa akustisen emission mittausta, jossa mitattava taajuusalue on 250 - 330 kHz. Tämän avulla on saatu hyviä tuloksia hitaasti pyörivillä laitteilla mitattaessa [30]. Värähtelymittauksilla valvottaessa aikatasosignaalin tarkastelu pitkillä mittausjaksoilla on olennaista. Harvinaisempi jerkin mittaus on myös yksi vaihtoehto, mutta sitä on sovellettu käytännön mittauksissa vähän. Tässä tuleekin ratkaisevaksi tekijäksi se, kumpi mittausmenetelmä (värähtelymittaus - akustinen emissio) pystyy paljastamaan vian aikaisemmin ja varmemmin. Tähänkään ei ole varmaa vastausta, kuten Liitteessä F oleva kuva kertoo [27]. Siinä näkyy neljän eri menetelmän (värähtelynopeuden tehollisarvo, iskusysäysmittaus, kiihtyvyyden huippuarvo ja akustinen emissio) tulokset laakerikokeessa. Jokaisessa on havaittavissa sama vauriokehitys.

### Vaihteistot

Vaihteistojen mittauksessa käytetään värähtelymittauksia, joissa jokaiselle laakerille asennetaan oma anturi. Värähtelysignaalia voidaan tutkia tarpeen vaatiessa tahdistettua keskiarvostusta käyttämällä ja näin paljastaa kuluneet hammaspyörät tai huono voitelukalvo. Öljynpaineen valvonta voidaan suorittaa painekeytkimillä ja näin varmistaa, että öljynkierto toimii. Jotta öljyn määrä on oikea koko ajan, pinnankorkeutta voidaan tarkkailla, joko edellä mainitun painekeytkimen avulla tai



yksinkertaisen uimurin avulla. Tällä varmistetaan se, että vaihteisto ei pääse käymään kuivana, jos jossain syntyy vuoto josta öljy pääsee karkaamaan.

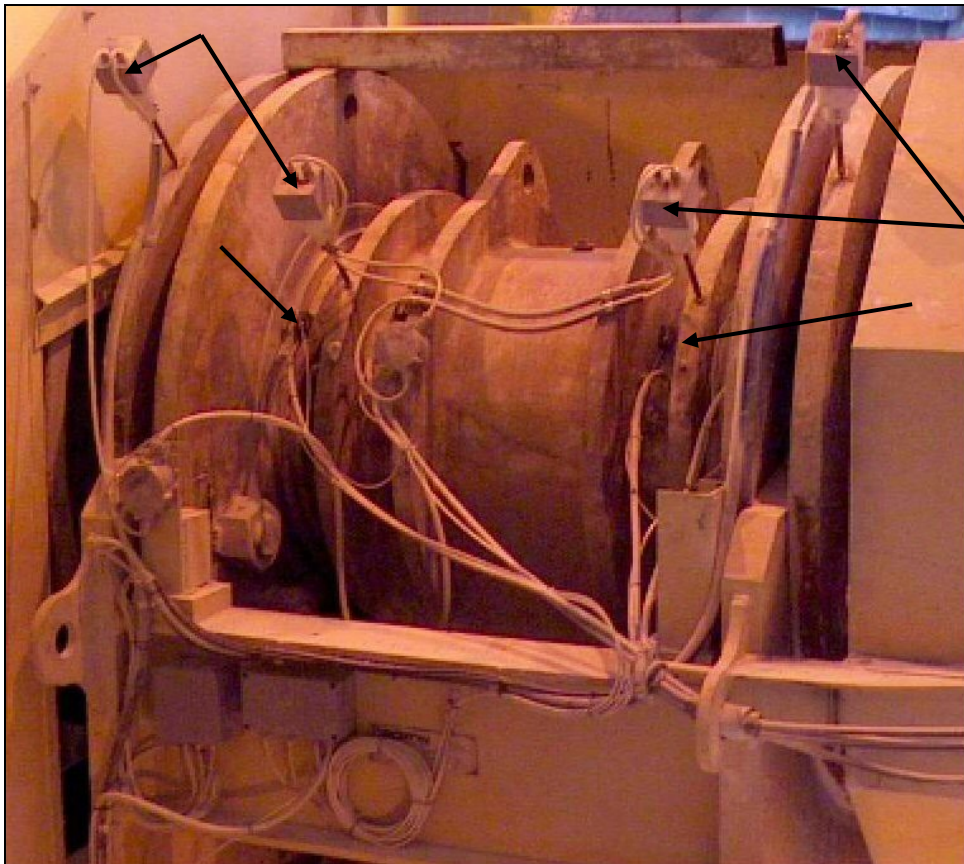
## Moottorit

Sähkömoottoreiden yleisimpiä vaurioita ovat laakeri- ja käämivauriot [18]. Mekaaniset vauriot kuten laakerivauriot ja katkenneet roottorit saadaan selvitettyä värähtelymittauksilla. Koska käämien vikaantuminen aiheuttaa magneettista epätasapainoa, voidaan värähtelymittauksilla myös näitä vikoja valvoa. Kaikki yleisimmät sähkömoottorin viat voivat syntyä ylikuumenemisestä. Mittaamalla lämpötilaa saadaan estettyä ylikuumenemisestä johtuvat vauriot. Yhdistämällä värähtely- ja lämpötilamittaukset samaan anturiin, saadaan kattava valvonta sähkömoottoreille. Moottorin tilaa voidaan tutkia lisäksi moottorin ottaman virran mittauksilla, joiden avulla voidaan selvittää sekä sähköisiä että mekaanisia vaurioita.

### 13 VUONOKSEN MURSKAIN

Tässä kappaleessa on esitelty Mondo Mineralsin Vuonoksen tehtaan leukamurskaimella oleva online-kunnonvalvontajärjestelmä.

Murskaimen on valmistanut Roxon ja sen malli on BML - 125 - M. Murskain on samaa kokoluokkaa kuin Lahnaslammen murskain. Vuonoksen murskaimen laakereita valvotaan kolmella eri mittaustavalla. Lämpötilan valvonnassa käytetään Pt - 100 vastuksia, jotka ovat stabiilisuutensa vuoksi yleisimpiä lämpötilan mittaukseen käytettyjä antureita. Kerran vuodessa kaikki koneet kuvataan myös lämpökameralla. Akustisen emission mittaukseen käytetään Acutest Oy:n järjestelmää ja värähtelymittaukseen SKF:n Copperhead -järjestelmää. SKF:n värähtelymittausantureissa on myös lämpötilan mittaus, joten murskaimessa on ”tuplamittaus” lämpötilalle. Kuvassa 22 näkyy antureiden sijoitus murskaimessa.



Kuva 22. Varsien päihin on sijoitettu akustisen emission anturit. Mustat laatikot ovat värähtelymittausanturit [31].

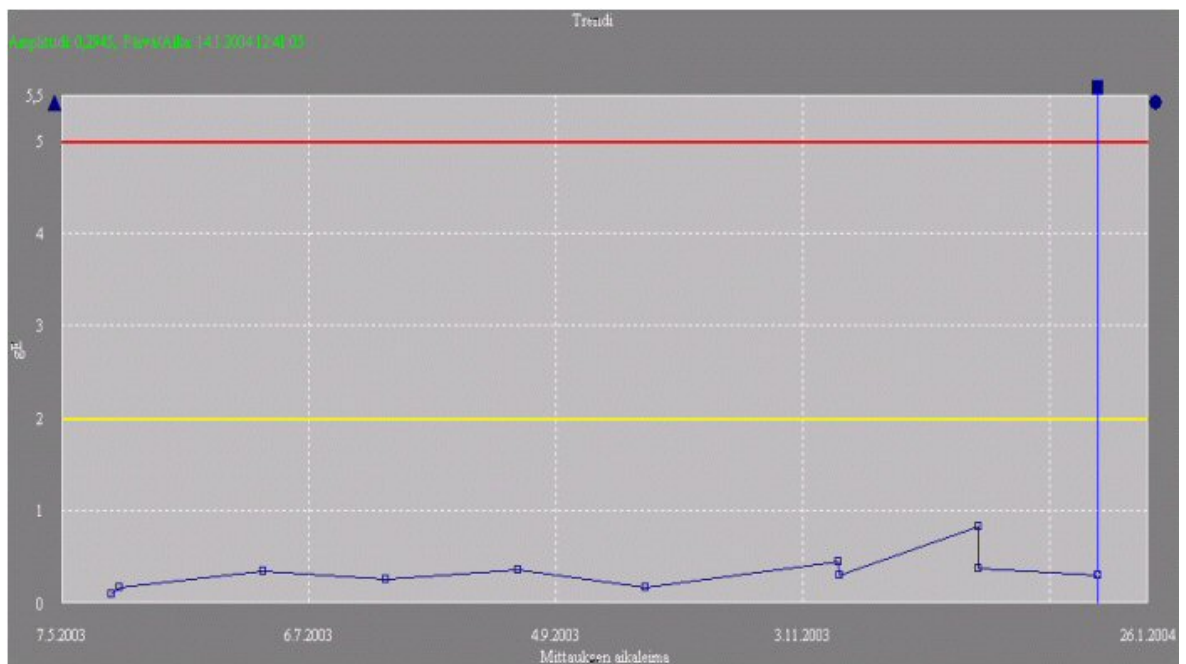
### 13.1 SKF Copperhead

SKF:n Copperhead -järjestelmä mittaa värähtelyarvoja koneen tyhjäkäynnillä eli silloin kun murskaimelle ei syötetä kiveä, koska murskauksen aikana syntyy valtavasti värähtelyjä, joiden seasta ei voida erottaa vioista johtuvia värähtelyitä. Antureita on viisi kappaletta: neljä mittaa laakereita ja yksi on sijoitettu runkoon, jonka avulla järjestelmä tunnistaa tyhjäkäynnin. Jotta syötön loppumisen jälkeen putoavat satunnaiset kivet eivät aiheuttaisi hälytystä, järjestelmä alkaa mittaamaan vasta 9 sekunnin viiveen jälkeen. Tällä hetkellä kun järjestelmää testataan vielä, signaali viedään murskaimen lähellä olevalle kaapille (kuva 23), josta signaali voidaan mitata kannettavalla mittalaitteella. Kaapin ovessa olevista valoista nähdään järjestelmän tila. Keltaisen valon palaessa on murskaus käynnissä. Vihreä valo kertoo mittauksen olevan menossa. Jos punainen valo syttyy, järjestelmä ilmoittaa jonkin laakereita valvovan anturin mittaavan hälyttäviä värähtelytasoja.



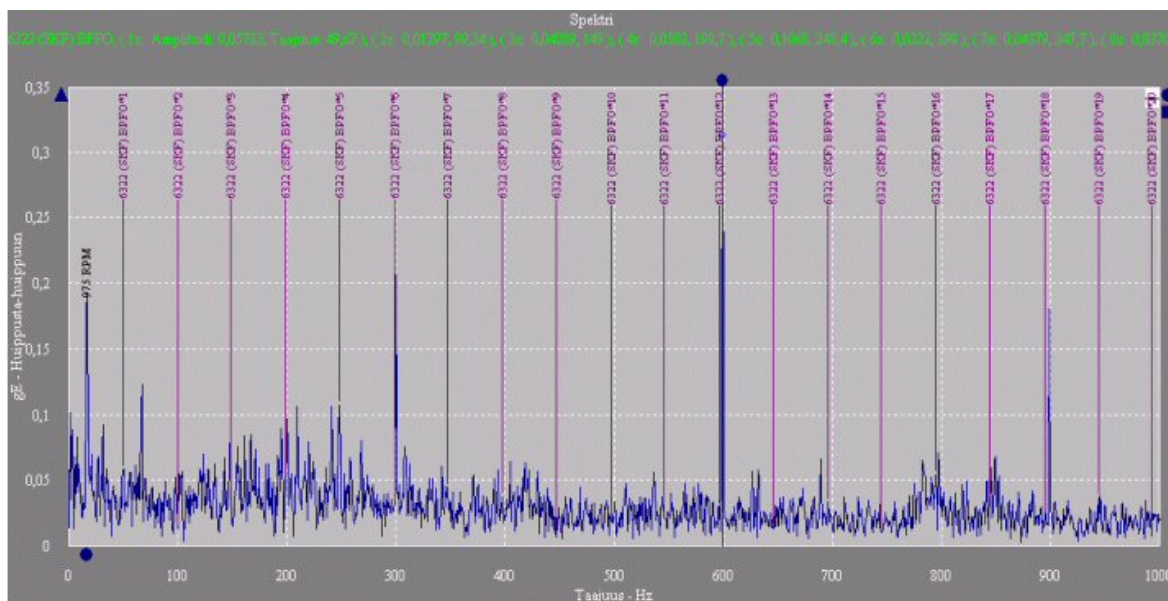
Kuva 23. SKF Copperhead -jakokaappi [31]

Murskaimen laakerointi on kunnossa tällähetkellä. Kuvassa 24 näkyy 14.1.2004 suoritettujen värähtelymittausten avulla saatu envelopen eli verhokäyrän kokonaisu-tason trendi. Trendi on epäkeskoakselin vapaan pään laakerista. Mittaukset on tehty kuukauden välein ja trendi noudattaa 6 kk:n keskiarvoa. Mittaukset tehtiin SKF:n Microlog CMXA 50 värähtelyanalysointilaitteella. Signaali analysointilaitteelle saatiin jakokaapista johon signaali on johdettu neljältä SKF CMSS 2310 kiihtyvyyss-anturilta. Värähtelymittausten lisäksi laakereita on kuunneltu SKF:n CMIN 400-K ultraäänikuuntelulaitteella. Myöskään ultraäänikuuntelussa ei ilmennyt muutoksia edellisiin mittauksiin nähden, joten laakereiden kunto ei ole muuttunut. [32.]



