

**Tutkimusraportti  
BVAL73-001064**

**KATSAUS MITTALAITTEISIIN SEKÄ TIEDON SIIR-  
TOON JA TALLENNUKSEEN**

Jyrki Tervo

**Espoo 5.11.2001**

		A Työraportti	
		B Julkinen tutkimusraportti	X
		Tutkimusraportti luottamuksellinen saakka	
Raportin nimi			
Katsaus mittalaitteisiin sekä tiedon siirtoon ja tallennukseen			
Toimeksiantaja/rahoittaja ja tilaus pvm/nro		Raportin numero	
Tekes, teollisuus, VTT		BVAL73-001064	
Projektin nimi		Suoritteen numero	
Koneiden ja laitteiden kunnan ja käyttöolosuhteiden monitorointi ja diagnostiikka		V9SU00882	
Laatija(t)		Sivujen/liitesivujen lukumäärä	
Jyrki Tervo		18 / -	
Avainsanat			
Mittausjärjestelmät, tiedon siirto ja tallennus			
Tiivistelmä			
<p>Mittausjärjestelmän tehtävät voidaan yksinkertaistaa seuraavalla tavalla. Anturi tuottaa sähköisen signaalin, minkä jännite, virta tai taajuus korreloi havainnoitavan ilmiön kanssa. Signaalit voivat olla digitaalisia tai analogisia. Signaali muunnetaan muotoon, jota voidaan käsitellä tietokoneella. Konversio on erilainen digitaalisille ja analogisille signaaleille. Tietokoneessa oleva mittausohjelma laskee suuret datasta. Suuret voidaan esittää numeerisesti tai graafisesti ja voidaan tallentaa tietokoneen muistiin. Tallennettua tietoa voidaan käyttää myöhemmin esimerkiksi uusien parametrien laskentaan.</p> <p>Tässä selvityksessä käydään lyhyesti läpi mittaustapahtuma anturilta tietokoneelle. Yksityiskohtaisempaa lisätietoa anturitekniikasta, tietoliikenteestä ja signaalinkäsittelystä löytyy raporteista, jotka on listattu Käyttövarmuus kilpailutekijänä –teknologiaohjelman loppuraportissa (Technology Programme Report 5/2001, TEKES, Helsinki 2001).</p>			
Allekirjoitukset, Espoo 5.11.2001			
Kenneth Holmberg Tutkimuspäällikkö		Jyrki Tervo Erikoistutkija	
		Tarkastanut	
Jakelu (asiakkaat ja VTT):			
VTT VALMISTUSTEKNIikka Käyttötekniikka	Metallimiehenkuja 6, Espoo PL 1702 02044 VTT	Puh.vaihde (09) 4561 Faksi (09) 460 627 WWW: <a href="http://www.vtt.fi/val/">http://www.vtt.fi/val/</a>	
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.			

1	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>3</b>
2	<b>Anturit.....</b>	<b>3</b>
3	<b>Signaalilähteen tyyppi.....</b>	<b>5</b>
4	<b>Kohina ja häiriöt .....</b>	<b>7</b>
5	<b>Signaalin käsittely .....</b>	<b>7</b>
6	<b>Näytteistys ja tiedon keruu .....</b>	<b>9</b>
7	<b>Tietokoneen väylät .....</b>	<b>10</b>
8	<b>Käyttöjärjestelmät .....</b>	<b>13</b>
9	<b>Tiedon tallennus .....</b>	<b>13</b>
10	<b>Esimerkki mittausjärjestelmästä .....</b>	<b>15</b>
11	<b>Yhteenveto .....</b>	<b>16</b>

# 1 JOHDANTO

Mittausjärjestelmän tehtävät voidaan yksinkertaistaa seuraavalla tavalla (Hämäläinen, 1998). Anturi tuottaa sähköisen signaalin, minkä jännite, virta tai taajuus korreloi havainnoitavan ilmiön kanssa. Signaalit voivat olla digitaalisia tai analogisia. Signaali muunnetaan muotoon jota voidaan käsitellä tietokoneella. Konversio on erilainen digitaalisille ja analogisille signaaleille. Tietokoneessa oleva mittausohjelma laskee suureet datasta. Suureet voidaan esittää numeerisesti tai graafisesti ja voidaan tallentaa tietokoneen muistiin. Tallennettua tietoa voidaan käyttää myöhemmin esimerkiksi uusien parametrien laskentaan.

Tässä selvityksessä käydään lyhyesti läpi mittaustapahtuma anturilta tietokoneelle. Raportissa ei käsitellä anturitekniikkaa, tiedonsiirtoa tai signaalinkäsittelyä kovinkaan yksityiskohtaisesti, koska kaikki mainitut aihepiirit on jo kertaalleen raportoitu Käki diagnostiikka projektissa.

## 2 Anturit

Anturi on mittausjärjestelmän aistiva elin. Taulukossa 1 on esitelty erilaisiin menetelmiin perustuvia anturityyppejä. Paitsi anturien fysikaaliseen toimintaan perustuen, voidaan jaottelu tehdä myös esimerkiksi tarvittavan virtalähteen mukaan – eli aktiiviset ja passiiviset menetelmät (Bentley (1995)). Passiivisia elementtejä ovat resistiivisiin, kapasitiivisiin ja induktiivisiin menetelmiin perustuvat anturit. Passiiviset menetelmät vaativat ulkoisen jännite tai virtalähteen toimiakseen. Aktiiviset

Taulukko 1. Yleisesti käytössä olevia mittausmenetelmiä (Bentley, 1995).

Menetelmä	Anturit ja mittauskohteet
Resistiiviset menetelmät	Potentiometrit siirtymien mittaukseen, vastuslämpömittarit, venymäliuskat, valovastukset
Kapasitiiviset menetelmät	Dielektrisyysvakio, paineanturit, pinnan korkeus, siirtymät
Induktiiviset menetelmät	Siirtymät (LVDT)
Sähkömagneettiset menetelmät	Nopeusanturit, virtausnopeus
Lämpösähköiset menetelmät	Termoparit
Elastisuuteen perustuvat menetelmät	Voiman, momentin-, kiihtyvyyden ja paineen mittaustaus, pinnankorkeus, tiheys
Pietsosähköiset menetelmät	Kiihtyvyys, voima ja paine
Pietsyresistiiviset menetelmät	Paine
Sähkökemialliset menetelmät	Kiinteän tilan kaasuanturit (kaasun koostumus), ionipitoisuus
Pyrosähköiset menetelmät	Lämpötila, lämpö/valovuoto

Anturit voidaan jaotella myös digitaalisiin ja analogisiin. Digitaalisen anturin ulostulo koostuu yksinkertaisimmillaan jännitetasoista jotka edustavat bittejä 0 ja 1. Tällainen anturi voi-

daan kytkeä suoraan erityiseen digitaaliseen sisään menoon (DI). Joissakin tapauksissa anturin ulostulon jännitetasot voivat olla sellaiset, että vahvistusta tai vaimennusta tarvitaan. Häiriölähteiden aiheuttamat jännitevaihtelut tulee myös poistaa ennen DI:tä – tähän tarkoitukseen sopivana menetelmänä voidaan käyttää puskurointia. Esimerkiksi Schmitt-trigger menetelmä on paljon käytetty (Hämäläinen, 1998).

Jatkuvasti muuttuvien suureiden arvot kerätään analogisilla antureilla, joiden ulostulojännite muodostaa jatkuvan funktion. Hetkelliset jännitearvot muutetaan numerosarjoiksi analogia-digitaalimuuntimen avulla (ADC). ADC:n sisäänmenojännite ei yleensä ole sama kuin anturin ulostulo. Siitä johtuen jännitealueet on sovittava anturivahvistimella.

