



## Akustiikkaa pinnanvalvontaan Mitä kaiku vastaa?

Kaikuluotain on kosketukseton äänen kulkuaikaan perustuva mittaamenetelmä, jossa lähetetyn pulssin ja kohteesta heijastuneen kaiun välinen kulkuaika muunnetaan etäisyydeksi ja siitä edelleen tiedoksi pinnankorkeudesta tai materiaalmäärästä mittauskohteessa.

**K**aikuluotain on sovellusmahdollistuksiltaan erittäin monipuolinen. Sitä voi soveltaa sekä kiintoaineiden että nesteiden ja lietteiden pinnankorkeuden mittaamiseen. Koska kyseessä on ainetta kosketuksettomasti mittaava menetelmä, ei mitattavan materiaalin tiheys, johtavuus, dielektrisyysvakio, syövyttävyys tai mekaaninen kuluttavuus vaikuta mittaustuloksiin.

Perinteisesti mittausjärjestelmissä on käytetty ultraäänitaajuuksilla toimivia antureita, jotka ovat pienikokoisia, äänikehitykseltään kapeita ja edullisia valmistaa. Ultraäänitaajuuksilla toimittaessa mittausmatkan ja -olosuhteiden epäedullisuus ovat olleet rajoitteena akustisen pinnanmittausmekaniikan soveltamiselle.

Matalataajuisien, kuuloalueella toimivien laitteiden myötä tekniikan sovellusmahdollisuudet ovat laajentuneet merkittävästi mm. pneumaattisesti siirrettävien pölyjen mittauksiin varastosiiloissa.

Teknisenä toteutuksena voi olla ilmaa äänienergian väliaineena käyttävä järjestelmä tai mitattavassa nesteessä etenevää äänienergiaa hyödyntävä menetelmä. Jälkimmäinen teknologia soveltuu vain nesteille eikä ole vielä laajasti yleistynyt teollisissa mittaussovelluksissa.

### Äänen eteneminen ilmassa ja kaasuisa

Ääniaallot etenevät ilmassa paineaaltoina, tarkemmin sanoen ilmamolekyylien tihtymä ja harventuminen. Rock-konsertissa, jossa voimakkaita matalataajuisia pulsseja



**Akustinen pinnanmittaussoveltuu kosketuksettomuuden ansiosta hyvin esim. kaivosteollisuuden käyttökohteisiin. CE - direktiivit eivät rajoita käyttöä avoimissa asennusympäristöissä, koska laitteisto ei lähetä mikroaaltoja tai muuta sähkömagneettista säteilyä.**

tulee bassosta ja bassorummusta, voi painepulssin tuntoa kehossaan. Mittaustekniikassa ääntä muodostavat anturit toimivat sekä lähettiminä (kaiutin) että vastaanottiminä (mikrofoni).

Idealisissa kaasuissa, joihin ilmakin kuuluu, äänen etenemisnopeus riippuu kaasun laadusta ja lämpötilasta. Ilmalle pätee  $v(\text{ilma}) = 331,4 / (T+273)273$  m/s, jossa T= ilman lämpötila.

### Ilman paineen ja lämpötilan vaihtelu

Jos mittaustilanteessa säiliön paine kasvaa, se ei aiheuta muutosta mittaustulokseen

edellyttäen, että lämpötila pysyy vakiona. Edellä esitetystä kaavasta nähdään, että lämpötilan muuttuessa etenemisnopeus muuttuu. Tästä syystä mittauksessa on oltava aina mukana automaattinen lämpötilan kompensointi mittausepä tarkkuuden minimoimiseksi. Kompensoinnin tarkkuus riippuu siitä, miten hyvin yhdessä pisteessä mitattu lämpötila edustaa keskimääräistä lämpötilaa mittaustilalla. Mittatilalla olevan kaasun koostumuksen muutokset näkyvät myös muutoksena etenemisnopeudessa. Tästä syystä menetelmää ei suositella kohteisiin, jossa väliaineen laatu ja koostumus vaihtelee voimakkaasti.

## Akustinen teho ja vaimeneminen

Ääni ei "kanna" äärettömiin vaikka äänilähde tai pulssi olisi syntyessään miten voimakas tahansa.

Etäisyyden kasvaessa jakautuu lähetetty energia yhä suuremmalle pinta-alalle, jolloin äänen intensiteetti pinta-alayksikköä kohti pienenee. Paineaalto heikkenee paitsi geometrisistä syistä myös kitkahäviöiden kautta; osa energiasta muuttuu lämmöksi.