*Kuva 24. Epäkeskoakseliston vapaanpään laakerin 24180 CA envelope kokonaisu-taso trendi [32]*

Murskaimen laakereiden lisäksi tehtiin värähtelymittaukset murskainta pyörittävän moottorin laakereille. Kuvassa 25 on moottorin käyttöpään laakerista 6322-C3 otettu kiihtyvyyden verhokäyrä. Spektrissä esiintyy piikkejä laakerin ulkokehän ohitustaajuudella. Koska herätteet esiintyvät tasajaksoisesti, se voi olla myös merkki sähköisestä viasta. Tämän takia mittaukset tehnyt Karjalan Laakerin Arto Hiltunen suosittelee moottorin virrasta tehtäviä mittauksia, jolloin voidaan saada lisätietoa käämitysten kunnosta.

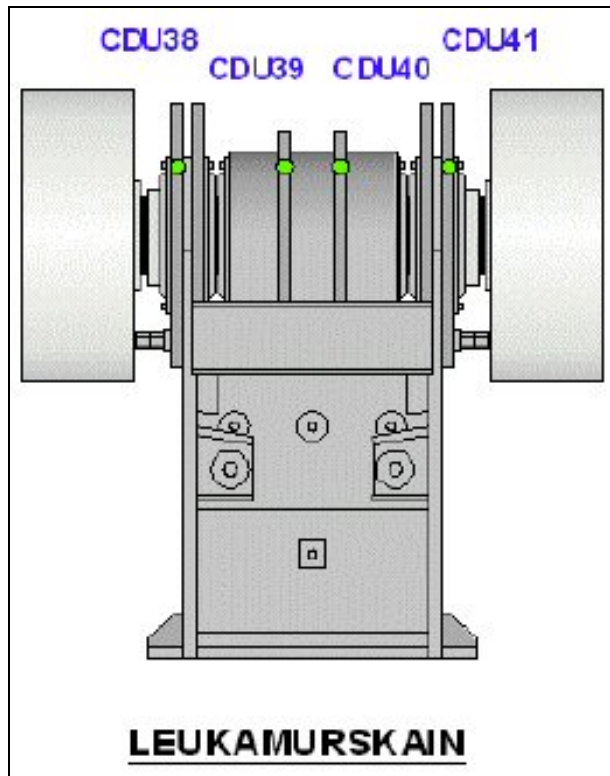


Kuva 25. Murskaimen moottorin käyttöpään laakerista 6322-C3 mitattu kiihtyvyyden verhoikäyrimittaus [32]

Jos SKF:n järjestelmä hankitaan tehtaalle, viedään rikastamon valvomon värähtelymittausjärjestelmän monitori. Siitä voidaan tarvittaessa tarkastella värähtelyarvoja tarkemmin esimerkiksi spektrin ja verhoikäyrianalyysin avulla. Käyttöhenkilöstölle riittää valoilla tuotava informaatio. Vihreä valo ilmoittaa normaaleista värähtelyistä, keltainen kertoo värähtelyiden kasvaneen ja punainen on hälytys, jolloin kone pitää pysäyttää. Järjestelmälle voidaan myös antaa pysäytyskäsky, jolloin se osaa automaattisesti pysäyttää koneen, jos sen värähtelyarvot ovat liian suuret. Järjestelmää voidaan valvoa myös kauempaakin, jolloin kunnonvalvonnan antamaa tietoa voidaan tarkkailla yhdestä paikasta. Esimerkiksi kaikkien kolmen tehtaan kunnonvalvonnan tarkkailu voidaan suorittaa Lahnaslammen tehtaalta käsin.

### 13.2 Acutest-järjestelmä

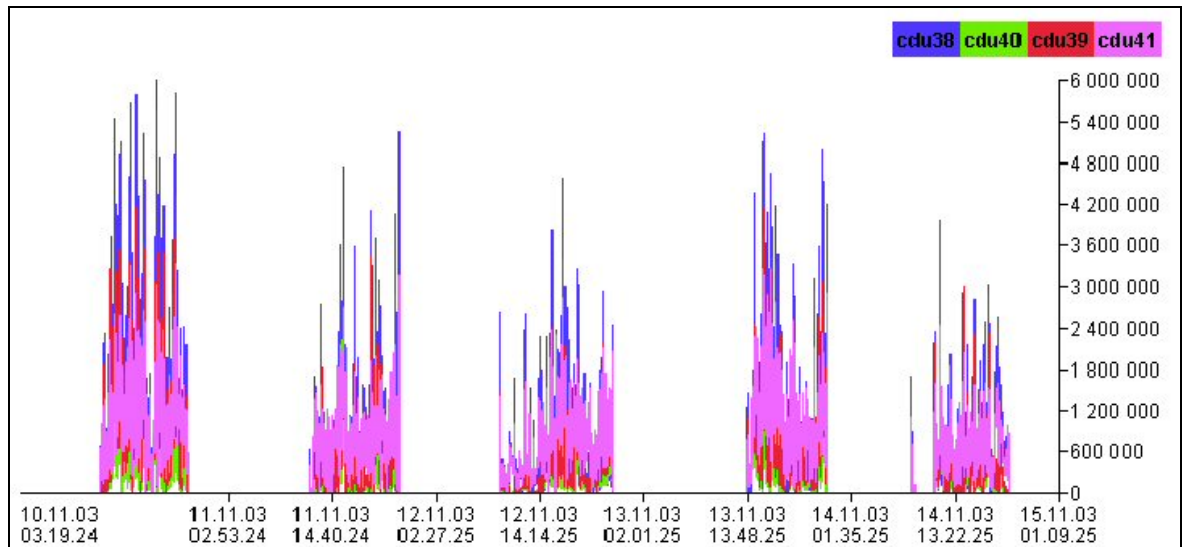
Akustisen emission mittaus tehdään kaikille neljälle rullalaakerille ja mittaus on päällä koko ajan – myös murskauksen aikana. Kuvassa 26 on esitetty akustisen emission antureiden sijoitus murskaimessa. Signaalia voidaan tarkastella tehtaan kunnossapidosta vastaavan ABB Servicen päällikön huoneessa olevalta koneelta ja Acutest Oy:n Tampereen toimipisteeltä.



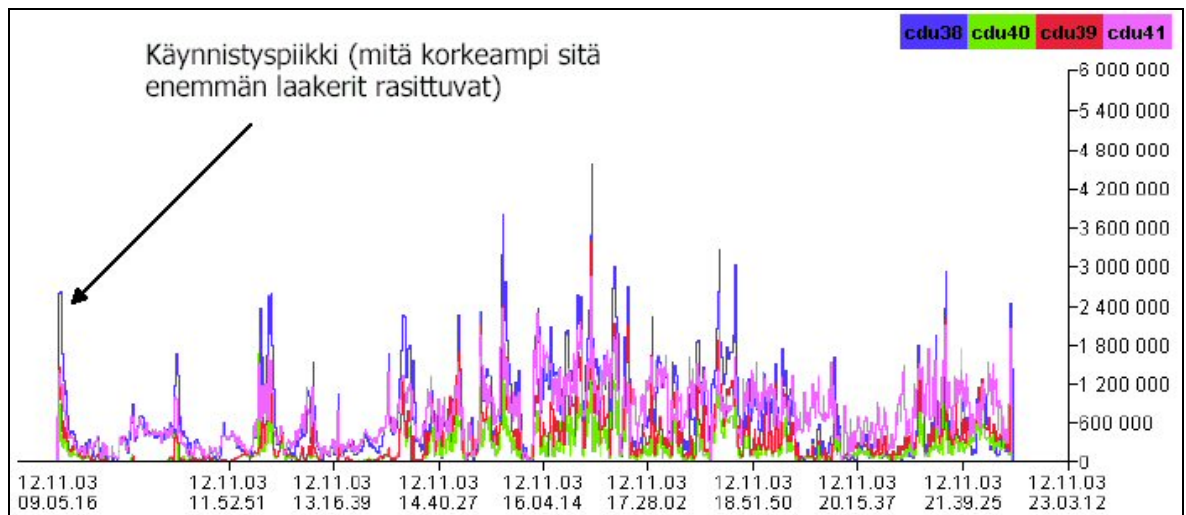
Kuva 26. Leukamurskaimen akustisen emission anturikartta [25]

Koska mittauksille ei ole tehty hälytys- ja pysäytysrajoja, samanlaista värivalo tekniikkaa ei voida käyttää vielä käyttöhenkilöstöä varten kuin värähtelymittausjärjestelmässä käytetään. Akustisen emission signaalia pitää tulkita asiantunteva henkilö, jolla on tietoa myös prosessin toiminasta. Kuvassa 27 näkyy signaalit, joita antureilta tulee. Välit, joissa signaalia ei näy, johtuvat ilmeisesti murskaimen ollessa pysähdyksissä niissä kohdissa. Kuvassa 28 on esitetty yhden ajokerran signaali. Joka laakerille on omat värit, jotta ne voidaan erottaa toisistaan. CDU 38 ja CDU 41 ovat rungon laakerit ja CDU 39 ja CDU 40 heilurin laakerit. Jos halutaan tarkastella jonkun tietyn anturin signaalia, voidaan muut sammuttaa näytöltä, jolloin näkyviin jää vain haluttu kuvaaja.



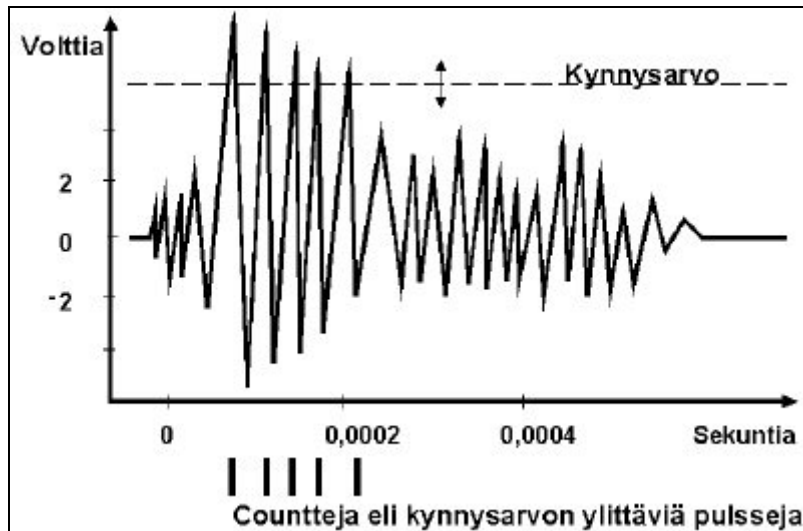


Kuva 27. Leukamurskaimen antureiden signaalit [25]