Antureille on määritetty erilaisia ominaisuuksia, jotka kertovat miten hyvin ne pystyvät suoriutumaan tehtävästään. Ominaisuudet voidaan jaotella staattisiin ja dynaamisiin. Staattisista ominaisuuksista tärkeimpiä ovat tarkkuus, resoluutio, herkkyys, selektiivisyys ja spesifisyys, pienin havaittava signaali, kynnysarvo, epälineaarisuus, vääristymä, yhdenmukaisuus, hystereesi, toistettavuus, mitta-alue, kohina, ulostulon impedanssi, maadoitus, eristys, ryömiminen ja kokonaissuorituskyky. Seuraava jaottelu on esitetty esimerkiksi Mika Asikaisen (2000) diplomityössä.

- Tarkkuus (accuracy): Tarkkuus kertoo, kuinka tarkasti mittauksen tulos vastaa mitatun suureen todellista arvoa. Tarkkuus määritetään standardoitujen koekappaleiden tai kokeiden avulla. Yleensä mittaustulosta verrataan mitatun suureen todelliseen arvoon ja niiden ero ilmoitetaan epätarkkuutena. Epätarkkuus kuvataan mitatun arvon ja todellisen arvon erotuksen avulla tai prosentuaalisena osuutena asteikon ääriarvosta.
- Resoluutio (resolution): Resoluutio ilmoittaa pienimmän mitattavan ilmiön (input) muutoksen, joka aiheuttaa muutoksen lähtösignaalissa (output). Resoluutio ilmoitetaan prosentteina mitta-alueesta. Resoluutio vaihtelee mitattavan suureen arvon mukaan, joten todellisuudessa ilmoitetaan usein keskimääräinen resoluutio  $R_{av}$ .
- Herkkyys (sensitivity): Herkkyys ilmoittaa anturin ulostulon ja sisääntulon muutoksien inkrementaalisen suhteen.
- Pienin havaittava signaali (minimum detectable signal, MDS): Suure kertoo anturin sisäisen kohinan tasosta eli siitä, miten suuri mitattavan signaalin täytyy olla, jotta se erottuu anturin ulostulossa.
- Kynnys (threshold): Kynnysarvo kertoo pienimmän mitattavan signaalin muutoksen, joka nollatasolta lähtiessä saa aikaan jonkin ulostulosignaalin. Kynnysarvo kertoo anturin epälineaarisuudesta. Resoluutiota pidetään joissain lähteissä synonyymina kynnysarvolle, vaikka resoluutio ilmoittaa (keskimääräisen) muutoksen eri lähtötasoilta mitattuna.
- Epälineaarisuus (Nonlinearity): Anturin siirtofunktio eli tulo- ja lähtösignaalien välinen riippuvuus approksimoidaan lineaariseksi. Epälineaarisuus ilmaisee tämän oletuksen aiheuttaman virheen.
- Vääristymä (distortion): Vääristymä ilmoittaa virheen suhteessa odotettuun lähtösignaalin muotoon. Vääristymä voi ilmentyä esimerkiksi jaksollisen signaalin harmonisten komponenttien summautuessa lähtösignaaliin.

- Yhdenmukaisuus (conformance): Yhdenmukaisuus ilmoittaa kokeellisesti saadun mittauskäyrän samankaltaisuuden suhteessa teoreettiseen käyrään.
- Hystereesi (hysteresis): Hystereesi ilmoittaa mittalaitteen lähtösignaalin eron, kun tulosignaalin arvoa lähestytään kahdesta eri suunnasta. Mittausten tulokset riippuvat siitä, onko signaalin muutos nouseva vai laskeva. Hystereesi sekoitetaan usein vasteettomaan alueeseen (dead-band, dead zone), joka johtuu mekaanisista ominaisuuksista, kuten kitkasta ja liikkuvien osien kosketuksessa syntyvästä välyksestä.
- Toistettavuus (repeatability): Toistettavuus kertoo mittaustulosten heiton, kun mittaustapahtuma pyritään toistamaan peräkkäisillä mittauksilla.
- Mitta-alue (span) kertoo suurimman ja pienimmän luettavissa olevan arvон erotuksen.
- Ryömiminen (drift): Ryömimisellä tarkoitetaan anturin lähtösignaalin muutosta ajasta riippuvaisten ilmiöiden johdosta. Lineaariseksi oletetun anturin toimintaa kuvaavan suoran kulmakerroin voi ajan mukana muuttua (herkkyyden muutos) tai vakiosisääntulon antama vastaava ulostuloarvo voi muuttua ajan funktiona (signaalin voimakkuuden muutos). Ryömiminen on mittalaittekohtainen ominaisuus, jonka syynä voi olla hyvin moni tekijä, kuten lämpötilan muutos, kemiallinen reaktio tai hiukkasten aiheuttama mekaaninen tai sähköinen vaikutus. Kuvassa ryömimistä on approksimoitu luotettavuusrajoilla, joita muotonsa vuoksi nimitetään perhoskäyriksi (butterfly curves).
- Kokonaissuorituskyky (overall performance): Esittämällä kaikkien mahdollisten virhelähteiden pahin mahdollinen yhteisvaikutus tai niiden neliöllinen keskiarvo saadaan kokonaissuorituskyky.

### 3 Signaalilähteen tyyppi

Valittaessa vahvistinta ja mittalaitetta eri tyyppisten signaalien vahvistamiseen ja mittaamiseen on oltava selvillä signaalilähteen tyypistä ja valittava siihen tulopiiriin kytkennältään sopiva laite. Vahvistimen lähtöpiiri voi olla tyypiltään erilainen kuin tulopiiri eikä, sillä ole juurikaan merkitystä häiriöiden kannalta.

Erilaiset signaalityypit ovat (Halko ym., 1998) epäsymmetrinen ja maadoitettu, epäsymmetrinen ja kelluva, epäsymmetrinen ei maan potentiaalissa, symmetrinen ja maadoitettu, symmetrinen ja kelluva, sekä symmetrinen ei maan potentiaalissa oleva. Signaalityyppi vaikuttaa esimerkiksi siihen kuinka häiriösuojaus toteutetaan.

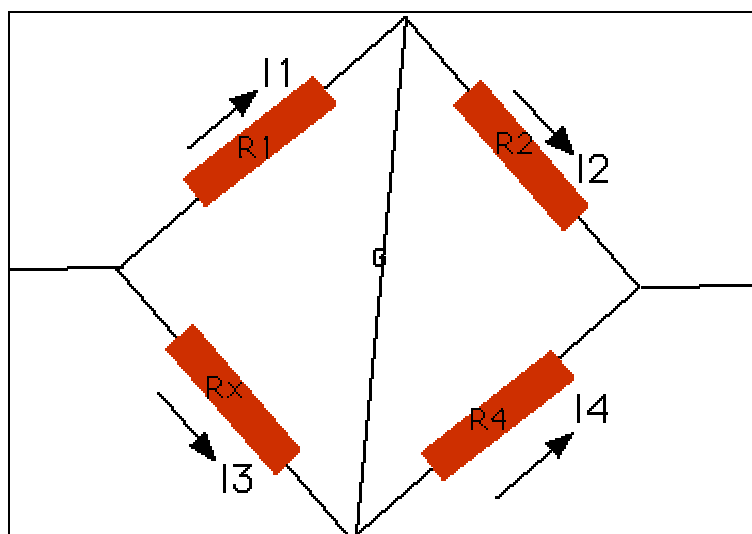
Epäsymmetrinen ja maadoitettu signaali on yleinen. Tällöin signaalilähteen toinen napa on maapotentiaalissa, jolloin volttimittari jonka toinen napa on maassa, näyttää signaalilähteen toisesta navasta nollaa ja toisesta täyttä lähteen jännitettä. Tällaisia signaalilähteitä ovat monet verkkosyöttöiset signaaligeneraattorit.

