

---

# Mittalaitteiden kalibrointi



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Valkeakoski, kevät 2016

Ami Kumpulainen



VALKEAKOSKI

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

---

<b>Tekijä</b>	Ami Kumpulainen	<b>Vuosi</b> 2016
<b>Työn nimi</b>	Mittalaitteiden kalibrointi	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Bilfinger Industrial Services Finland Oy, joka kuuluu maailmanlaajuiseen Bilfinger SE konserniin.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä mittalaitteiden kalibrointiin ja tehdä työohje kalibroinnista Bilfingerille koulutus käyttöön.

Teoria osuudessa kerrotaan kalibroinnin periaatteista ja mittalaitteista. Työssä käydään läpi myös räjähdysvaarallisten tilojen instrumentointia, HART-protokollaa ja kalibroinnissa käytettäviä laitteita.

Tehdyn työn tuloksena valmistui 157-sivuinen työohje, jossa opastetaan Beamex MC6 laitteen käyttöä kalibroinnissa ja Emerson 475 kenttäväyläkommunikaattorin- ja yleismittarin käyttöä piirikoestuksissa. Työohje jää ainoastaan Bilfinger I.S.F. Oy:n käyttöön eikä sitä saa julkaista tai jakaa julkisesti ilman Bilfinger I.S.F. Oy:n lupaa.

**Avainsanat** Mittalaite, kalibrointi, ATEX, Ex-laite, Hart

**Sivut** 26 s. + liitteet 4 s.

VALKEAKOSKI

Degree Programme in Automation Engineering

---

**Author**

Ami Kumpulainen

**Year** 2016

**Subject of Bachelor's thesis**

Calibration of measurement devices

---

ABSTRACT

This work was commissioned by Bilfinger Industrial Services Finland Oy which is a part of the Bilfinger SE Group.

The objective of this thesis was to take a look at the calibration of measurement devices and to produce instructions about calibrations for educational use at Bilfinger.

The theory part of this thesis includes the principles of calibrations and measurement devices. It also deals with the instrumentation on an explosive hazardous environment, the HART-protocol and the equipment that is used in calibrations.

The result of this thesis is 157 pages of instructions for using Beamex MC6 in calibrations and for using the Emerson 475 field communicator and digital multimeter for loop testing. This instruction manual is only intended for the use of Bilfinger I.S.F. Oy and it is prohibited to publish or share it public by without the approval of Bilfinger I.S.F. Oy.

**Keywords** Measurement device, calibration, ATEX, Ex device, Hart

**Pages** 26 p. + appendices 4 p.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	KALIBROINTI .....	1
2.1	Mitä on kalibrointi?.....	1
2.2	Miksi kalibroidaan?.....	1
3	MITTALAITTEET.....	2
3.1	Lämpötilamittaus.....	2
3.1.1	Termoelementit.....	2
3.1.2	Vastuslämpömittarit .....	4
3.1.3	Lämpötilakalibraattorit .....	5
3.2	Painemittaus .....	6
3.2.1	Painemittarit .....	8
3.2.2	Painelähttimet .....	8
3.2.3	Painemittauslaitteiden kalibrointi.....	9
3.3	Virtausmittaus .....	9
3.3.1	Paine-erolähetin.....	10
3.3.2	Vortex .....	11
3.3.3	Coriolis .....	12
3.4	Pinnanmittaus.....	13
3.4.1	Painelähetin .....	13
3.4.2	Uimurikammio .....	15
3.4.3	Uimurikammion pintamittauksen kalibrointi.....	16
4	RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT .....	16
4.1	Tilat ja tilaluokat .....	16
4.2	Tiloissa käytettävät laitteet.....	17
5	HART-PROTOKOLLA .....	18
6	TYÖKALUJA .....	19
6.1	Emerson 475 kenttäväyläkommunikaattori.....	19
6.2	Beamex MC6.....	21
6.3	Fluke Processmeter 789 .....	22
7	YHTEENVETO .....	23
	LÄHTEET .....	25

Liite 1	Hart-laitteen perinteinen valikkopuu
Liite 2	Rosemount 3051S painelähttimen Hart-puu 1/3
Liite 3	Rosemount 3051S painelähttimen Hart-puu 2/3
Liite 4	Rosemount 3051S painelähttimen Hart-puu 3/3



## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Bilfinger Industrial Services Finland Oy, joka kuuluu maailman laajuiseen Bilfinger SE konserniin. Konsernin historia ulottuu aina 1880-luvulle asti. Bilfinger Industrial Services Finland Oy tarjoaa asiakkailleen monipuolisia palveluratkaisuja mekaanisen- ja sähköistyksen- sekä instrumentoinnin alalta. Palveluihin kuuluvat mm. huollot, suunnittelu ja tulenkestävien rakenteiden valmistus. Heidän asiakkaansa toimivat muun muassa kemian-, petrokemian- ja metalliteollisuudessa sekä energiantuotannossa. (Bilfinger n.d.) Työn tarkoituksena oli perehtyä mittalaitteiden kalibrointiin ja tehdä työohje kalibroinnista työn toimeksiantajalle koulutus käyttöön. Mittalaitteet rajattiin käsittelemään niiden valmistajien laitteita, joita Bilfinger Industrial Services Finland Oy:n suurimmilla asiakkailla on määrällisesti eniten käytössä. Mittalaitteiden rajausta auttaa myös työohjeessa käsiteltävien asioiden selkeyteen.