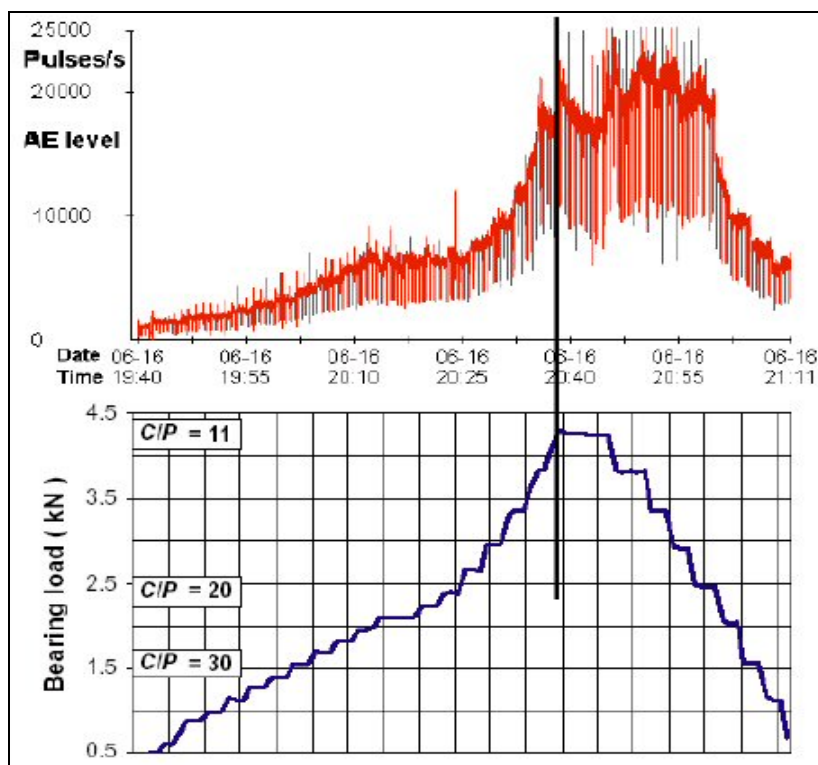
Kuva 28. Murskaimen yhden ajokerran signaali. Emissioiden voimakkuuteen vaikuttaa sekä kiviaineksen laatu että lämpötila. [25]

Järjestelmässä akustinen emissio esitetään counttien lukumääränä ajan suhteen. Vaaka-akselilla on aika, jonka lukuväli voi olla sekunnista ylöspäin. Yleinen lukuväli on minuutti. Pystyakselilla on counttien lukumäärä, joka kertoo montako kynnysarvon ylittävää arvoa kyseisellä lukuvälillä on tullut. Kuvassa 29 on esitetty mittauksen periaate.



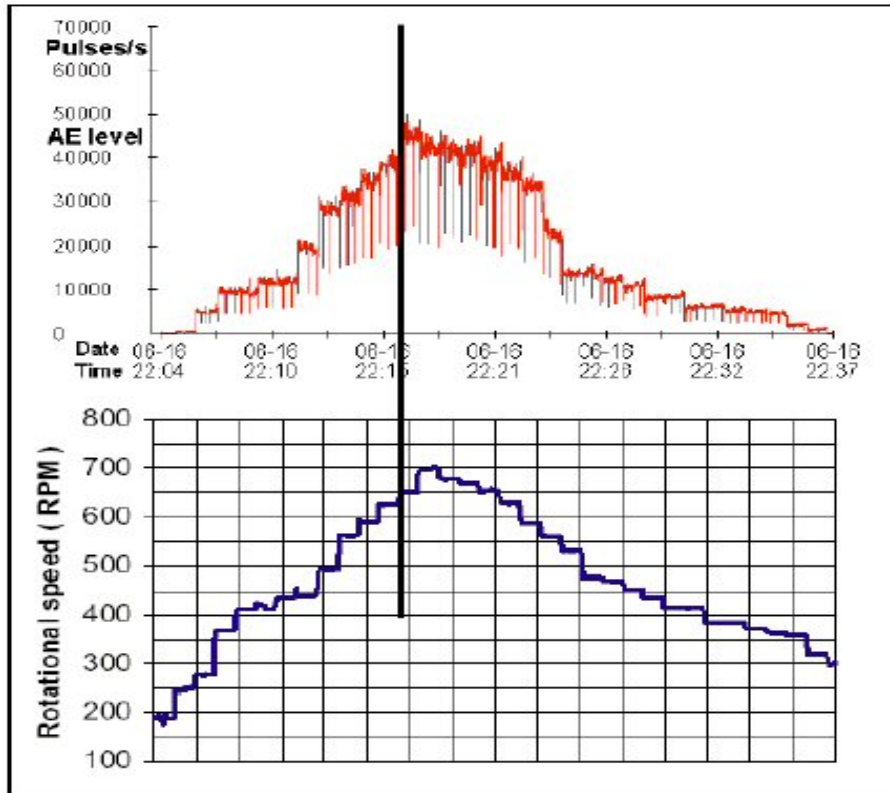
Kuva 29. Vahvistettu lyhytaikainen porskemainen AE-signaali [24]

Laakereiden kunnonvalvonnassa akustinen emissio mittaa laakeripintojen kitka-mekanismia. Emissiotaso kertoo kuormituksen muutokset, voitelun toimivuuden ja laakerin vikaantumiset. Emissiotasoihin vaikuttavat monet asiat kuten kuormitus, pyörimisnopeus ja lämpötila. Kuvissa 30, 31 ja 32 näkyvät edellä mainittujen tekijöiden vaikutukset akustisessa emissiossa.

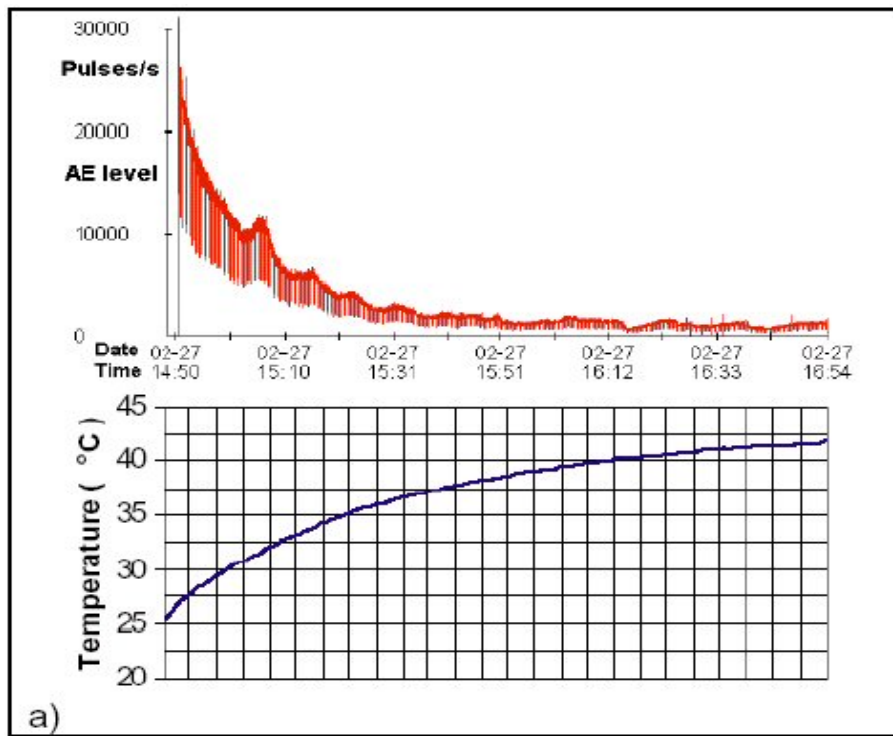


Kuva 30. Kuormituksen vaikutus akustiseen emissioon [24]





Kuva 31. Pyörimisnopeuden vaikutus akustiseen emissioon [24]

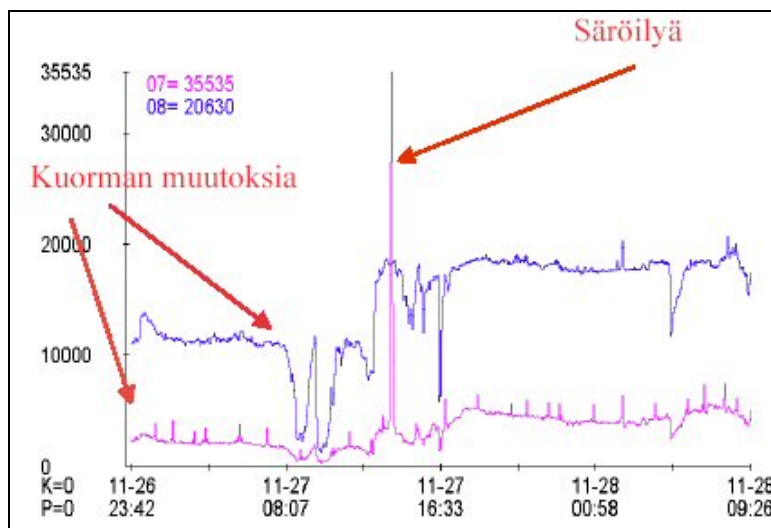


Kuva 32. Lämpötilan vaikutus akustiseen emissioon [24]

Vian tunnistaminen perustuu lähinnä trendin tarkkailuun. Kun tasot alkavat nousta, jotain on tapahtunut järjestelmän kunnossa (kuva 33). Yksittäiset piikit eivät haittaa, mutta jos ne ovat selkeästi korkeampia kuin perustaso ne kertovat särönkasvusta (kuva 34). Akustista emissiota syntyy vain silloin, kun murtuma ydintyy tai kasvaa eli passiiviset säröt eivät näy [24].



Kuva 33. Akustisen emission signaalin tulkitseminen [24]



Kuva 34. Säröilyn näkyminen akustisessa emissiossa [24]

Kevään 2004 aikana on tarkoitus laatia järjestelmälle hälytys- ja pysäytysrajat. Vaikka mittauksia on jo suoritettu parin vuoden ajan tehtaalla olevissa laitteissa, vasta nyt on saatu tarpeeksi kokemusta rajojen laatimista varten. Akustisen emis-

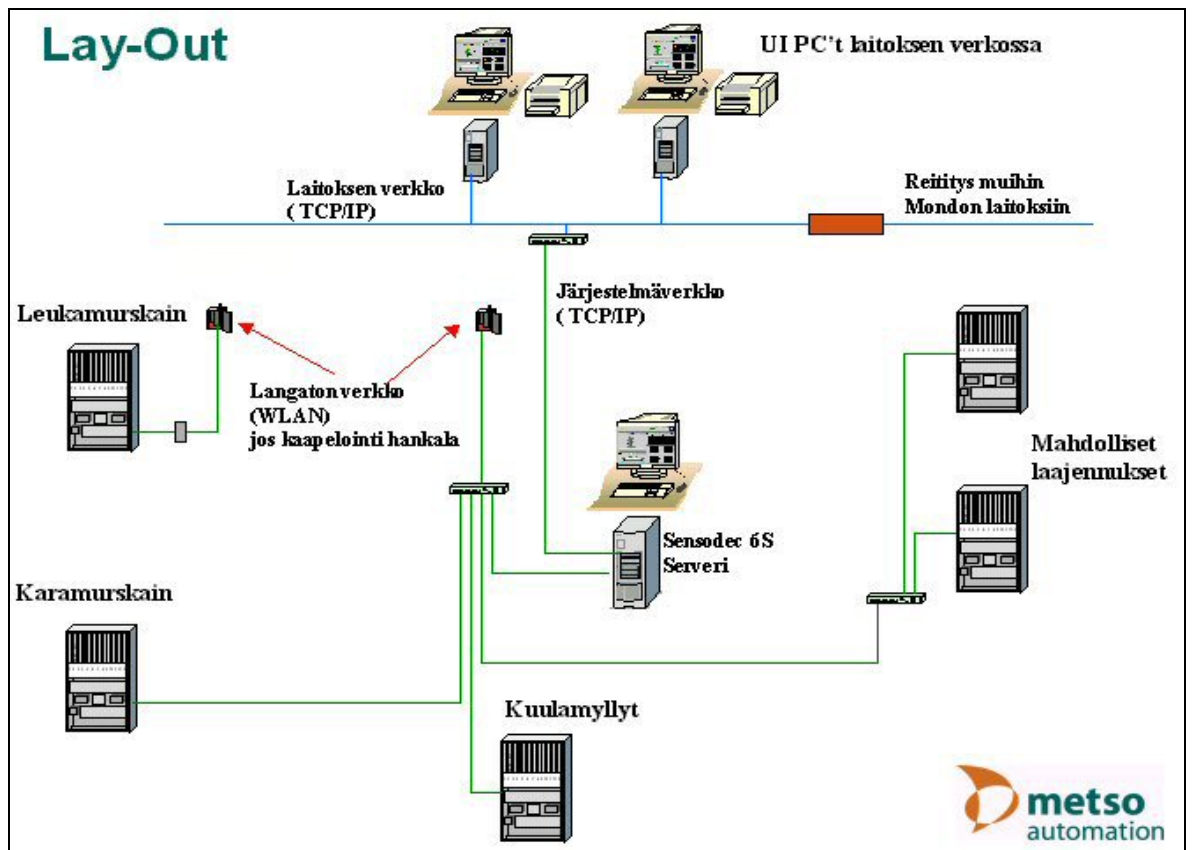
sion mittausten hyödyllisyyttä leukamurskaimella on vaikeaa perustella. Koneen pyörimisnopeus on 180 1/min, joten värähtelymittauksilla ei vielä pitäisi olla vaikeuksia saada selvitettyä laakereiden vikaantumista. Akustista emissiota on arvioitu siitä, että sen havaitsema laakerivaurio on silmillä havaitsematon, jolloin laakerin pitäisi olla vielä täysin käyttökelpoinen. Kun esimerkiksi ulkokehävaurio kehittyy lisää, sen reunat pyöristyvät, jolloin akustisen emission arvot laskevat normaaleiksi. Tällöin vaurio alkaa näkymään myös värähtelymittauksissa, mutta se ei vielä tarkoita sitä, etteikö laakeri kestäisi ajaa. Eräällä tehtaalla oli mitattu laakereita akustisella emissiolla. Yhdessä koneessa oli laakeripesä silmin nähden ollut halki, mutta akustisen emission mittauksella siinä ei näkynyt mitään vikaa [15].