Epäsymmetrinen ja kelluva signaali ei ole galvaanisessa yhteydessä maahan ja signaali saadaan napojen välistä. Kelluva signaali voidaan maadoittaa tai sen navat vaihtaa toimintaa häi-

ritsemättä. Tällaisia signaalilähteitä ovat mm. paristo, magneettinen äänipää ja paristosyöttöinen signaaligeneraattori.

Epäsymmetrinen ei maan potentiaalissa oleva signaali esiintyy lähinnä virtapiirissä ns. kuussa johtimessa olevissa virran mittaukseen tarkoitetuissa vastuksissa.

Symmetrisissä ja maadoitetuissa tapauksissa kummastakin signaalijohtimesta on yhtä suuri impedanssi ja yhtä suuri mutta vastakkaismerkkinen jännite maadoitettuun keskipisteeseen. Signaalijohtimet voidaan vaihtaa keskenään. Tällainen signaalilähde on mm. maadoitetusta virtalähteestä syötetty Wheatstonen silta (Kuva 1).



Kuva 1. Wheatstonen silta (Wiarda, 2001).

Symmetrinen ja kelluva signaalilähde on esimerkiksi paristolla tai kelluvalla virtalähteellä syötetty silta. Kumpikaan signaalinapa ei ole galvaanisessa yhteydessä maahan.

Symmetrinen ei maan potentiaalissa oleva signaalilähde on esimerkiksi magneettisen virtamittarin lähtö. Symmetriapisteen ja maan välillä on signaalista riippumaton tasa- tai vaihtojännite. Kumpaakaan signaalijohdinta tai symmetriapistettä ei saa maadoittaa.

Signaalipiirin ja maan välinen jännite voi olla järjestelmän toimintaan kuuluva jännite tai häiriöjännite. Valittaessa vahvistinta ja mittalaitetta erityyppisten signaalien vahvistamiseen ja mittaamiseen on oltava selvillä signaalilähteen tyypistä ja valittava siihen tulopiiriin kytkentään sopiva laite. Vahvistimen lähtöpiiri sen sijaan voi olla tyypiltään erilainen kuin tulopiiri.

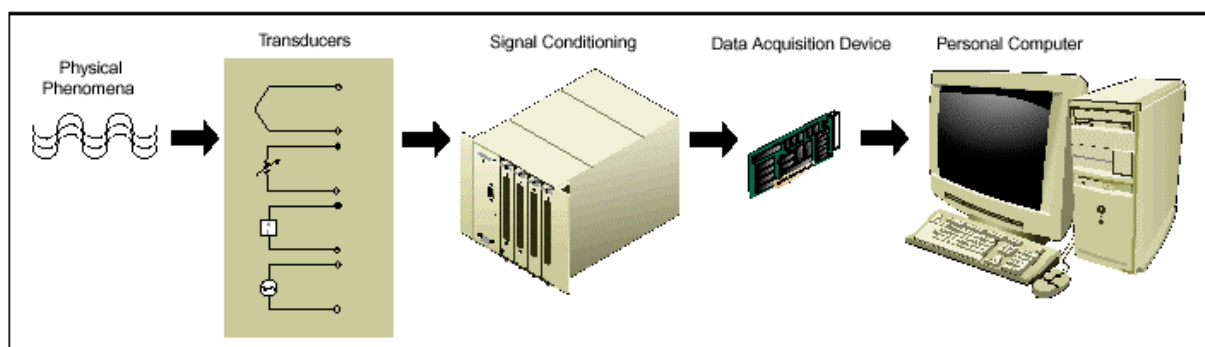
## 4 Kohina ja häiriöt

Erilaisten häiriöiden ilmenemistä mittausjärjestelmissä on käsitellyt Mika Asikainen (2000) diplomityössä. Kohina on yleensä satunnaismuotoista häiriösignaalia, joka voi olla lähtöisin mittauspiirin sisältä tai ulkoisista, kuten kosmisista, lähteistä. Satunnaismuotoinen signaali jakautuu tasaisesti kaikille tutkittaville taajuuksille. Mittauspiirin sisäisiä kohinalähteitä ovat Johnsonin kohina, raekohina ja flikkerikohina.

Mittausjärjestelmä muodostaa virtapiirin, jonka toisena osana on anturointi ja toisena signaalin käsittelyyn tarvittavat laitteet (Asikainen, 2000). Signaalin ja häiriöjännitteen suhdetta kuvataan lyhenteellä SNR (signal-to-noise ratio) tai S/N ja se on tapana esittää kymmenkantaisena logaritmina. Häiriölähteet johtuvat joko kapasitiivisesta tai induktiivisesta kytkennästä tai maasilmukasta. Kytkentä voi tapahtua esimerkiksi jonkin mittauspiirin läheisyydessä olevan sähkömagneettisen laitteen kanssa.

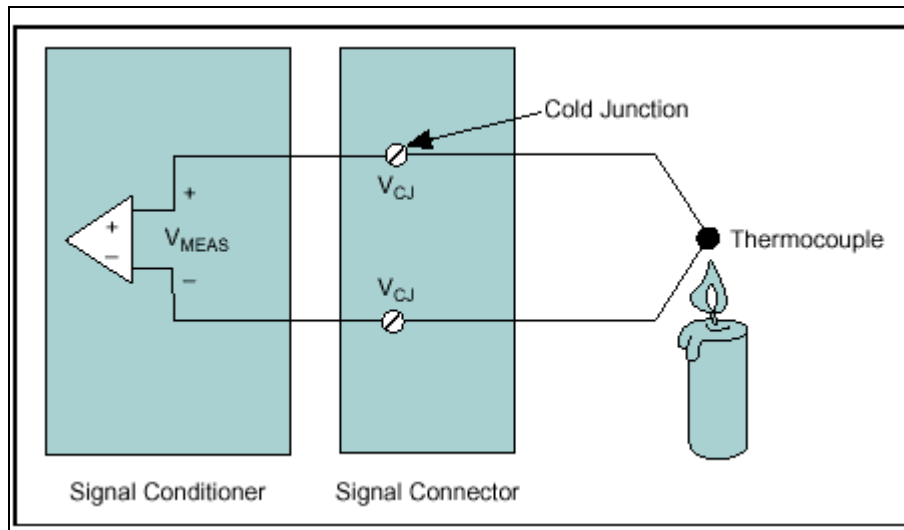
## 5 Signaalin käsittely

Signaalin käsittelyyn kuuluvia operaatioita ovat vahvistus, eristys, suodatus ja multipleksaus (Kuva 2). Esimerkiksi termoparin johtojen kytkeminen mittausjärjestelmään aiheuttaa lämpö-sähköisen liitoksen, mikä täytyy eliminoida signaalin käsittelyn menetelmin (Kuva 3).



Kuva 2. Mittaussignaalin käsittelyn vaiheita (National Instruments, 2001).





Kuva 3. Termoparin kylmäliitoksen kompensointi (National Instruments, 2001).