## 2 KALIBROINTI

### 2.1 Mitä on kalibrointi?

Kalibroinnissa verrataan mittalaitetta tarkempaan standardiin. Standardin mukaisina referensseinä käytetään SI-järjestelmän perussuureita. (Fluke 1994, 3-4.) Jäljitettävyyden on yksi kalibrointiin liittyvistä osa-alueista. Sillä varmistetaan, ”että mittaustulos voidaan yhdistää referenssiin dokumentoidulla katkeamattomalla kalibrointien ketjulla, jonka jokainen kalibrointi vaikuttaa mittauserävarmuuteen.” (Hemminki, Hiltunen, Hägg, Järvenpää, Kärhä, Linko, Saarinen & Simonen 2011, 28.) Mittausta tehtäessä tulisi mittaustiedot tallentaa joko automaattisesti tai manuaalisesti. Tiedoissa pitäisi vähintään olla kalibrointipäivä, kalibrointitiedot ja seuraavan kalibroinnin ajankohta. (Fluke 1994, 3-5 – 3-6.) Täydellinen ja kuvailtu dokumentaatio on välttämätön todistamaan tehdyn mittauksen jäljitettävyyden. Sähköinen tietokanta on käytännöllisempi kuin perinteinen paperinen tietokanta. Sähköisestä tietokannasta on huomattavasti yksinkertaisempaa etsiä tietoa kalibroiduista laitteista ja tarkastella niiden tulevia kalibrointi ajankohtia. (Fluke 1994, 6-11.) Kalibroinnin yhteydessä puhutaan myös virityksestä vaikka se ei kuulu kalibrointiin. Viritys on oma toimenpide, jolla mittalaitteeseen saadaan näyttämään spesifikaation mukaisia arvoja. Jos mittalaitteen suorituskyky on laskenut ja laitetta viritetään kalibroinnin yhteydessä on kalibrointitulokset ilmoitettava ennen ja jälkeen virityksen standardin mukaisesti. (Hemminki ym. 2011, 47.)

### 2.2 Miksi kalibroidaan?

Ikääntyessään tai joutuessaan lämpötilavaihteluiden- tai fyysisten rasitusten kohteeksi, laitteiden suorituskyky vähitellen laskee. Suorituskyvyn laskusta käytetään myös termiä ”ryömintä”. Tämän

seurauksena mittalaitteelta saatava tieto ei ole enää luotettavaa ja voi vaikuttaa tuotannon laatuun. Ryömintää ei voida poistaa kokonaan, mutta sen voi havaita kalibroinnilla. Kalibroinnin tarkoituksena on tarkistaa mittalaitteen tai sensorin tarkkuus. (Beamex 2012, 73.) Sillä säilytetään tuotteen- ja mittausten laatu korkeana, täytetään viranomaismääräykset ja vähennetään ympäristöpäästöjä (Beamex 2015a). Kalibrointi saatetaan jättää tekemättä tai kalibrointiväliä pidentää taloudellisista syistä johtuen. Kalibroinnin laiminlyömisellä saattaa olla taloudellisia seurauksia jotka saattavat johtaa suunnittelemattomiin koneen- tai laitoksen alasajoihin. Kalibroinnin merkitys kasvaa sellaisilla laitteilla jotka sijaisevat esim. räjähdysvaarallisella alueella tai muuten ovat kriittisiä laitoksen toiminnalle. Tällaisten laitteiden kalibroinnin laiminlyönti voi vaikuttaa henkilöturvallisuuteen. (Beamex 2012, 74.) Kalibrointivälille ei ole standardia, mutta yleinen kalibrointiväli on n. kerran vuodessa. Laitteiden suoritusarvojen seurannalla saadaan tarkemmat kalibrointivälit selville. (Hemminki ym. 2011, 48.)