Prosessin tai laitteiden toiminnan ymmärtäminen on tärkeää, kun tulkitaan akustisen emission signaaleja. Seuraavassa on pari esimerkkiä, mitä akustisen emission signaaleissa voi näkyä: Vuonoksen tehtaalla olevan turbokompressorin yhden akustisen emission anturin antamasta signaalista oli nähtävissä muun muassa laadunvaihto tuotannossa. Kerran erään säiliön akustisen emission taso oli kasvanut voimakkaasti, jolloin luultiin, että jokin oli vialla. Myöhemmin paljastui sen johtuvan venttiilin normaalista toiminnasta eli sen kuristaessa virtausta.

## 14 SENSODEC 6S MONITORING SYSTEM

Tässä ja seuraavassa kappaleessa esitellään kahden eri kiinteää kunnonvalvontajärjestelmää toimittavan yrityksen järjestelmät. Niitä ei arvostella mitenkään vaan niiden ominaisuudet ja rakenne esitetään sellaisenaan. Johtuen saatujen materiaalien eroista, niiden esittelyt eivät ole rakenteeltaan ja sisällöltään samanvertaiset.

Metso Automationilta pyydettiin tarjous [33] online-kunnonvalvontajärjestelmästä, johon sisältyy juuri tähän insinööriyöhön liittyvät laitteet. Tässä kappaleessa on esitelty Erkki V. Jaatisen laatima järjestelmä Lahnaslammen rikastamolle. Järjestelmä kokonaisuudessaan sisältää anturit, kaapelit, räkit, analysointiasemat, järjestelmäverkon, tietokantapalvelimen, tehdasverkon ja ohjelmistot järjestelmän käyttöä varten. Metso toimittaa kunnonvalvontaan liittyvät komponentit, mutta asiakas itse hankkii järjestelmän käyttöön tarvittavat muut osat (tehdasverkko, PC). Kuvassa 35 on kaavio Lahnaslammen järjestelmästä [33].



Kuva 35. Sensodec 6S -järjestelmän layout [33]

Järjestelmää käytetään asiakkaan omalla PC:llä. Ohjelmiston käyttöä varten sen tulee täyttää seuraavat minimivaatimukset tai ehdot:

- Windows XP, 2000, NT tai 95 -käyttöjärjestelmä
- Pentium II prosessori 450 MHz ja 128 MB keskusmuistia
- 4 GB kiintolevy, CD- ja levykeasema
- Ethernet-kortti (RJ-45)
- 19/17 tuuman näyttö
- Näppäimistö ja hiiri
- Väritulostin.

Sensodec 6S -järjestelmä voidaan yhdistää jo olemassa olevaan TCP/IP-tehdasverkkoon (10 tai 100 Mb/s) tai muuhun tehtaalla olevaan käyttöverkkoon. Tämän avulla voidaan lisätä ylimääräisiä käyttäjäpisteitä, kuten kunnossapito tai tuotanto, samaan verkkoon. Liitännät tehdään parikaapeleilla (twisted pair), joissa on RJ-45 liittimet. Tarvittavat reitittimet, kytkimet tai vertaisverkkokomponentit hankkii käyttäjä. Kuvassa 36 näkyy etävalvonnan periaate.



Kuva 36. Etävalvonta [33]

Tietokantapalvelin (database server) on järjestelmän sydän ja sitä käytetään Windows NT 4.0 tai Windows 2000 -käyttöjärjestelmäpohjaisella laitteistolla. Tietokantana toimii Oracle V8.0 -ohjelma. Analysoinnit, jotka tehdään analysointiasemissa ja ala-asemissa, tallennetaan palvelimelle, josta käyttäjäohjelmisto (user interface software) lukee ne ja näyttää käyttäjille. Tietokantapalvelin sisältää nauha-aseman varmuuskopiointia varten, tarvittaessa modeemin, joka mahdollistaa kaukoanalysoinnin ja järjestelmätuen sekä yksikön joka ilmoittaa prosessinohjausyksikölle (PLC) uudesta hälytyksestä.

Tietokantapalvelin on yhdistetty analysointiasemiin parikaapeleilla jos niiden välinen etäisyys on korkeintaan sata metriä. Yli sadan metrin etäisyyksille käytetään joko valokaapelia tai langatonta yhteyttä (WLAN). Jos asiakas haluaa, voidaan analysointiasemat kytkeä myös tehtaan omaan valvontaverkkoon. Järjestelmätoimitukseen kuuluu: rakkiasennettavat hubit (HUB) tai kytkimet (SWITCH), kolme verkkoparikaapelia (HUB/FSM) ja 20 m välineparikaapeli (HUB/Database).

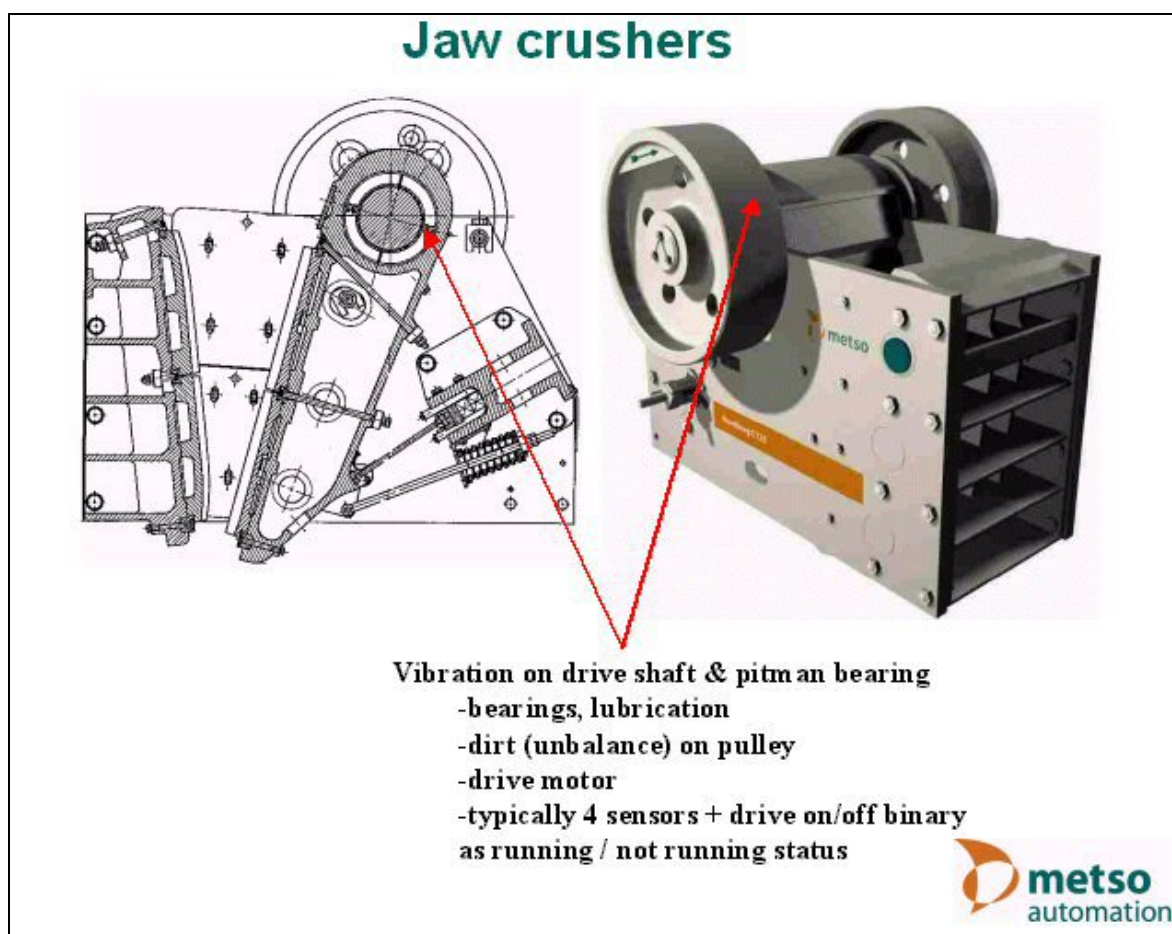
Analysointiasemat voidaan sijoittaa mitattavien koneiden läheisyyteen tai koota yhteen ristikytkentätilaan. Kenttäasennettavat kotelot on valmistettu joko haponkestävästä tai maalatusta teräksestä. Koteloon mahtuu yksi analysointiasema ja se voidaan varustaa jäähdyttimellä, jos se sijaitsee kuumassa ympäristössä. Kenttäasennettavan kotelon suojausluokka on IP 65. Ristikytkentäkotelo on valmistettu maalatusta teräksestä ja siihen voidaan asentaa kolme analysointi-asemaa. Kotelo sisältää myös tuulettimen, virtalähteen, verkkokomponentit ja paikat kaapeleille. Toimitus sisältää kolme analysointiasemaa:

- kenttäasennettavia sisältäen 40 I/O kanavaa
- mitat 380 \* 600 \* 350 mm
- kotelomateriaali maalattua terästä
- kotelo on suljettu, luukullinen ja sisältää tuulettimen
- suojausluokka IP 65
- tehontarve 0,2 kW, 230 V, 50Hz.



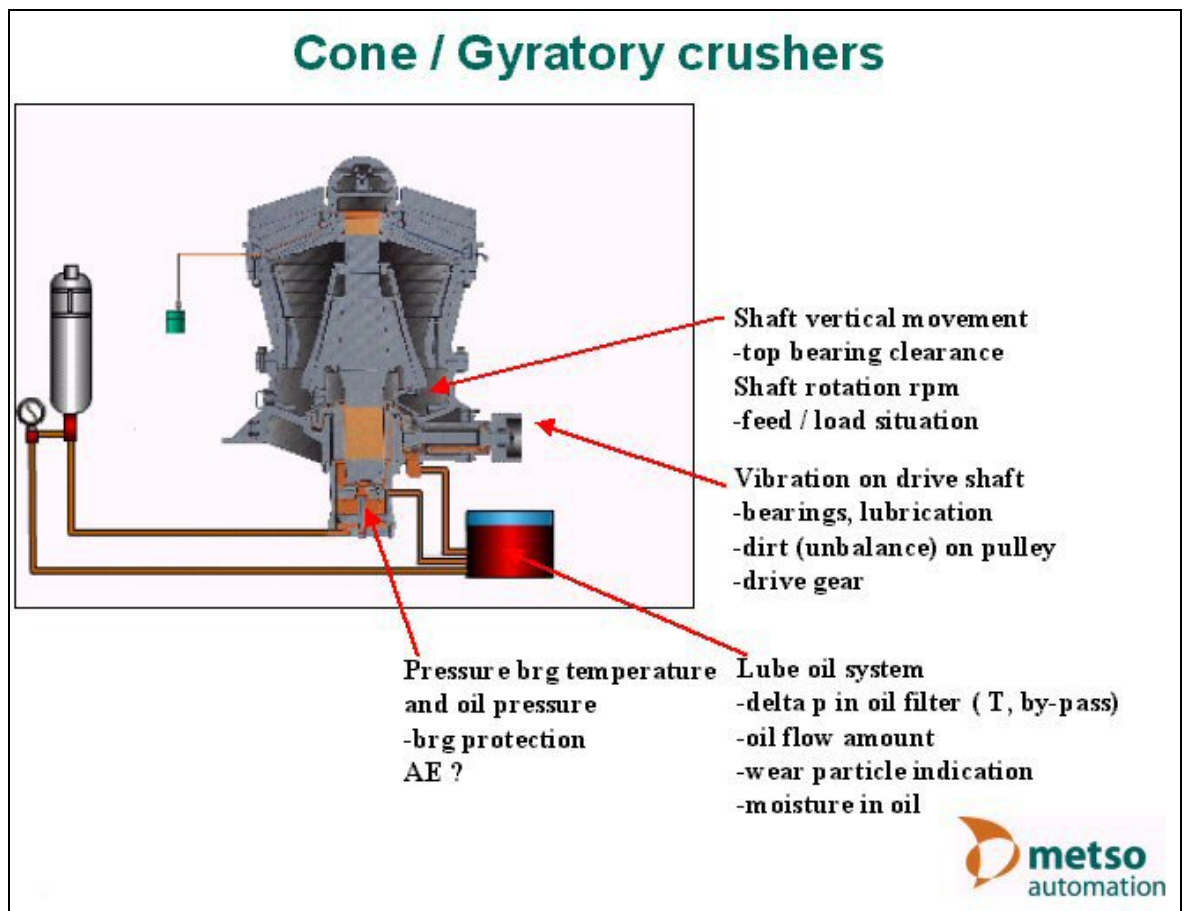
Anturit on suunniteltu mineraaliprosessi ympäristöön ja niiden suojausluokka on IP 66 ja IP 68. Anturit yhdistetään analysointiasemiin kuumuutta kestäväillä, suojaetuilla parikaapeleilla. Toimitus sisältää 1200 metriä teflonpinnoitteista kaapelia.