Kyseinen signaalivaimennuksen suuruus riippuu ratkaisevasti äänen taajuudesta. Kun taajuus on korkea, on ilmamolekyylien liikenopeus suuri ja vaimennus syntyy kitkahäviöiden seurauksena.

Tästä voidaan päätellä, että pitkällä mittausetäisyyksillä tarvitaan matalataajuisia lähetystä.

## Heijastuman eli paluukaiun voimakkuus

Mitattavasta pinnasta heijastuvan kaiun voimakkuus riippuu heijastusolosuhteista. Normaalissa heijastumisessa (peiliheijastuminen) äänienergia tunkeutuu ja vaimenee osaksi mitattavaan pintaan. Loppuosa energiasta heijastuu heijastuslakien mukaan: tulokulma = heijastuskulma.

Mitattaessa tasaista, kovaa kohdetta (esim. neste) kohti 90 asteen kulmassa, heijastuu lähes kaikki äänienergia takaisin pinnasta. Jos nesteen pinta aaltoilee, osa energiasta peilaa muual-



Kuvassa suurennois kutteripurukasan pinnasta. Kekukulma on jyrkkä. Sirontaa tapahtuu pinnan epätasaisuuksista. Sironnan hyödyntäminen edellyttää älykkään signaalialgoritmin käyttöä etenkin kapeissa siiloissa.

**WESTERMO**

**ELPRO**

- ETHERNET -KYTKIMET JA -ADAPTERIT
- MODEEMIT (GSM ja lanka)
- OPTISEN KUIDUN MUUNTIMET (yksi- ja monimuoto)
- MUUNTIMET: RS232/RS485/RS422, VIRTASILMUKKA
- GALVAANISET EROTTIMET
- RADIOMODEEMIT JA LANGATON I/O:N SIIRTO
- PROFIBUS, MODBUS, ...

**SALMETEK OY**

VARMAA TIEDONSIIRTOA

www.salmetek.fip. 09-2766 250f. 09-2766 2550

le kuin takaisin anturin suuntaan. Jos pinta taas on koskimaisen epävakaan, esim. voimakkaan sekoituksen vuoksi, on anturille tuleva signaali vieläkin heikompi. Samoin jos pinnalla on vaahtoa, se absorboi äänienergiaa ja alentaa paluusignaalin voimakkuutta.

## Sironta

Kaikumittausta voi soveltaa myös jyrkkiä jopa yli 45°:een kekokulmia muodostavien aineiden pinnan mittauksiin. Tämän taustalla on äänipulsin sirontaefekti. Sirontaa tapahtuu kaikissa pinnoissa, joiden epätasaisuus tai partikkelikoko on tietyssä suhteessa lähetetyn äänen aallonpituuteen.

Peiliheijastuksesta sirontaan siirrytään kun pinnan epätasaisuus noin luokkaa 1/6... 1/4 lähetetyn aallonpituudesta. Näin ollen sironta riippuu lähetetyn äänen taajuudesta ollen suurin silloin, kun aallonpituus suhteessa raekokoon on pienin.

On selvää, että sironnassa "hukkaan menevän" energian osuus kasvaa mitattavan aineen kekokulman myötä. Raekoko ei yksinään määrittele sirontaefektin voimakkuutta ja laatua. Sirontaa tapahtuu myös hyvin hienojakoisilla jauheilla ja pölyillä. Käytännön kannalta voidaan todeta, että mitattaessa kekoontuvia irtomateriaaleja, saadaan laadukkaampi kaiku kun aineen partikkelikoko tai pinnan epätasaisuus suurenee, kekokulma pienenee ja materiaali on tiiviimpää.

## Mittausolosuhteiden vaikutus ja huomioon ottaminen

### Anturin asennus

Anturin asennus ja sen oikea sijoittaminen mittauskohteeseen on onnistuneen mittauksen perusedellytys. Suurimmat virheet voi välttää kun varmistaa seuraavat seikat:

Anturia ei saa sijoittaa niin, että se joutuu mitaamaan täyttösuihku läpi. Pneumaattisesti täytettävissä siiloissa anturia ei saa sijoittaa välittömästi täytön viereen. Anturia ei myöskään saa sijoittaa niin, että sen edessä on voimakkaita häiriölähteitä kannatinpalkeista, portaista tai muista kohteen sisäisistä rakenteista. Anturin asennusyhde on rakennettava siten, että ääntä emittoiva osa siitä tulee vapaaseen säiliötilaan. Mikäli käytetään korotusyhteitä, ne on tehtävä valmistajan antamien ohjeiden mukaan.

## Mittausolot, vaimennuskertoimet

Mittausjärjestelmän suorituskykyyn todellisessa mittaustilanteessa vaikuttaa seuraavat seikat, jotka



on huomioitava tarkoitukseen aiotun laitteiston mitoituksessa.