Signaalin käsittelyyn kuuluu paitsi häiriön poisto, niin myös signaalin muunnokset, joilla signaali muunnetaan paremmin käsiteltävään muotoon kuten jännitteeksi, virraksi tai taajuudeksi (Bentley, 1995). Laitteet voivat olla integroitua esimerkiksi anturiin tai tiedonkeruukorttiin, tai ne voivat olla erillisiä yksiköitä. Erilaisia siltoja voidaan käyttää muuntamaan esimerkiksi kapasitiivisten, resistiivisten tai induktiivisten anturien ulostulojännitteeksi. Vahvistimia taas tarvitaan muuntamaan jännitetasoa rajapintoja ylitettäessä. Modernit vahvistimet perustuvat operaatiovahvistimiin, joiden vaihtoehtoisilla kytkennöillä voidaan toteuttaa useita erilaisia vahvistimia.

Kohinan vähentämiseksi on kehitetty useita menetelmiä. Tunnetuimpia ovat suodatus, modulointi, keskiarvotus ja autokorrelointi (Asikainen, 2001; Bentley, 1995). Suodatin läpäisee tietyn taajuista (tai tiettyjen taajuuksien) signaalia ja suodattaa muut taajuudet. Suodattimet voivat olla analogisia tai digitaalisia. Taajuusalueidensa mukaan ne luokitellaan yli-, ali-, kaistanesto- tai kaistanpäästösuodattimiin. Suodatin ei erottele signaalin kanssa samoilla taajuuksilla esiintyviä häiriöitä, joten väärä suodatus voi hävittää mittaussignaalin.

Modulointi tarkoittaa signaalin amplitudi- ja taajuustiedon yhdistämistä toiseen signaaliin (Asikainen, 2001; Bentley, 1995). Amplitudimoduloinnissa signaalin amplitudien muutokset yhdistetään korkeataajuisen kanta-aallon amplitudeihin. Taajuusmoduloinnissa signaali sisällytetään sitä korkeampitaajuisen kanta-aallon taajuusvaihteluiksi. Kun signaali on siirretty määränpäähänsä, voidaan se muuttaa alkuperäiseen muotoonsa demoduloinnilla. Moduloinnista on apua lähinnä silloin, kun vallitsevien häiriöiden taajuudet ovat tiedossa, sillä tasaisesti jakautunut kohina vaikuttaisi myös moduloiduilla taajuuksilla.

Keskiarvotuksella saadaan selville jaksottainen signaali kohinan joukosta (Asikainen, 2001). Tämä edellyttää, että signaalin taajuus tunnetaan. Tällöin ottamalla useita näytteitä signaalista sen jaksonajan välein ja laskemalla näytteiden keskiarvo saadaan arvio jakson yhden pisteen sijainnista. Tämä onnistuu sillä edellytyksellä, että kohina on satunnaismuotoista ja sen keskiarvo lähestyy nollaa. Toistamalla tapahtuma useille jakson osaväleille saadaan arvio signaalin muodosta. Tyypillisesti voidaan tarkastella esimerkiksi jakson 50 osaväliä, joista jokaisesta otetaan 100 näytettä.

Autokorrelaatio pohjautuu signaalin vaihekulman muuttamiseen. Signaalin  $y(t)$  kertautuessa samanmuotoisen, vaihesiirron kokeneen signaalin  $y(t-\beta)$  kanssa saadaan näiden tulosta signaali  $y(t)y(t-\beta)$ . Tämän keskiarvoa  $\overline{y(t)y(t-\beta)}$  sanotaan autokorrelaatiokertoimeksi  $R_{yy}$ . Kun  $\beta$ :n arvon annetaan muuttua tasaisesti saadaan autokorrelaatiofunktio (Asikainen, 2001):

$$R_{yy}(\beta) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t)y(t-\beta)dt. \quad (1)$$

Autokorrelaatiofunktio on summautuva, eli signaalin ja kohinan muodostama funktio saadaan niiden yksittäisten funktioiden summana

$$R_{yy}^{S+N}(\beta) = R_{yy}^S(\beta) + R_{yy}^N(\beta). \quad (2)$$

Kohinan tehospektri  $\phi(\omega)$  on vakio, koska kohina esiintyy tasaisesti koko taajuusalueella. Soveltamalla Fourierin muunnosta saadaan kohinan autokorrelaatiofunktio muotoon

$$R_{yy}^N = \int_0^{\infty} \phi(\omega) \cos(\omega\beta) d\omega. \quad (3)$$

Jos tarkastellaan vain tiettyä taajuutta  $\omega_C$  pienempiä kohinataajuuksia ja merkitään  $\phi(\omega)$  vakiolla  $A$ , saadaan

$$R_{yy}^N = A \frac{\sin(\omega_C \beta)}{\beta}. \quad (4)$$

Viiveen  $\beta$  kasvaessa kohinasta aiheutuva termi lähestyy nollaa. Signaalin vaihetta viivyttämällä pystytään siis erottelemaan siihen sekoittuva kohina. Tosin tieto signaalin vaiheesta katoaa käsittelyssä.

Jos kohinan ja signaalin taajuuskaistat ovat päällekkäin, jos kohinan taajuuskaista ei ole tiedossa tai se vaihtelee ajan mukaan, ei edellä esitettyjä menetelmiä voida käyttää. Tällöin voidaan kuitenkin soveltaa mukautuvia suodattimia. Tunnettuja sovelluksia ovat mm. LMS- (Least Mean Squares), RLS- (Recursive Least Squares) ja Kalman-suodattimet. (Asikainen, 2001)

## 6 Näytteistys ja tiedon keruu

Näytteistykseen liittyy tavallisesti A/D-muunnos, eli analoginen signaali muunnetaan digitaaliseen muotoon. A/D-muunnos edellyttää kolmea operaatiota, mitkä ovat näytteenotto, kvantisointi ja enkoodaus (Bentley, 1995). Näytteistyksessä tehdään tavallisesti ensin alipäästösuo-  
 datus, jotta käytettävä näytteistystaajuus olisi riittävä. Signaali skaalataan kvantisointialueelle vahvistuksella ja tarvittaessa tasakomponentin siirrolla. Näytteenotto tehdään S/H-piirillä

(Sample/Hold). Se ei kuitenkaan ole aina välttämätöntä, vaan kvantisointi voidaan tehdä usein myös suoraan jatkuva-aikaiselle signaalille. Kvantisointi ja enkoodaus tapahtuvat A/D-muuntimessa. A/D-muunnos voi kestää joitakin millisekunteja, jolloin näytteenoton ulostulo on tarpeellista pitää vakiona. Sample-tilassa laitteen ulostulo seuraa sisääntuloa. Hold-tilassa ulostuloa pidetään sen hetkisen sisääntulon arvossa, mikä vallitsi hold-komennon tullessa.

Tiedonkeruuyksikkö (data acquisition unit) merkitsee laitetta, joka vastaanottaa anturin signaalin ja mahdollisesti lähettää sen edelleen tietokoneelle väylän tai portin kautta.

Tiedonkeruuyksiköt voidaan luokitella ainakin kolmella eri tavalla (Hämäläinen, 1998).