Leukamurskaimelle asennetaan neljä värähtelymittausanturia (RVT-120S) jokaiselle laakerille omansa. Moottorin valvonta toteutetaan samoilla antureilla molemmista moottorin laakereista. Lisäksi murskaimelle asennetaan induktiivinen triggeri-anturi (RTS-223R), jonka avulla mitataan murskaimen pyörimisnopeus. Triggeriä tarvitaan myös mittauksen liipaisuun, jos käytetään tahdistettua mittausta. Koska murskain sijaitsee omassa rakennuksessaan erillään rikastamosta, pituutta kaapelille saattaa tulla helposti yli 100 metriä. Näin ollen kaapelointi tulee tehdä joko valokaapelilla tai yhteys muodostetaan langattomasti (WLAN). Kuvassa 37 on esitetty tyypilliset leukamurskaimen valvontamenetelmät.



Kuva 37. Leukamurskaimen valvonta [33]

Kartiomurskaimen valvonta toteutetaan seuraavasti: Kaksi värähtelyanturia (RVT-120S) mittaa käyttöakselin rullalaakereiden värähtelyä ja kaksi moottorin laakereiden värähtelyä. Murskaimen kierrosnopeutta mitataan RTS-223R triggeri-anturilla. Murskaimen kanto- ja pallolaakera mitataan akustisen emission avulla. Anturit ovat Holroydin valmistamat. Kuvassa 38 on karamurskaimen tyypilliset valvontamenetelmät. Karamurskain eroaa hieman kartiomurskaimesta. Murskausakseli on karamurskaimessa yläpästä tuettu, mutta kartiomurskaimesta tuenta puuttuu.

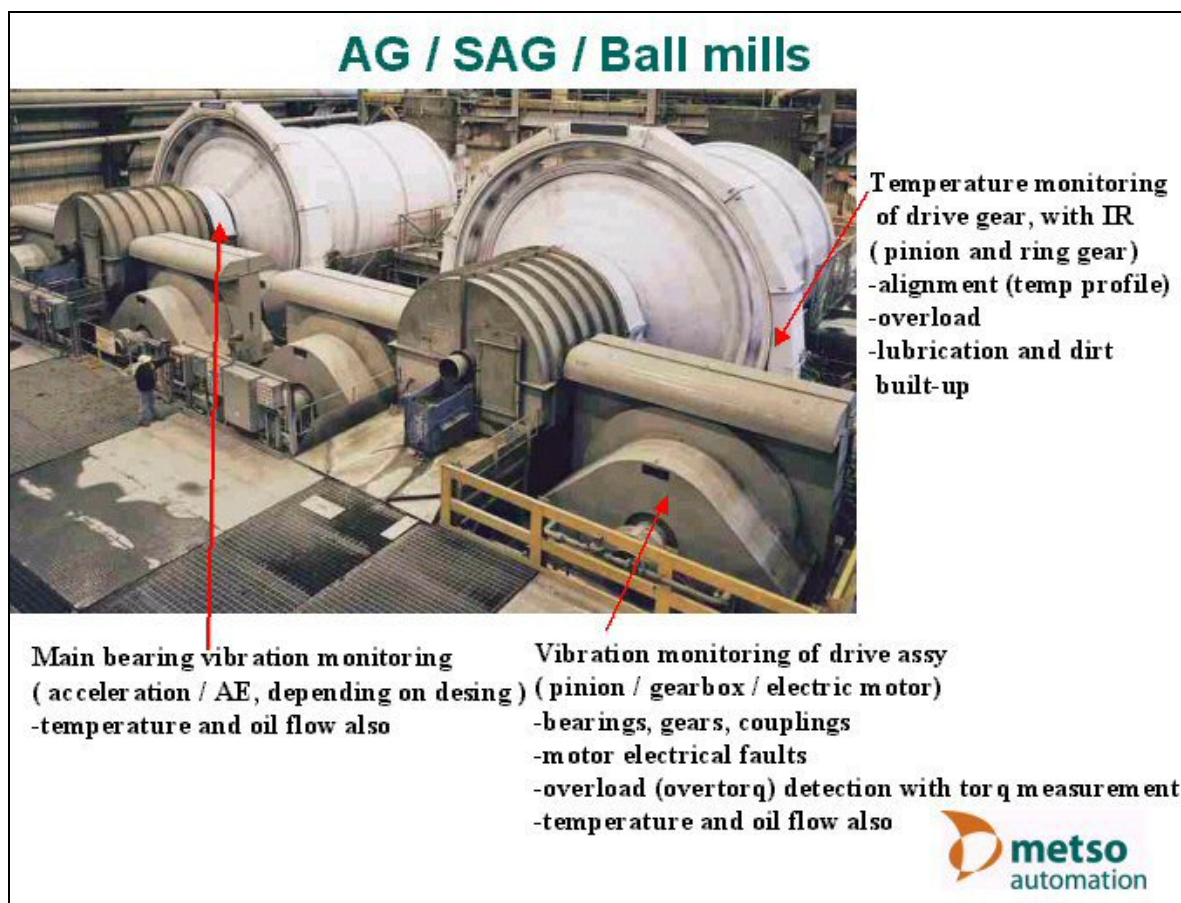


Kuva 38. Karamurskaimen valvonta [33]

Kuulamylyjen valvonnassa käytetään samoja antureita kuin murskaimilla. Myllyjen kannatinlaakereista mitataan sekä värähtelyä että akustista emissiota. Myös myllyjen pyörimisnopeutta mitataan triggereillä. Vaihteistoista ja moottoreista mitataan värähtelyt. Kuvassa 39 esitetään kuulamylyjen sekä niiden vaihteistojen ja moottoreiden valvontamenetelmiä. Vaihteistoissa värähtelyt mitataan kahdella värähtelyanturilla per laatikko. Kahdelle laakerille, jotka sijaitsevat vaihteiston



vastakkaisissa päissä, asennetaan anturit. Jäljelle jääneiden laakereiden vikataajuudet ovat erilaisia, koska jokainen laatikon kolmesta akselista pyörivät eri nopeudella, jolloin niiden valvonta voidaan suorittaa vaikka niillä ei omaa anturia olekaan. Tämä edellyttää sitä, että yhdenkään akselin molemmissa päissä ei saa olla samanlaista laakeria, jolloin niillä olisi identtiset vikataajuudet.

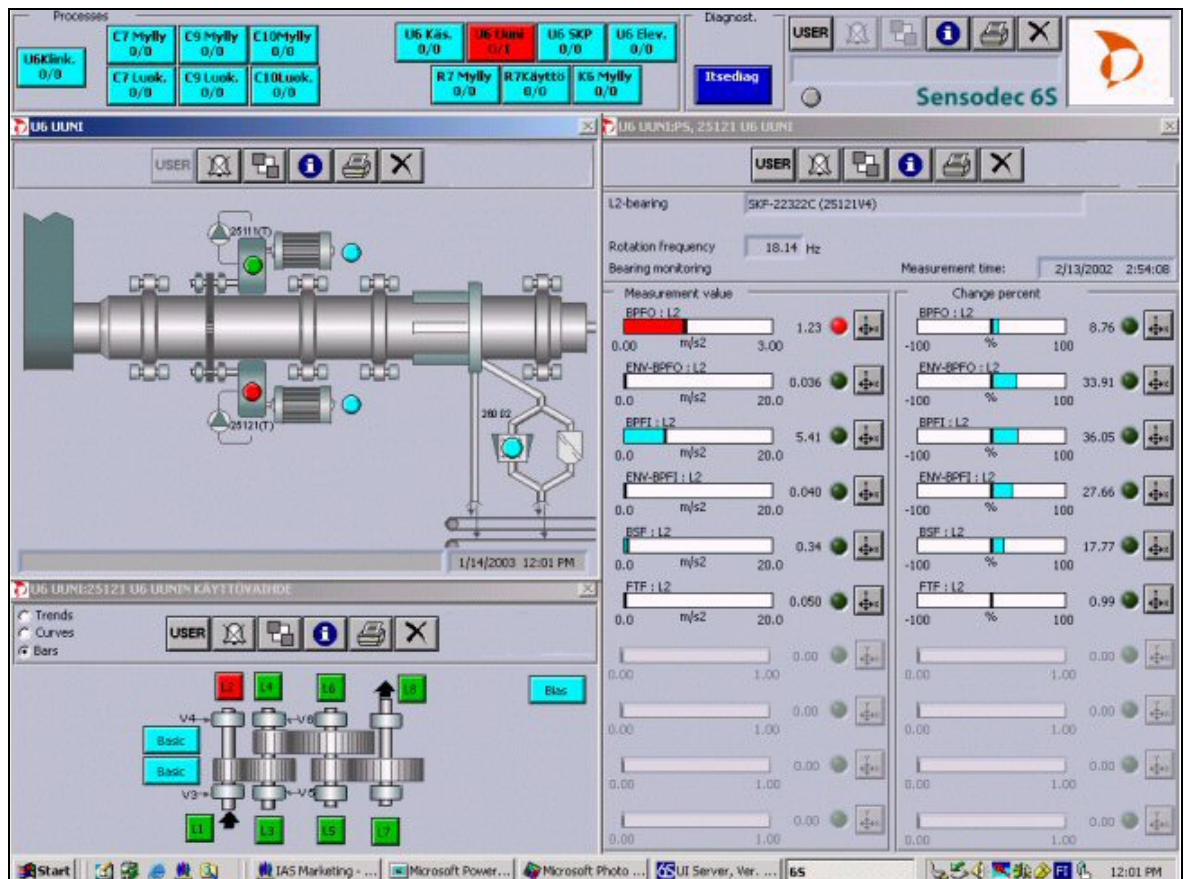


Kuva 39. Kuulamylyjien valvonta [33]

Järjestelmää käytetään Windows-pohjaisella 6S-ohjelmistolla. Sen avulla signaalia voidaan tutkia esimerkiksi aikatasoa, spektriä, trendiä ja akustista emissiota. Tarpeen vaatiessa muodostetaan verhoikäyrä tai jokin muu signaalinkäsittelymenetelmä, jonka avulla vika voidaan paikallistaa ja analysoida. Kuvassa 40 on näkymä ohjelmasta.

Seuraavassa on esimerkki ohjelman toiminnasta juuri kuvan näkymän tapahtumasta: Kuvassa (kuva 40) on erään uunin tarkastelu käynnissä. Laitteet on ryhmitelty vasemmalle ylös laatikoihin, jolloin jonkin anturin antama hälytys muuttaa

laatikon sinisestä punaiseksi. Klikkaamalla punaista laatikkoa aukeaa näkymä uunista, jonka vaihteiston eräs anturi on punainen. Edelleen klikkaamalla sitä, aukeaa alas kuva vaihteistosta, josta selviää, mikä sen antureista hälyttää. Klikkaamalla hälyttävää anturia aukeaa kuvan oikeaan osaan tarkastelunäkymä, jonka kautta voidaan katsoa värähtelyarvot. Sitä kautta anturin antamaa signaalia voidaan analysoida eri työkaluilla kuten aikataso, trendi, verhokäyrä jne.