### 1) Mitattava maksimietäisyys

Mikäli mittauskohteessa on kartiopohja, tulee maksimimittausetäisyyteen lisätä noin 30...40 % säiliön korkeudesta. Tällä varmistetaan se, että systeemi pystyy "näkemään" pohjakartiosta peilausten kautta tulevan heijastuman, jos säiliössä ei ole lainkaan täyttömateriaalia. Jos tätä ei huomioida, voi seurauksena olla väärä näyttämä, kun säiliö on tyhjä.

### 2) Mitattavan aineen laatu

Tasainen nestepinta on optimaalinen heijastin. Jauheet ja pölymäiset aineet (esim. puru tai turve) toimivat äänienergian vaimentimina, jolloin paluukaiku on vain murto-osa siitä, mitä se olisi vastaavalla etäisyydellä olevasta nestepinnasta.

### 3) Mittauspaikan olosuhteet

Pöly ja vesihöyry vaimentavat lähetettyä signaalia varsinkin, jos käytetään korkeita ultraäänitaajuuksia. Vaahto vaimentaa mittaus-signaalia ja aaltoilu sekä sekoitus aiheuttavat sirontaa heikentäen paluusignaalia. Vinosta keosta tuleva kaiku on merkittävästi heikompi kuin kohtisuorasta pinnasta tuleva ja täyttö aiheuttaa kohinaa ja signaalivaimennusta osuessaan mittauskeilaan.



Jätevesipumppaamojen pinnansäädössä on etua kosketusettomasta mittaustavasta, koska mitattavan aineen laatu, mm. kiintoainemäärä, vaihtelee. Pinnan vaahtoaminen, aaltoilu, kondensoituminen ja vesihöyry on huomioitava laitteiston mitoituksessa. Kuvassa 10 kHz:n taajuudella toimiva anturi.



Esimerkki erikoissovelluksesta - selkeyttimen lietepinnankorkeus, jossa akustisella menetelmällä on mahdollista tarkkailla ja säätää samanaikaisesti kahta eri muuttujaa selkeyttimessä tai sakeuttimessa. Selkeytysprosessille on tyypillistä, että varsinaisen lietepatjan yläpuolella on ns. harmaa vyöhyke, jossa tiivistyvän lietteen pitoisuus vähitellen kasvaa. Tämän harmaan vyöhykkeen paksuus kertoo operaattorille, kuinka hyvin liete laskeutuu. Paksuuden kasvu voi kertoa väärästä saostuskemikaalien annostelusta tai hydraulisen kuormituksen epätasapainosta. Seurauksena voi olla lietteen ei toivottu pääsy prosessissa eteenpäin, lietelautojen syntyminen selkeyttimien tai lietteen pääsy esim. vesistöön. Akustisella menetelmällä on mahdollista mitata samanaikaisesti sekä harmaan vyöhykkeen että varsinaisen lietepatjan sijainti selkeyttimessä. Molemmille annetaan pintaa vastaava asetusarvo suoraan lietetiheytenä (g/l).

### 4) Anturin likaantuminen

Lika ja anturiin tarttuva materiaali tai kondenssin syntyminen saattavat vaikuttaa voimakkaasti suorituskykyyn käytettäessä ultraäänitaajuuksia.

Kaikki edellä esitetyt seikat puhuvat sen puolesta, että on tärkeää mitoitaa ja valita anturijärjestelmä niin, että riittävän suuri akustinen teho saavutetaan kaikissa mahdollisissa mittaustilanteissa.

Olosuhteiden ja mittaamatkan yhdistelmän tullessa liian haasteelliseksi, ei korkeilla taajuuksilla toimivien antureiden teho enää riitä. Jos mittaussignaali on liian pieni, se katoaa pohjakohinaan eikä paraskaan signaalikäsitteily pysty parantamaan lopputulosta.

Tilannetta voidaan korjata siirtymällä kuuloalueella toimivien akustisten anturien käyttöön.

Lähetystaajuutta alentamalla pystytään akustisen pinnanmittauksen suorituskyky soveltamaan optimaalisesti mittaustapaan tarpeisiin olosuhteiden muuttuessa epäedullisiksi.

Matalat taajuudet edellyttävät suuntauskartion (eräänlainen megafoni) käyttöä. Sen avulla paineaalto saadaan vahvistettua ja suunnattua niin, ettei säiliön seinämillä tule häiriökaikuja.

Matalataajuinen pulssi toimii bassokaiuttimen tapaan siirtäen mekaanisella värähtelyllään esim. kondenssin pois anturista.