1. Tietokone kontrolloi tiedonkeruuyksikköä suoraan. Tietokoneen keskusprosessori suorittaa kaikki mittausohjelman toiminnot. Yksiköllä ei ole omaa prosessoria tai muistia pientä puskurimuistia lukuunottamatta. Kaikki data siirretään suoraan tietokoneen RAM muistiin. Ohjaus tapahtuu binäärikoodin avulla (rekisteriohjattu). Rekisteriohjattu tiedonkeruuyksikkö on yksinkertaisimmillaan esimerkiksi AD-piiri, joka on kytketty tietokoneen rinnakkaisporttiin. Etuna on siis yksinkertaisuus ja heikkoutena tarve lukea dataa jatkuvasti tietokoneen muistiin.

2. Tiedonkeruuyksiköllä on oma mikroprosessori ja muisti. Tietokone kontrolloi tiedonkeruuta lähettämällä tekstipohjaisia viestejä tiedonkeruuyksikölle (viestiohjattu). Viestien avulla ohjataan yksikköä tekemään korkean tason operaatioita, kuten asettamaan mittausparametreja ja aloittamaan tai lopettamaan mittaus. Tiedonsiirto tietokoneelle voi tapahtua mittauksen aikana tai jälkeen. Etuna on, että tiedonsiirron nopeus tietokoneelle on jossakin määrin riippumaton tiedonkeruun nopeudesta – mahdollisesti voidaan käyttää RS-väylää. Tarvittavan nopeuden sanelee yksikön muistin koko ja mittauksen kesto. Tietokonetta ei välttämättä tarvita mittauksen aikana.

3. Tiedonkeruuyksiköllä on oma mikroprosessori ja muisti, mikä on kuitenkin allokoitu isäntäkoneen muistiavaruuteen. Isäntäkone ja tiedonkeruuyksikkö pääsevät samanaikaisesti käsiin jaettuun muistiin. Menetelmän etuna on suuri nopeus.

## 7 Tietokoneen väylät

Liitokset joita pitkin signaalit kulkevat tietokoneen osista toisiin ovat väyliä. Tiedonkeruuyksikön ja tietokoneen välillä kulkevaa tietoa ovat: mittaussignaali digitaalisessa muodossa, osoitetiedot, kontrollisignaalit, kello/synkronointi/kättely signaalit, triggerointi ja keskeytys-signaalit. Väylät voidaan luokitella rinnakkais- tai sarjaväyliksi tiedonsiirron menetelmän mukaan. Yleisväylät ovat standardisoituja toiminnoiltaan ja mitoitukseltaan, vaikkakin kaikki standardit eivät takaa täydellistä yhteensopivuutta eri valmistajien laitteille.

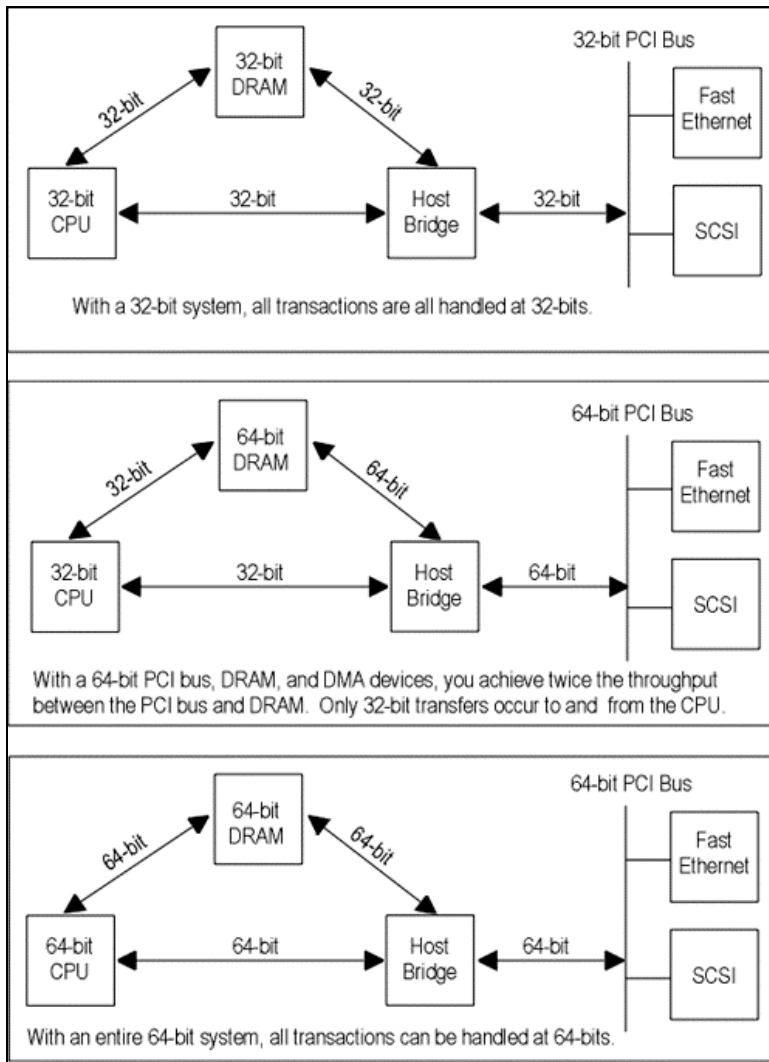
Laajennusväylä tarkoittaa rakennetta, jolla voidaan laajentaa tietokoneen toimintoja liittämällä siihen oheislaitteita. Oheislaitteet integroituvat koneen toimintaan ja ovat siten osa tietokonetta. Laajennusväylien liittimet on sijoitettu koneen sisälle. Oheislaitteilla tarkoitetaan piirikortteja (laajennuskortit, -levyt), joilla ei ole mitään suojaavaa kuorta ympärillään. Tiedonsiirron nopeus oheislaitteen ja tietokoneen välillä määräytyy samanaikaisesti siirrettyjen bittien määrällä (väylän leveys) ja aikayksikköä kohti siirrettyjen bittien määrällä (kellotaajuus).

Tiedonkeruuyksikön suunnitteluun huomattavasti vaikuttava tekijä on se, millaisen väylän kanssa yksikköä käytetään.

ISA tulee sanoista Industry Standard Architecture ja on ilmeisesti vanhin PC:n laajennusväylästandardi. Standardi on jäämässä pois käytöstä.

PCI on lyhenne sanoista Peripheral Component Interconnect. Alkueräinen tarkoitus oli nostaa laajakaistaisten oheislaitteiden suorituskykyä tuomalla ne lähemmäs CPU:ta (CPU = tietokoneen keskusyksikkö, eli Central Processing Unit). Tarve on johtanut paitsi PCI:n nopeuden niin myös koko tietokoneen nopeuden voimakkaaseen kehitykseen. Tänä päivänä on mahdollista saada aikaiseksi tiedonsiirtonopeuksia, jotka ylittävät 90 MB/s käyttämällä 64 bittistä väylää ja kohottamalla kellotaajuutta. PCI:n nopeutta hidastavat paitsi oheislaitteet, niin myös PCI:n vuorovaikutus esimerkiksi CPU:n ja DRAM:n kanssa. Periaatteessa PCI:n nopeuden riittävyys riippuu tapahtumien määrästä - eli mitä enemmän oheislaitteita on toiminnassa, sitä hitaammin väylä toimii.

Seuraavissa kuvissa on esitetty ”väylän leveyden” ja kellotaajuuden merkitys tiedonsiirron nopeudelle (Kuvat 4 ja 5).



Kuva 4. Bittimäärän vaikutus tiedonsiirron nopeuteen(<http://www.adaptec.com>).