Kuva 40. 6S-ohjelman käyttöikkuna

Online-kunnonvalvontajärjestelmän toimitus ei sisällä pelkästään fyysisiä laitekonnaisuuksia vaan siihen kuuluu myös asennusohjeistus, asennuksen valvonta, käyttöönotto ja koulutus. Kolme päivää asennuksen aloittamisen yhteydessä opastetaan asentajille laitteiden oikeaa sijoitusta ja työmenetelmiä. Viikon ajan asennuksen lopussa tarkastetaan kytkentöjä ja valvotaan asentamista sekä suoritetaan järjestelmän käynnistäminen.

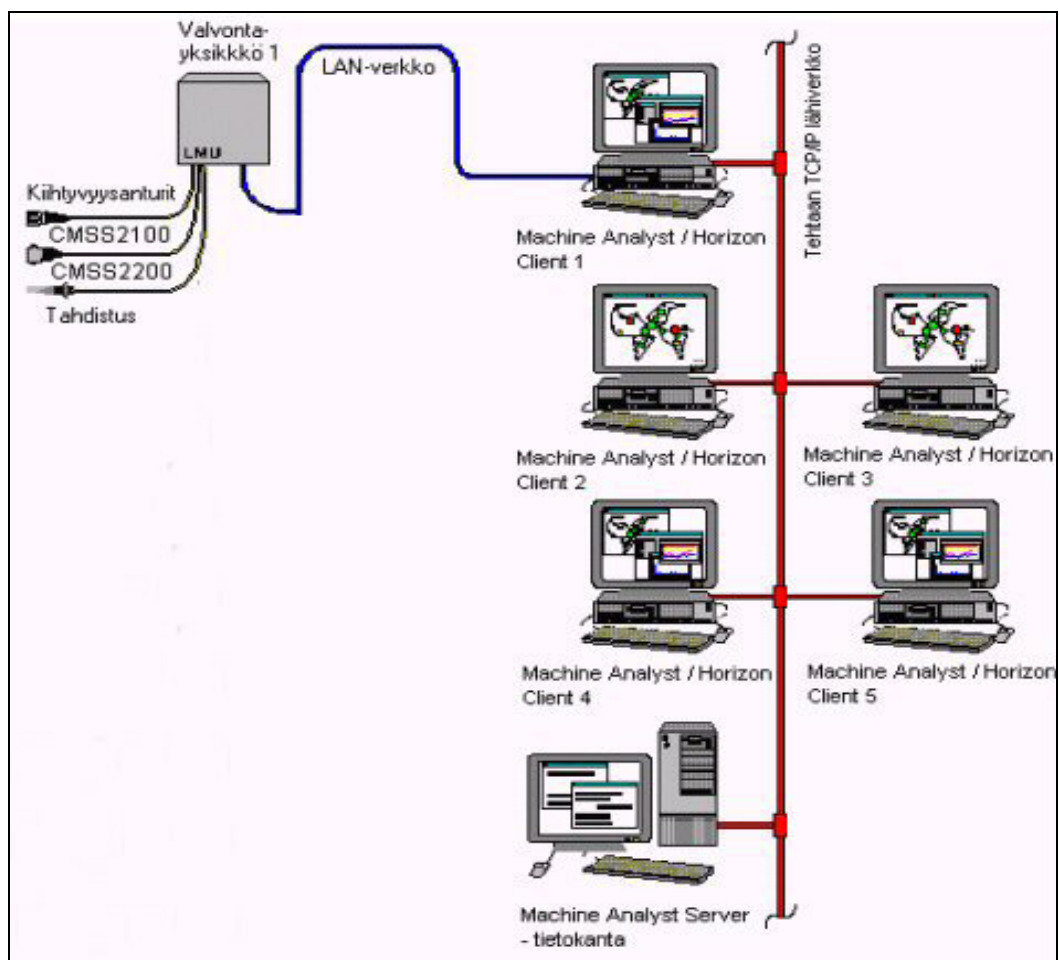
Kun järjestelmä on otettu käyttöön, seurataan, että järjestelmä toimii oikein ja tarvittaessa tehdään korjauksia. Toimittajan järjestelmäasiantuntija seuraa viikon verran asiakkaan oman asiantuntijan kanssa järjestelmän toimintaa ja sen lisäksi poistaa vääriä hälytysarvoja sekä säätää hälytysrajoja kun mittaussignaaleja saadaan järjestelmästä. Tämän lisäksi tehdään raportti mittauspisteistä, jotka tarvitsevat erikoishuomiota käynnistyksen jälkeen, jotta vältetään tuotanto-ongelmilta tai mekaanisilta vaurioilta.

Kun järjestelmä on käyttökunnossa, toimittaja kouluttaa huolto- ja käyttöhenkilöstöä tehtaalla. Koulutus kestää noin neljä päivää. Tämän lisäksi voidaan järjestää koulutusta järjestelmän pääkäyttäjille tai omistajille toimittajan tiloissa. Tämä koulutus järjestetään ennen järjestelmän toimitusta lopputestausten aikana. Ideaalinen kokoonpano tähän koulutukseen olisi yksi henkilö instrumentoinnista, yksi tuotannosta ja yksi mekaanisen kunnossapidon puolelta.

## 15 SKF MACHINE ANALYST

SKF:n tarjous kunnonvalvontajärjestelmästä [34] (Machine Analyst) sisältää toiminnot eri koneen osien värähtelyvalvontaan, jotka mahdollistavat pyörivien koneiden vikojen havaitsemisen ja erilaisten vikatyypin erottelun. Järjestelmän avulla voidaan tutkia vikojen vakavuusasteita ja tällä tavalla tehostaa suunniteltuja kunnossapitoseisokkeja sekä varmistaa häiriötön tuotanto suunnittelemattomien seisokkien määrää vähentämällä.

Kunnonvalvontajärjestelmä kattaa 32 värähtelymittauspistettä sekä viisi tahdistusmittauspistettä. Mittausasetukset tehdään tilaajalta saatujen perustietojen avulla. Järjestelmän toimittaja tekee alustavan hälytystasoasettelun yhdessä tilaajan kanssa. Kuvassa 41 on esitetty Machine Analyst kunnonvalvontajärjestelmän osat.



Kuva 41. SKF Machine Analyst -kunnonvalvontajärjestelmä

Machine Analyst -ohjelman käyttöä varten pitää olla viisi työasematietokonetta, jotka tilaaja hankkii ja niiden vähimmäisvaatimukset tehokasta käyttöä silmällä pitäen ovat:

- Suositus Pentium III 600 MHz:n suoritin tai suurempi (minimissään Pentium II 300 MHz).
- Muistia 256 MB (minimissään 128 MB).
- 17 – 19 tuuman näyttö
- Suositus 4 GB kovalevytilaa asennettaessa Machine Analyst -ohjelmisto, Oracle client -ohjelmisto.
- CD-ROM-asema asennusta varten
- Microsoft Windows 2000 (tai uudempi), Microsoft Windows NT 4.0 Service Pack 3 (tai uudempi).

Tilaaja vastaa Machine Analyst -verkkopalvelimen hankkimisesta, jonka vähimmäisvaatimukset ovat:

- Suositus Pentium IV 1 GHz
- Muistia 1024 MB RAM
- CD-ROM-asema ohjelmien asennusta varten
- 100 GB:n kovalevy asennettaessa Machine Analyst -ohjelmisto, Oracle tietokantaohjelmisto ja demotietokanta. Lisäksi tulisi olla tarpeeksi tilaa mittauksen säilyttämiseen (koko riippuu mitattavien pisteiden määrästä).
- Varmuuskopiointijärjestelmä
- Yksi vapaa PCI paikka LMU LAN kortille ja toinen varalle
- Kaksi verkkoadapteria
- Microsoft Windows 2000 (tai uudempi), Microsoft Windows NT 4.0 Service Pack 3 (tai uudempi).



Kunnonvalvontajärjestelmän anturit kaapeloidaan teflonpinnoitteisella parikaapelilla valvontayksikköön (LMU), josta värähtelymittaukset siirretään tehdasverkon avulla kunnonvalvontajärjestelmän on-lineverkkopalvelimelle. Palvelimella on koko kunnonvalvontajärjestelmän tietokanta, mistä käyttäjä hakee mittaustiedot tehdasverkon välityksellä. Tietokantana toimii Oracle-ohjelmisto.

Valvontayksikkö on kooltaan 600 \* 600 \* 210 mm ja kotelo on valmistettu teräksestä (kuva 42). Yksikkö voidaan sijoittaa lähelle konetta hyvän suojauksen (IP 65) ansiosta, jolloin kaapelin pituus pysyy lyhyenä. Yksikköön pystytään kytkemään 32 anturituloa ja 8 tako- eli tahdistustuloa. Mittaustiedot eivät katoa sähkökatkoksenkaan takia, koska yksikkö tallentaa mittaukset muistiin ja yksikön sisältämä automaattinen palautustoiminto palauttaa sen käyttökuuntoon katkoksen loputtua. Yksikkö ei ole riippuvainen muista osista vaan se pystyy analysoimaan antureilta tulevat signaalit ja suorittamaan hälytykset itsenäisesti.



Kuva 42. SKF-valvontayksikkö (Local Monitoring Unit)

Kiihtyvyyssanturit (kuva 43) ovat kooltaan pienempiä kuin aikaisemmat mallit ja ne on suunniteltu juuri kiinteään kunnonvalvontajärjestelmään kytkettäväksi. Ne ovat korroosion kestäviä ja hermeettisesti suljettuja, jolloin ne voidaan asentaa kosteisiin olosuhteisiin. Antureiden herkkyys on 100 mV/g ja käyttölämpötila-alue  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



*Kuva 43. SKF CMSS 2100 -kiihtyvyyssanturi*

Anturit asennetaan seuraavasti: Leukamurskaimen kaikille neljälle laakerille asennetaan oma kiihtyvyyssanturinsa. Kartiomurskaimen käyttöakselin rullalaakerit valvotaan kiihtyvyyssantureilla. Kuulamylyjen kannatinlaakereille asennetaan värähtelymittausanturit ja vaihdelaatikkojen akselien laakereille jokaiselle yksi anturi. Kiihtyvyyssantureiden lisäksi jokaiselle koneelle (murskaimet ja kuulamylyt) asennetaan tahdistusta varten magneettiset tahdistusanturit. Tähän tarjoukseen ei tullut moottoreiden valvontaa, koska valvontayksikön 32 anturituloa asettivat ylärajan mittauspisteiden määrälle. Valvontapisteiden määrää voidaan lisätä myöhemmin tarpeen vaatiessa, mutta näin alussa riittää edellä mainitut mittaukset.

## 16 TYÖN TULOKSET

Tämän työn ensimmäinen tulos on oikeastaan työn ulkopuolinen. Tutkittaessa laitteiden vikahistoriaa tuli ilmi niiden puutteellisuus. Niitä oli täytetty niin sanotusti ”miten sattuu”, joten niistä saatavaa hyötyä ei voitu käyttää täysin hyväksi. Tämän takia Mondo Mineralsin kaikilla tehtailla kunnossapitohenkilöstölle järjestettiin vikahistorian kirjoituskurssi. Tämän avulla kirjoituskäytäntöjä pyrittiin yhtenäistämään, jolloin vikahistoriasta saadaan täysi hyöty.

Talkin valmistusprosessista ei ollut aiemmin sanallista kuvausta vaan pelkkä prosessikaavio. Jotta prosessinkulun voisi sivullinenkin ymmärtää, tehtiin prosessi-kaavion perusteella kuvaus, joka on esitetty työn alussa. Prosessikaavion seuraaminen helpottuu kirjoitetun kuvauksen avulla.

Jotta laitteiden kunnonvalvonta kannattaa, pitää mittausmenetelmien olla oikeat. Niiden valintaa on perusteltu muualla teollisuudessa tehtyjen mittausten ja kokeiden avulla, joita pystyi soveltamaan myös rikastamon laitteisiin. Työssä onkin suositeltu (luku 12), mitä menetelmiä voitaisiin käyttää tehokkaasti rikastamon tiettyjen laitteiden kunnonvalvonnassa.