Matalia taajuuksia generoitaessa lähe-tyksen aallonpituus kasvaa. Aallonpituus

**Taulukko1 : Tyypillisiä akustisen pintatutkan suoritusarvoja sovelluksen mukaan**

	<b>Taajuus</b>	<b>Suurin mittausetäisyys:</b>
	Nesteillä/lietteillä	Kiintoaineilla/jauhoilla
50 kHz	5/0 m	Ei sovellu
40 kHz	7/2 m	Ei sovellu
30 kHz	12 /6m	5/2 m
20 kHz	25 /20 m	15/10 m
15 kHz	50 /50m	25/15 m
10 kHz	75/75 m	60/30 m
5 kHz	125 /125m	100/60 m

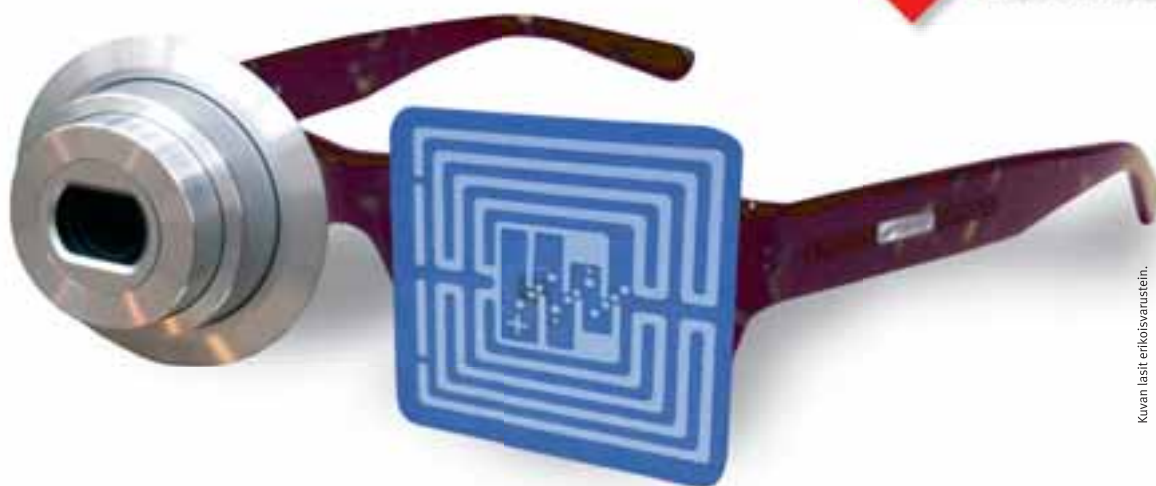
**Taulukossa 1 on esitetty erään valmistajan taajuuden ja maksimimittaamatkan välinen yhteys eri tyyppisille käyttökohteille.**

**On huomioitava, että valmistajien tekninen dokumentaatio saattaa antaa joskus liian optimaalisen kuvan siitä, mihin laite käytännössä pystyy. Laitteen soveltaja tai suunnittelija ei myöskään aina ole tietoinen kaikista olosuhdemuuttujista. Lievä, joskus jopa huomattava ylimitoitus tehon suhteen laitteita valittaessa on useimmissa tapauksissa hintansa väärti.**

on merkittävä muuttuja, joka vaikuttaa anturin rakenteeseen. Lautasmaista tasoanturia sovellettaessa anturin lähetystason halkaisija kasvaa. Sylinterimäisessä, akustisessa männässä taas anturin pituus kasvaa.

Tämä toteutus on yleisempi matalataajuisissa antureissa, koska tarvittavat aukotukset ja mittausyhte siilon päällä ovat pienemmät. ■

## Millaiset vahvuudet?!



Kuvan lasit erikoisvanuutin.

**TÄMEREN** alueen suurin automaatioalan tapahtuma Automaatio 07 järjestetään 4.–6.9.2007 Helsingin Messukeskuksessa. Varmista näkyvyytesi Suomen suurimmassa teknologiateollisuuden messutapahtumassa ja varaa osasto. Samanaikaisesti Messukeskuksessa myös Hydraulikka & Pneumatiikka 07, koneenrakennusteollisuuden MecaTec 07 sekä ammattielektroniikan Elkom 07.

Muutamia hyviä paikkoja on vielä jäljellä, ilmoittaudu heti! Suomen Messut, Antti Hukkanen, puh. (09) 1509 218, antti.hukkanen@finnexpo.fi

[www.automaaatiomessut.fi](http://www.automaaatiomessut.fi)

**Automaatio 07 -messut  
Helsingin Messukeskus 4.–6.9.2007**