Theoretical Throughput		
	32-bit PCI Bus	64-bit PCI Bus
33 Mhz	133 MB/sec	266 MB/sec
66 Mhz	266 MB/sec	532 MB/sec

Kuva 5. PCI:n nopeuden riippuvuus kellotaajuudesta (<http://www.adaptec.com>)

PCMCIA on kannettavia koneita varten kehitetty massamuistien liitännästandardi (Lähteinen, 1997). Standardi määrittelee liitännän mekaanisen koon, sähköiset ja ohjelmalliset ominaisuudet sekä liitännään kytkettävien laitteiden ominaisuudet. Standardin mukaiseen väylään

voidaan liittää useita laitteita. Liitäntään liitettävät kortit voivat toimia väyläisäntinä kuten PCI-väylän kortitkin.

Muita oheislaitteita varten kehitettyjä väyliä ovat muun muassa RS-232C ja Centronix. RS-232C on standardoitu liitäntä sarjajärjestelmään kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon lyhyille matkoille (Halko ym., 1998). Centronix-liitäntää käytetään lähinnä kirjoittimissa ja se on yksisuuntaiseen rinnakkaiseen tiedon siirtoon perustuva liitäntä lyhyille etäisyyksille. Ohjaus ja ilmoitussignaalit voivat tulla myös kirjoittimelta, vaikkakin varsinaisen data kulkee vain päinvastaiseen suuntaan.

Niin sanottuihin instrumenttiväyliin kuuluvat esimerkiksi IEEE 488, CAMAC, VME ja VXI. Näistä IEEE 488 on amerikkalainen vastine eurooppalaiselle standardille IEC 625.1.(Halko ym., 1998). Käsitteeseen sisältyviä väyliä ovat muun muassa ANSI MC1.1, HP-IB, GPIB, PlusBus ja ASCII-BUS. Erona eri nimitysten välillä on, että amerikkalaisissa väylissä on eri liitin kuin eurooppalaisissa. Väylä on tarkoitettu yhdistämään erilliset mittalaitteet tietokoneen ohjaamaksi mittausjärjestelmäksi. Väylään liitettävien laitteiden valmistajia on satoja ja erilaisia mittalaitteita tuhansia. Järjestelmään voi liittyä 15 laitetta.

VME on teollisuuden mittauksiin ja automaatioon kehitetty väylä. VXI taas on VME:stä kehitetty nopea mittalaitteiden ohjaukseen (mutta myös mittauksien keräämiseen ja käsitteilyyn) tarkoitettu väylä ja tulee sanoista vme-bus extension for instrumentation (Halko ym., 1998). Järjestelmä koostuu modulaarisista mittalaitteista, joita ohjaava tietokone voi olla myös moduulimuodossa tai liittyä järjestelmään IEC (IEEE 488) väylän kautta. Tarkoituksena ei ole korvata IEEE-väylää vaan saada aikaan yhteensopivuus eri valmistajien laitteille.

CAMAC on lähinnä eurooppalaisen ydinteknologian ja –teollisuuden käyttöön kehitetty väylä ja tulee sanoista Computer Application for Measurement and Control (Halko ym., 1998).

## 8 Käyttöjärjestelmät

Tunnetuimpia mittauskäytössä olevien tietokoneiden käyttöjärjestelmiä ovat MS-DOS, Windows 3.X, Windows 95, Windows NT, Windows 98, Windows 2000, Windows XP ja Linux. Teollisuudessa useimmin tällä hetkellä käytössä oleva on Windows NT. Windows NT (WinNT) on toistaiseksi luotettavin Windows perheen käyttöjärjestelmä. Windows NT 4.0:n turvallisuuspiirteisiin kuuluu, että käyttäjäohjelmat eivät voi suoraan kommunikoida laiteporttien kanssa. Laajennusväyliin (ISA, PCI ja PCMCIA) kytkettyjen tiedonkeruuyksiköiden käyttö on WinNT:ssä vaikeampaa kuin Windows 95:ssä ja 98:ssä. Uutena järjestelmänä on tulossa Windows XP, mistä ei kuitenkaan toistaiseksi ole käyttökokemuksia kertynyt.

## 9 Tiedon tallennus

Talletuslaitteet voidaan jakaa piirtäviin, elektronisesti tallentaviin, magneettisesti tallentaviin ja dataloggereihin. Lisäksi laitteet voivat olla yksikanavaisia, monikanavaisia, hitaita tai nopeita. (Hämäläinen, 1998)

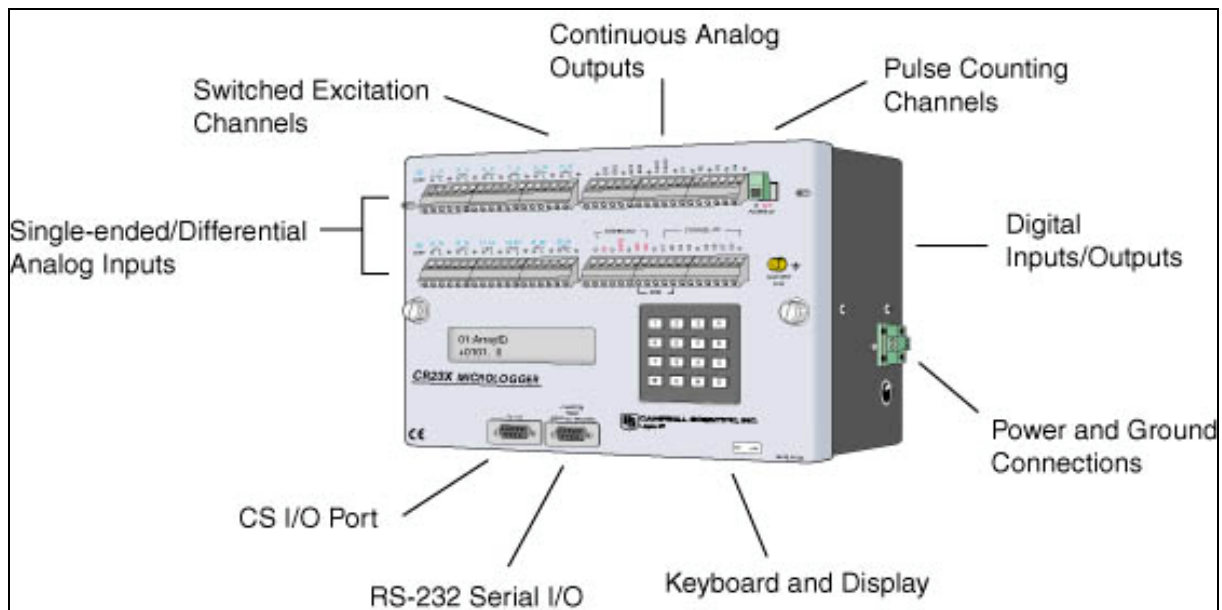
Muisti- ja digitaali-oskilloskooppeja ( Halko ym., 1998) voidaan käyttää kertailmiöiden havainnointiin toisin kuin tavallista oskilloskooppia. Muistioskilloskoopissa käyrä tallentuu kuvavaruudulle halutuksi ajaksi tarkastelua varten. Digitaali-oskilloskoopissa näytteet tallentuvat muistipiirille, mistä ne voidaan haluttaessa noutaa esim. analysointia varten. Digitaali-oskilloskooppeissa ilmoitetaan usein kaistaleveyden (MHz) lisäksi myös näytteenottotaajuus muodossa (Ms/s) eli miljoonaa näytettä sekunnissa.

Oskillografi piirtää virta- tai jänniteviestin analogiamuodossa ajan funktiona (Halko ym., 1998). Oskillografi on periaatteeltaan herkkä galvanometri, jonka osoittimen paikalla on kynä tai valoherkälle paperille piirtävä valon säde.