Kunnonvalvontaa tarjoavilta yrityksiltä pyydettiin tekemään tarjoukset heidän järjestelmistä. Tarjoukset saatiin ja ne on esitelty tässä työssä. Tarjouksien avulla pääsee vertailemaan molempien ominaisuuksia ja se helpottaa päätöksentekoa niiden hankinnan suhteen.



## 17 YHTEENVETO

Online-kunnonvalvonta on arkipäivää paperikoneiden kunnossapidossa. Suurien seisakkikustannusten takia seisakkien pitää olla suunniteltuja ja suunnittelemattomien seisakkien määrä on minimoitava. Tämä ajattelutapa on pikkuhiljaa leviämässä myös muun teollisuuden piiriin. Rikastamoilla kunnonvalvonta on tapahtunut lähinnä kannettavilla mittalaitteilla tehdyin mittauksin. Siirtyminen jatkuvaan mittaukseen on alkanut, koska sillä vikojen havaitseminen on nopeaa, trendin muodostaminen automaattista, työvoiman tarve vähenee, muutosten havaitseminen tehokasta ja se helpottaa vaikeasti mitattavien kohteiden valvontaa. Hinta on monesti se tekijä, joka jarruttaa kiinteän järjestelmän hankintaa. Kuitenkaan aina ei osata suhteuttaa, miten suuret tappiot yhden suunnittelemattoman seisakin myötä syntyy.

Aiheena online-kunnonvalvonta rikastamolla on uusi. SKF:llä ja Metsolla on valmiit konseptit rikastamoiden laitteiden kunnonvalvontaan, mutta Suomessa niitä ei ole käytössä juurikaan. Tämä lisäsi työn haastavuutta, koska kirjallisuudesta ei löytynyt niihin tehtyjä mittauksia. Tämä motivoi työn tekoa, koska se on tavallaan päänavaajana muille samanlaisille projekteille Suomessa. Periaatteessa rikastamoidenkin laitteet ovat aivan tavallisia pyöriviä koneita, joten niihinkin pätee aivan samat säännöt kuin muihinkin teollisuuden käyttämiin laitteisiin. Suunnitellessa rikastamon laitteiden kunnonvalvontaa, täytyi etsiä mittauksia joita pystyi soveltamaan rikastamon kohteisiin. Niitä löytyikin melko hyvin ja uskon, että niiden avulla olen pystynyt löytämään oikeat kunnonvalvontamenetelmät ja perustelemaan niiden valintaa.

Koska työhön kuuluneet laitteet ovat kaikki toimintaperiaatteiltaan erilaisia, lisäsi sekin työn vaikeusastetta. Jotta oikeat mittausmenetelmät voi perustella, pitää ymmärtää koneen rakenne ja toiminta. Tässä autoinkin paljon monet tutustumiskerrat laitteiden luona ja piirustusten ja manuaalien tutkiminen. Tosin on myönnettävä, että kartiomurskain suljetun rakenteensa takia on lievä mysteeri edelleen. Koska työn alussa aihepiiriin kuului enemmän laitteita pitkin talkin valmistusprosessia, tuli sekin tutummaksi, kuin jos työ olisi heti rajautunut koskemaan vain työhön päätyneitä laitteita. Ylimääräinen selvitystyö muihin laitteisiin kuten puhaltimiin

ja sulkusyöttimeen lisäsi tiedon määrää, jota tarvitsi talkin valmistusprosessia hahmottaessa.

Työn tekoa auttoivat paljon ABB Servicen kunnossapitohenkilöt. Heidän kauttaan suurin osa tiedoista, joita tarvittiin tämän työn teossa, saatiin kerättyä. Haastattelut ja kierrokset liittyen prosessiin ja sen laitteisiin, auttoivat kokonaiskuvan muodostamisessa ympäristöstä, johon työ tehtiin. Laitteiden rakenne ja niihin tulleet viat eivät olisi selvinneet pelkkien papereiden tutkimisella, vaan sekä käyttöettä kunnossapitohenkilöstön haastatteluilla oli suuri merkitys. Olikin ilahduttavaa huomata, miten heillä oli aikaa ja halua auttaa tämän työn teossa.

Kiinteiden mittausjärjestelmien toimittajien yhteistyö oli merkittävä osa tätä työtä. Heiltä ei tarvinnut kaivella tietoja, vaan he lähettivät niitä aina kun pyysi. Myös sähköpostilla ja puhelimella tehtyihin yhteydenottoihin vastattiin suorastaan hämmästyttävän nopeasti.

## LÄHDELUETTELO

1. Mondo Mineralsin ilmoitus lehdessä. Tekninen Uratie, 29.1.2004.
2. Lahnaslammen tehtaan henkilöstöpäällikkö Eero Haverisen haastattelu, 11.2.2004.
3. Sähköpostikeskustelu rikastamonmestari Seppo Saastamoisen kanssa 19.11.2003.
4. Lukkarinen, T. Mineraalitekniikka 1. Insinööritieto Oy ,1984. ISBN 951-794-411-X.
5. Lukkarinen, T. Mineraalitekniikka 2. Insinööritieto Oy, 1987. ISBN 951-795-147-7.
6. Pihkala, J. Prosessitekniikan yksikköprosessit. 1998 2. painos, Juhani Pihkala ja Opetushallitus. Helsinki: Hakapaino Oy, 2001. ISBN 952-13-0268-2.
7. Järviö, J. Kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys Ry. Hamina: Oy Kotkan Kirjapaino Ab, 2004. ISBN 951-97101-6-7.
8. Aalto, H. Kunnossapidon perusteet. Kunnossapitoyhdistys Ry. Hamina: Kotka-set, 1994. ISBN 951-97101-0-8.
9. Nohynek, P. , Lumme, V-E. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. Kunnossapitoyhdistys Ry. Loviisa: Painoyhtymä, 1996. ISBN 951-97101-2-4.
10. PSK 5705. Prosessiteollisuuden standardisoimiskeskus ry, 1997.
11. SPM-instrumentin kotisivut. Luettu 20.11.2003. [WWW-dokumentti] [<http://www.spminstrument.fi/>](http://www.spminstrument.fi/)
12. Villanen, A. , Luukkanen, P. Liukulaakereiden kunnonvalvonta. Kunnossapitokoulu nro 44. pdf-dokumentti.
13. Kerkkänen, K. Kuoppala, R. Koneiden vikadiagnosoinnin menetelmiä. VTT tutkimuksia 700. Espoo: VTT Offsetpaino, 1990. ISBN 951-38-3784-X. ISSN 0358-5077.
14. Kuoppala, R. , Leskinen, R. , Leppämäki, E. Pyörivien koneiden käynnin-aikainen kunnonvalvonta. VTT tutkimuksia 596. Espoo: VTT Offsetpaino, 1986. ISBN 951-38-2585-X. ISSN 0358-5085.
15. Luoto, R. Hitaasti pyörivien laitteiden kunnonvalvonta. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 2003.
16. Holroydin kotisivut. Luettu 15.10.2003. [WWW-dokumentti] [<http://www.holroyd.com/>](http://www.holroyd.com/)

17. Suontama, K. , Korpi, A. , Manninen, A. , Rinkinen, J. Öljyn kunnonvalvonta osana tuotantolaitteiden käynnissäpitoa. Kunnossapitokoulu nro 43. pdf-dokumentti.
18. Tunkkari, I. Sähkömoottorien kunnonvalvonta. LTTK, sähkötekniikan laitos, 1998. pdf-dokumentti.
19. Lindh, T. , Partanen, J. Sähkökäyttöjen mittaavan kunnonvalvonnan menetelmiä. Tutkimusraportti. LTTK, sähkötekniikan laitos, 1999. pdf-dokumentti.
20. Ky Murskauskoneen valmistaman leukamurskaimen käyttö- ja huolto-ohjeet.
21. Kunnossapitohenkilö Uljas Juntusen kanssa tehty tutustuminen laitteisiin ja prosessiin 10.12.2003.
22. Morgårdshammarin valmistaman kartiomurskaimen käyttöohjeet.
23. Keskustelut ABB Servicen Lahnaslammen tehtaan päällikön Mikko Hutun kanssa 10.12.2003.
24. Acutest Oy. Pyörivien laitteiden ACM - monitorointi ACM - Optimatic systeemillä. pdf-dokumentti.
25. Acutest Oy. Leukamurskaimen akustisen emission valvonta. pdf-dokumentti.
26. Keskustelut värähtelymittausta opettavan Vilho Shnoron kanssa 12.12.2003.
27. Kuoppala, R. Leskinen, R. Leppämäki, E. Mittausmenetelmien sovelluksia koneiden kunnonvalvonnassa. VTT tutkimuksia 418. Espoo: VTT Offsetpaino, 1986. ISBN 951-38-2597-3. ISSN 0358-5077.
28. Acutest Oy. Kuulamylyn akustisen emission valvonta. pdf-dokumentti.
29. PSK 5702. Prosessiteollisuuden standardisoimiskeskus ry, 1997
30. Tutustumiskäynti Vuonoksen tehtaalla ja keskustelut SKF:n myyntipäällikön Janne Närhen kanssa 14.1.2004.
31. Erkki Kovalaisen, työn valvoja, 18.12.2003 lähettämät kuvat.
32. Arto Hiltusen, Rautapari Oy:n mittaaja, suorittamat mittaukset 14.1.2004.
33. Erkki V. Jaatisen, Sensodecin edustaja, 5.2.2004 lähettämä tarjous.
34. Janne Närhen 16.2.2004 lähettämä tarjous.

## LIITELUETTELO


- Liite A Mittausmenetelmien soveltuvuus erityyppisten vikojen havainnointiin
- Liite B Vianhakutaulukko
- Liite C Koneiden värähtelyjen arvosteluperusteet
- Liite D Öljynäytteenotto apuvälineitä
- Liite E/1 Kartiomurskaimen vika-vaikutusanalyysi
- Liite E/2 Kuulamylyn vika-vaikutusanalyysi
- Liite E/3 Leukamurskaimen vikavaikutusanalyysi
- Liite F Eri menetelmillä saatuja tuloksia laakerikokeessa

## Mittausmenetelmien soveltuvuus erityyppisten vikojen havainnointiin [14]

Vikatyyppi	MENETELMÄ															
	Kokonaistaso	Spektrianalyysi	Akustinen emissio	Kurtosis	Crest factor	SPM	Kepstrianalyysi	Öljyanalyysi	Kulumishiukkasanalyysi	Hiukkaslaskenta	Magneettitulpat	Lämpötilamittaus	Akselin ratakäyrä	Stroboskooppi	Ultraäänimittaus	Ääni
Epätasapaino	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
Asennusvirhe	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-
Vierintälaakerit	x	x	o	x	x	1	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x
Liukulaakerit	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x	1	-	x	-
Hammaspyörät	x	1	o	o	o	x	1	x	x	x	x	-	-	-	x	x
Resonanssi	x	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	x
Kavitaatio	x	x	x	o	o	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x
Mek. välykset	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-
Käyrä akseli	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
Sähk. epätasap.	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Öljykalvon pyörteily	x	1	-	-	-	-	-	o	-	-	-	-	1	-	-	-
Kitka	x	x	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x	-	x
Vialliset käyttöhihnat	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Likaantumisen	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-
Öljyn puhtaus	-	-	-	-	-	-	-	1	x	x	x	-	-	-	-	-
Kulumisvoimakkuus	-	-	-	-	-	-	-	x	1	x	x	-	-	-	-	-
Puutteellinen voitelu	x	x	x	-	o	1	-	x	x	-	-	x	x	-	x	x

1 = soveltuu yleensä  
 x = soveltuu rajoituksin  
 o = vaatii tapauskohtaisen selvityksen  
 - = ei käytetä