Piirturit ja plotterit piirtävät paperille analogisen signaalin jonkin toisen signaalin funktiona (Halko ym.). Piirturi on analoginen ja plotteri digitaalinen.

Mittausnauhoittimia käytetään kun halutaan tallentaa useiden kanavien laajakaistainen signaali pitkän ajan kuluessa (Lähteinen, 1997). Nauhoittimia on sekä analogia- että digitaalitoimintaisia. Talletusvälineenä voi olla esim. kasetti - tai videonauha, tai sitten nauha voi olla avokelalla. Nauhoitus voidaan purkaa nopeutetusti tai hidastetusti. Nauhalle talletus tapahtuu kolmella erilaisella menetelmällä, joita ovat suora talletus, taajuusmodulaatio ja pulssikoodimodulaatio. Nauha- asemista mainittakoon QIC-asemat ja DAT-asemat (Lähteinen, 1997). Näistä DAT-asemilla on suurempi tallennuskapasiteetti ja tallennusnopeus. QIC-asemat käyttävät analogista tallennusta nauhalle. DAT-asemat käyttävät digitaalista koodausta nauhalle, jolloin signaali saadaan tallennettua häiriöttömästi ja suuremmalla pakkaustiheydellä kuin analogisella tallennuksella. DAT-tallennus voidaan tehdä kahden standardin mukaisesti, joista yleisempi on DDS (Digital Data Storage). Tieto tallentuu sarjamuodossa ja lukeminen on mahdollista mistä kohdasta nauhaa tahansa, mutta tallennus ei. Toinen normi on nimeltään DATA/DAT ja se on suunniteltu suurnopeuksista tiedostonhakua varten. Tallennusmuodossa voidaan suorittaa sekä satunnaista kirjoitusta että lukua nauhan mihin tahansa kohtaan tai kohdasta. DAT-asemien tallennuskyky on gigatavujen kokoluokkaa.

Dataloggeri (Kuva 6) on laite, joka kerää tulokanavista mittaustietoja, muokkaa ne, näyttää näytössä ja tallettaa haluttuun talletus- tai tulostuslaitteeseen. Mittaustiedot ovat yleensä hitaasti muuttuvia suureita kuten lämpötila, paine ja vastaavat prosessiteollisuuden anturien viestit. Dataloggeriin voidaan lisäksi yhdistää lisätoimintoja kuten mittaustietojen analysointi. Lisäämällä tietokoneeseen mittauskortti saadaan tietokoneesta dataloggeri. Kiintolevyt ovat nykypäivänä riittävän tiedontallennuskapasiteetin omaavia. Lisäksi etuna on suuri tiedonsiirtonopeus, joten niiden käyttö on edullisempää kuin erillisten massamuistien käyttö. Kirjoittavien CD-asemien heikkoutena on suhteellisen pieni tallennuskapasiteetti sekä matala tiedonsiirron nopeus. Käyttö rajoittuukin pääasiassa mittausdatan varmuuskopiointiin.(Hämäläinen, 1998)



Kuva 6. Esimerkki dataloggerista (<http://www.campbellsci.com/anatomy.html>).

Taulukossa 2 on esitetty yhteenveto tallennusmenetelmistä.

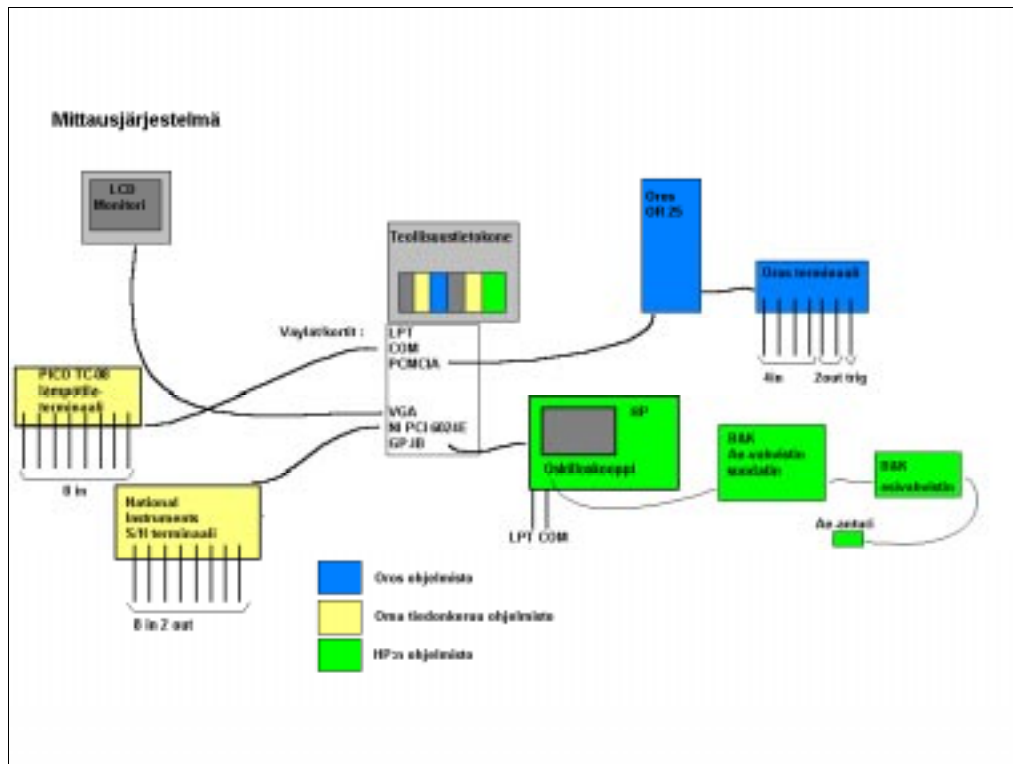
Taulukko 2. Tiedon tallennusmenetelmät.

Menetelmä	Toiminta	Tallennus
Oskilloskooppi	Analoginen	Ei
Muistioskilloskooppi	Analoginen	Tilapäisesti näyttöön
Digitaalinen oskilloskooppi	Digitaalinen	Muistipiiri
Oskillografi	Analoginen	Tuloste
Piirturi	Analoginen	Tuloste
Plotteri	Digitaalinen	Tuloste
QIC-nauhuri	Analoginen	Magneettinauha
DAT-nauhuri	Digitaalinen	Magneettinauha
Dataloggeri	Digitaalinen	Massamuisti, kovalevy tai tuloste



## 10 Esimerkki mittausjärjestelmästä

VTT Valmistustekniikan kokoama mittausjärjestelmä on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. VTT Valmistustekniikan kokoama mittausjärjestelmä värähtelyjen, akustisen emission ja äänen mittaukseen, Tervo ja Mustonen (2001).

Värähtelymittauksiin käytettiin Kistler 8704 B50M1 kiihtyvyyssantureita, jotka kiinnitettiin lineaarijohteen päähän. Kiinnitykseen käytettiin liimattavaa sovitinta, johon anturi kiinnitetään ruuviliitoksella. Anturin herkkyys on n. 100 mV/g ja resonanssitaajuus 54 kHz. Anturit kytkettiin OROS PC-Pack -värähtelymittauslaitteeseen, jossa on 2,4 mA vakiovirtasyöttö matalaimpedanssisille kiihtyvyyssantureille. Kaapelina käytettiin RG-174 (50 ohm 2,6 mm koaksiaalikaapeli). OROS PC-Pack -mittauslaitteessa käytettiin vahvistusta 0 dB. Värähtelysignaalia tallennettiin taajuudella 51200 näytettä sekunnissa 1 sekunnin mittaisina jaksoina, 10 jaksoa kullakin johdekonstruktioilla.