## Vianhakutaulukko [14]

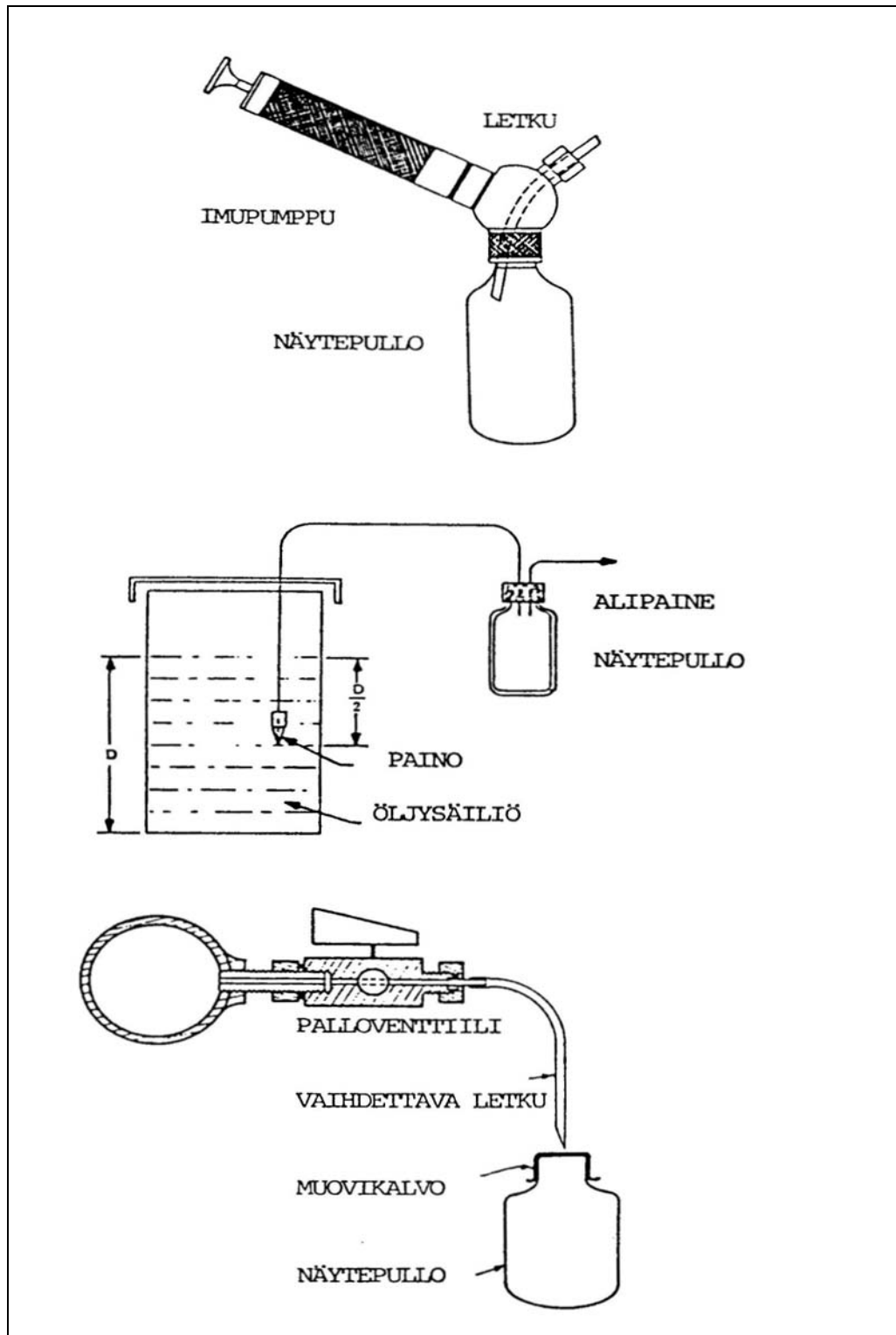
SY	VOIMAKKUUS	TAAJUUS	VAIHE	HUOMIUTUKSIA
1	Epätasapaino	1 x n	Vaihe osoittaa yhtä vakaata vertailumerkkiä.	Yleisin syy värähtelyihin
2	Kytäinen tai laakerin asennusvirhe	Tavallisesti 1 x n Usein 2 x n Joskus 3-4 x n	Yksi, kaksi tai kolme vertailumerkkiä	Parhaiten tunnistettavissa suuren aksiaalivärähtelyn johdosta. Käytä mittakelloa tai muita mittalaitteita vian selvittämisessä. Jos koneessa on liukulaakeri eikä kytkimessä ole asennusvirhettä, niin tasapainota roottori.
3	Käyrä akseli			
4	Viallinen kuula- tai rullalaakeri	Yksityisten vierintäkelinten avaruuskäytöt. Myös erittäin suuritaajuisista värähtelyistä (20 - 60 kHz)	Epävakaa	<p>Kosketuskulma <math>\beta</math></p> <p>Syysystaajuus <math>f(\text{Hz})</math></p> <p>Ulkokehän vaurioitunut</p> $f = \frac{N}{2} n_r (1 - \frac{d}{D} \cos \beta)$ <p>sisäkehän vaurioitunut</p> $f = \frac{N}{2} n_r (1 + \frac{d}{D} \cos \beta)$ <p>Kuula vaurioitunut</p> $f = \frac{D}{d} n_r [1 - (\frac{d}{D})^2 \cos^2 \beta]$ <p><math>N</math> on kuulien tai rullien lukumäärä rivin kohti. <math>n_r</math> on sisä- ja ulkokehän pyörimistaajuuksien erotus.</p> 
5	Viallinen liukulaakeri	1 x n	Yksi vakaa vertailumerkki	Vertaa akselista ja laakeripesästä mitattuja arvoja toisiinsa.
6	Mekaaninen väly	Verrannollinen välykseen	Kaksi vertailumerkkiä. Tavallisesti jonkin verran epävakaa	Esiintyy tavallisesti yhdessä epätasapainon ja/tai asennusvirheen kanssa.
7	Säteilaakerin välyt pesä	n/2 tai n/3		Väljyys esiintyy yleensä vain kylmintöpeuksilla ja -lämpötilassa. Esim. turbiinit.
8	Kuluneet hammaspyörät	Alhainen	Hyvin korkea. Hammasluku x n ja sen monikerrat	Osoittaa useita vertailumerkkejä. Epävakaa
9	Resonanssi	Suuri	Kriittinen pyörimistaajuus	Värähtely kasvaa voimakkaasti lähestyessä kriittistä pyörimistaajuutta.
10	Vialliset käyttödihnat	Säännötön tai sykkivä	1, 2, 3 & 4 x hihnojen kierrostaajuus	Yksi tai kaksi vertailumerkkiä, jotka ovat tavallisesti epävakaita
11	Kitka	Vaihtelee	Jatkuva kitka: useita eri taajuuksia Ajoittain kitka: 1 tai 2 x n	Epävakaa
12	Hydrauliset aerodynaamiset voimat	Yleensä alhainen	1 x n tai tuuletin tai jaksupyörän siipien lukumäärä x n ja monikerrat	Epätavallinen häiriön syy lukuunottamatta resonanssitapausta
13	Öljykalvon pyörtely ja rikkoutuminen	Vaihtelee	Hieman alle puolet akselin pyörimistaajuudesta (0,42 - 0,48) x n	Epävakaa
14	Sähköinen epätasapaino	1 x n tai 1 tai 2 x synkronistaajuus	Yksi tai kaksi pyörivää merkkiä	Jos värähtelyn voimakkuus heikkenee äkillisesti, kun virta katkaistaan, syy on sähköinen.
15	Elastaiset massavoimat	1, 2 & korkeampia kertalukuja x n		Luentaista mäntäkoneille, voidaan pienentää vain rakennetta tai alustan eristystä parantamalla.
16	Epäkeksiset akselitpit	Tavallisesti pieni	1 x n	Yksi merkki
				Moottoreissa ja generaattoreissa värähtely häviää, kun virta katkaistaan. Vaihteissa värähtely on voimakkainta hammaspyörän keskiviivan suunnassa. Jos vika on pumpussa tai puhaltimessa, yritä tasapainottaa.

## Koneiden värähtelyjen arvosteluperusteet [14]

Nopeuden tehollisarvo mm/s	45	Ei sallittu	Ei sallittu	Ei sallittu	Ei sallittu
	28				Juuri sallittavissa
	18	Ei sallittu	Ei sallittu	Ei sallittu	Juuri sallittavissa
	11,2				Juuri sallittavissa
	7,1	Ei sallittu	Ei sallittu	Ei sallittu	Sallittu
	4,5				Juuri sallittavissa
	2,8	Ei sallittu	Ei sallittu	Ei sallittu	Sallittu
	1,8				Juuri sallittavissa
1,12	Ei sallittu	Ei sallittu	Ei sallittu	Hyvä	
0,71				Hyvä	
0,45	Ei sallittu	Ei sallittu	Ei sallittu	Hyvä	
0,28				Hyvä	
0,18	Hyvä	<i>Keskikokoiset koneet 15–75 kW tai erityisellä alustalla 300 kW asti.</i>	<i>Suuret, jäykällä ja raskaalla alustalla olevat koneet. Alustan resonanssitaajuus suurempi kuin koneen pyörimisnopeus.</i>	<i>Suuret koneet, joiden pyörimisnopeus on suurempi kuin alustan resonanssitaajuus.</i>	
	<b>Ryhmä K</b>	<b>Ryhmä M</b>	<b>Ryhmä G</b>	<b>Ryhmä T</b>	



## Öljynäytteenotto apuvälineitä [14]



## Kartiomurskaimen vika-vaikutusanalyysi

VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSI							Tekijä:	
Osapro sessi							Päiväys	
Laite	Kartiomurskain	Toiminto						
Osa	Vika						Vian vaikutus	Kunnossapito-
	Ilmeneminen	Viottumistapa	Vian syy	Vikaväli	Kapasiteetti	Laatuun		toimenpide
<b>pallolaakeri</b>	äänivärähtely	kuluminen	pöly			suuri	suuri	vaihto
	äänivärähtely	kuluminen	huono voitelu			suuri	suuri	vaihto
	äänivärähtely	kuluminen	tukos			suuri	suuri	vaihto
<b>vuoraukset</b>	kysy urpolta	kuluminen	käyttö			suuri	suuri	vaihto
<b>kartion akseli</b>	äänivärähtely	kuluminen	pöly			suuri	suuri	vaihto
	äänivärähtely	kuluminen	huono voitelu			suuri	suuri	vaihto
<b>hammaspyörät</b>	värähtely	kuluminen	huono voitelu			suuri	suuri	vaihto
	värähtely	kuluminen	lika			suuri	suuri	vaihto
	värähtely	kuluminen	kuormitus			suuri	suuri	vaihto
<b>käyttöakseli</b>	värähtely	taipuma/murtuma/pintavaurio	laakerivaurio			suuri	suuri	vaihto
<b>käyttöakselin laakerit</b>	äänivärähtely	kuluminen	huono voitelu			suuri	suuri	vaihto
<b>kannatinlaakerit</b>	äänivärähtely	kuluminen	huono voitelu			suuri	suuri	vaihto
<b>tiivistysrenkas</b>	vuoto	kuluminen	käyttöpuhaluksen puute			suuri	suuri	vaihto

## Kuulamylyn vika-vaikutusanalyysi

Osapro sessi		VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSI					Tekijä:		
Laite	Kuulamw/ly	Toiminto				Päiväys			
Osa	Vika					Vian vaikutus			
	Ilmeneminen	Vioittumistapa	Vian syy	Vikaväli	Koliteen toimintaan teettiin	Laatuun	Kunnossapito-	toimenpide	
<b>Kannatinlaakerit</b>	Ei pyöri	Leikkaa kiinni	Voitelun puute		Suuri	Suuri	Laakerin vaihto		
	Lämpötilavärähtely	Väsyminen	Käyttövikä		Suuri	Suuri	Laakerin vaihto		
	Lämpötilavärähtely	Väsyminen	Epätasapaino		Suuri	Suuri	Laakerin vaihto		
	Lämpötilavärähtely	Väsyminen	Ylikuormitus		Suuri	Suuri	Laakerin vaihto		
	Lämpötilavärähtely	Hampaat kuluu	Voitelun puute		Suuri	Suuri	Laakerin vaihto		
<b>Hammaskelähä</b>	Lämpötilavärähtely	Hampaat kuluu	Voitelun puute		Suuri	Suuri	Hammaskelähän kääntö		
		Hampaat kuluu	Voitelun puute		Suuri	Suuri	Pinionin vaihto		
<b>Vaihteisto</b>	Lämpötilavärähtely	Osat kuluvat	Voitelun puute		kohtalainen	kohtalainen	Vaihteiston vaihto		
	Ei pyöri	Jumittuu	Laakeri pettänyt		Suuri	Suuri	Laakerin vaihto		
	Värähtelykuumeeneminen	Osat kuluvat	Öljyvuohto		Suuri	Suuri	Vaihteiston vaihto		
<b>Moottori</b>	Ei pyöri		Staattori vika		Suuri	Suuri	Laakerin vaihto		
	Ei pyöri		Roottori vika		Suuri	Suuri	Vaihto moottori		
	Ei pyöri		Laakeri vika		Suuri	Suuri	Vaihto moottori		



Eri menetelmillä saatuja tuloksia laakerikokeessa [27]