Äänen mittaukseen käytettiin pienikokoista elektreettimikrofonia. Mikrofonin taajuusvasteesta tai herkkyydestä ei ole tietoja. Mikrofoni kytkettiin yleiskäyttöiseen Laplace Instruments VIP-20 instrumenttivahvistimeen, jossa käytettiin 200-kertaista vahvistusta ja 2,4 mA virransyöttöä mikrofonille. Vahvistimessa on sisäänrakennettu 20 kHz alipäästösuodatin. Kaapelina käytettiin RG-58 (= 50 ohm 5 mm koaksiaalikaapeli). Vahvistimelta saatu signaali tallennettiin OROS PC-Pack värähtelymittauslaitteelle taajuudella 51200 näytettä sekunnissa

1 sekunnin mittaisina jaksoina, 10 jaksoa kullakin johdekonstruktiolla. Vahvistimen ja värähtelymittauslaitteen välillä käytettiin kaapelia RG-58.

Akustisen emission mittaukseen käytettiin B&K:n 8313 anturia, B&K 2637 esivahvistinta, 2638 suodatin / vahvistinyksikköä ja HP 54645 oskilloskooppia. Valmistaja suosittelee käyttämään valitun anturin yhteydessä esivahvistimessa 200 kHz analogista oktaavikaistanpäästösuodatinta. Tällöin läpipääsevä taajuuskaista on 141 kHz - 282 kHz. Anturin ja suodattimen välillä sekä suodattimen ja vahvistimen välillä käytettiin laitteiston omaa RG-174 kaapelia. Vahvistimen ja oskilloskoopin välillä käytettiin RG-58 kaapelia. Oskilloskoopin ja PC:n välillä on GPIB-väylä. AE-anturi asennettiin lineaarijohdekiskon päähän esijännitetyllä puristusliitoksella, jossa jännitysvoima tuotettiin PVC-muovinpalalla. Anturin ja kiskon välinen kosketus ja signaalitie vahvistettiin voitelemalla kosketuskohta vaseliinilla. Anturi ja muovipala päällystettiin itse vulkanoituvalla kumiteipillä kiinnipysymisen varmistamiseksi. Lineaarijohdekelkan liike kiskolla ääriasemasta toiseen vie n. 0,35 sekuntia. Mahdollisimman suuri osa tästä syklistä pyrittiin tallentamaan AE-näytteeseen. AE-signaalia tallennettiin 0,2 sekunnin mittaisina jaksoina näytteenottotaajuudella 5 miljoonaa näytettä sekunnissa, 10 jaksoa kullakin johdekonstruktiolla.

Tuloksissa havaittiin, että käytetyillä antureilla ja vahvistimilla suurimmat akustisen emission taajuudet olivat 250 kHz tässä sovelluksessa. Riittävä näytteenottotaajuus olisi siten jo 500 kHz ja näytepisteiden määrä voidaan valita vapaasti, esimerkiksi 128 tai 4096 pistettä/näyte.

## 11 Yhteenveto

Kunnonvalvonnan tyypillisimmät keinot ovat värähtelyt, voiteluaineanalyysit, termografia, sekä ultraäänitekniikat ja akustinen emissio. Lisäksi kerätään paljon tietoa prosesseista ja koneautomaatiosta. Laitteiden vikaantuminen on havaittavissa usein koneen toiminnassa tai esimerkiksi prosessin laaduntuottokyvyssä. Värähtelymittaukset ovat kuitenkin kaikkein käytetyin keino koneiden komponenttien mekaanisten vaurioiden tutkimiseen. Tämä näkyy myös värähtelymittalaitteiden ja kiihtyvyyssanturien tarjonnassa. Markkinoilla on olemassa useita tätä tarkoitusta varten kehitettyjä ratkaisuja. Värähtelyt ovat usein vain seuraus jostakin muusta syystä, kuten esimerkiksi kemikaalien pääsystä voiteluöljyyn ja seuranneesta voitelukalvon peittämisestä.

Nykyaikaisen kunnonvalvonnan tavoitteena on päästä mahdollisimman lähelle perimmäistä vian syytä. Vaikkakin vika havaittaisiin riittävän ajoissa huoltotoimenpiteiden suunnittelemiseksi ajoissa, niin vika uusiutuu jos todellista tai todellisia vian syitä ei saada eliminoidua. Tarvitaan siis yhä monipuolisempia on-line mittausten menetelmiä, joilla kyetään tutkittavaa konetta havainnoimaan useilla eri menetelmillä.

Nykyaikainen tietotekniikka antaa mahdollisuudet rakentaa suuren tiedonsiirtokyvyn ja tallennuskapasiteetin omaavia mittaajärjestelmiä, joiden luotettavuus on korkeata luokkaa. Lisäksi standardoinnin kehittyminen on lisännyt mahdollisuuksia laajennuskorttien lisäämiseen tietokoneisiin. Samanaikaisesti on hintataso laskenut, joten vaativan mittaajärjestelmän rakentaminen ei enää ole niin paljoa laitteiden hinnoista riippuvainen kuin aiemmin. Ongelmana pysyy vieläkin kaapeloinnin hinta, mihin ei aivan lähiaikana vielä vaikuta langattoman tiedonsiirtoteknologian kehittyminen (RF-, IR- ja bluetooth-tekniikat).

## LÄHDEVIITTEET

Asikainen, M. Kunnonvalvonnan mittalaitteiden diagnostiikka. Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, Espoo, 2001. 88 s.

Aumala, O., Ihalainen, O., Jokinen, H., Kortelainen, J., Mittaussignaalin käsittely. 3. Uudistettu painos. Pressus Oy, Tampere, 1998.

Bentley, John P. Principles of measurement systems. Longman Group Ltd, Harlow, 1995. 468 s.

Halko, P., Launonen, H., Malinen, R., Välimaa, T., Sähkömittaustekniikka. 3. Painos, Oy Edita Ab, Helsinki, 1998.

Hämäläinen, A., A Open Microcomputer-Based Laboratory System for Perceptual Experimentality. Academic Dissertation, Department of Physics, University of Helsinki, Finland, Helsinki 1998.

Lähteinen, O., Uusi PC-tekniikan käsikirja. Helsinki Media Erikoislehdet, Helsinki, 1997.

Mustonen, M., Tervo, J., Lineaarijohteen kunnonvalvonta akustisen emission, värähtelyn ja äänen mittauksin. VTT raportti BVAL73-001059, VTT Valmistustekniikka, Espoo, 2000.

Parikka, R. & Tervo, J. Anturit Hydrauliiikan mittauksissa. VTT Raportti VALB417, VTT Valmistustekniikka, Espoo, 1999.

Adaptec, PCI, 64-Bit and 66-MHz Benefits. <http://www.pc-card.com/techsupport.htm>, 2001.

Rao, B., Handbook of Condition Monitoring. Elsevier Science Ltd., Oxford, UK, 1996.

Ruske, D., Making Sense of PCMCIA. <http://www.ruske.net/pcmcia.htm>, 2001.

Wiarda, D., Wheatstone Bridge - Measure an unknown resistance <http://www.dwiarda.com/scientific/Bridge.html>, 2001.

National Instruments, Signal Conditioning Fundamentals for Computer-Based Measurement Systems, Application Note 048, 2001.