### 3 MITTALAITTEET

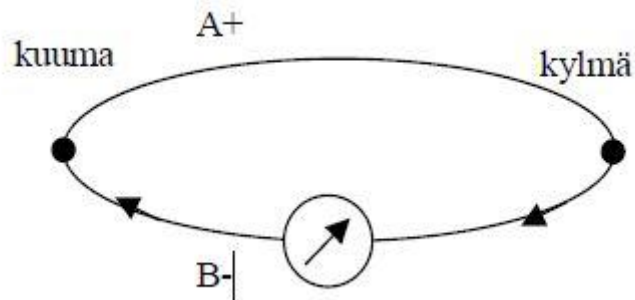
#### 3.1 Lämpötilamittaus

Lämpötilaa voidaan mitata kappaleista ja aineista. Mittaus voi perustua joko kosketusmittaukseen tai koskemattomaan mittaukseen. Kosketusmittauksen edellytyksenä on, että mitta-anturi on tarpeeksi syvällä mitattavassa väliaineessa. Kiinteän kappaleen ollessa väliaineena pitäisi mitta-anturille olla syvä tasku tai onkalo. Koskettamatonta mittausta suoritettaessa esim. infrapunamittaus, pitäisi muistaa ottaa huomioon mitattavan pinnan lämpötilan tasaisuus, pintamateriaalin emissiivisyys sekä infrapunälämpömittarin optiikan virheet. (Weckström 2005, 9.) Lämpötilaa mitattaessa tulisi odottaa, että mittarin lämpötila asettuisi samaan mittauskohteen lämpötilan kanssa. Mikäli mittaus suoritetaan käyttäen digitaalinäytöllä varustettua vastusanturia niin se tulisi kytkeä päälle hyvissä ajoin ennen mittausta jotta lämpötila siinä ehtisi tasaantua, koska sen aiheuttama mittausvirta lämmittää mittaria. Mittaus tulisi suorittaa useamman kerran (esim. 4-10 kertaa) ja kirjata mittaustulokset muistiin. Mittaustulos on mitattujen lukemien keskiarvo. (Weckström 2005, 10.) Teollisuudessa lämpötilan mittaukseen käytetään yleensä joko termoelementtejä tai vastuslämpömittareita.

##### 3.1.1 Termoelementit

Termoelementti on varsin yleisesti käytetty anturityyppi ja varsinkin yli 500°C lämpötiloissa sen käyttö on vastusantureita yleisempää. Sen toiminta perustuu termosähköiseen ilmiöön eli kun kahdesta metallista tai metalliseoksesta valmistettua lankaa yhdistetään virtapiiriksi niin niistä muodostuu termopari. Termoparin liitoskohtien ollessa eri lämpötiloissa alkaa suljetussa virtapiirissä kulkea virta jonka synnyttävää voimaa

kutsutaan termosähköiseksi (Seebeck) jännitteeksi. (Weckström 2005, 25-26.)



Kuva 1. Termojännitteen syntyminen

Kuvassa 1. on virtapiiriin liitetty analoginen virtamittari, galvanometri, jonka lukema kasvaa liitoskohtien lämpötilaeron kasvaessa. A johdin on positiivinen B johtimeen nähden silloin kun virran kulkusuunta kylmemmästä liitoksesta on A:sta B:hen. Käytettäessä termoelementtiä on muistettava, että termojännite riippuu kahdesta lämpötilasta, mittauskohteen- ja vertailupisteen lämpötiloista. Mittauskohde on kuuma- ja vertailupiste kylmä lämpötila joka on tunnettava jotta mitattavan kohteen lämpötilan määrittäminen onnistuisi. Termoelementtejä on erilaisia ja ne jaetaan käytettyjen metalli ja metalliseoksien mukaan jalometalli- ja perusmetallitermoelementteihin. Jaottelu tapahtuu taulukoiden 1. ja 2. mukaan. (Weckström 2005, 28.)

Taulukko 1. Tavallisimmat jalometallitermoelementit

Tunnuskirjain	Lankamateriaali	Standardi
S	Pt10Rh-Pt	IEC584
R	Pt13Rh-Pt	IEC584
B	Pt30Rh-Pt6Rh	IEC584

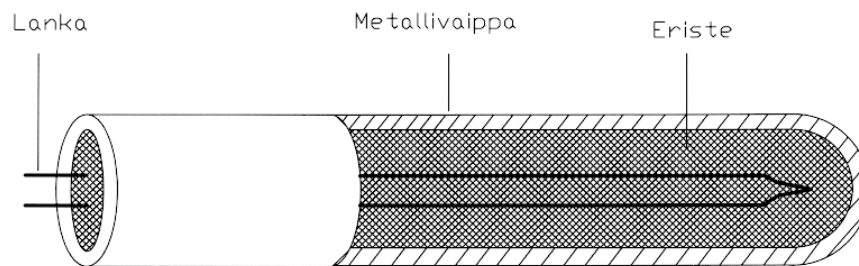
Taulukko 2. Perusmetallitermoelementit

Tunnuskirjain	Lankamateriaali	Standardi
U	Cu-CuNi	DIN43710
T	Cu-CuNi	IEC584
L	Fe-CuNi	DIN43710
J	Fe-CuNi	IEC584
K	NiCr-Ni	IEC584
E	NiCr-CuNi	IEC584
N	NiCrNi-NiSi	IEC584

Cu-CuNi- ja Fe-CuNi-materiaalista valmistettuja termoelementtejä on käytössä sekä DIN- että IEC-standardissa. Kannattaa aina varmistaa kumman standardin mukaista termoelementtiä tarkoitetaan.



Termoelementin rakenteesta johtuen joudutaan se tavallisesti eristämään ja suojaamaan ympäristön vaikutuksilta, tämä tehdään tapauskohtaisesti kun haetaan parasta mahdollista suojausta. Käytettävä eristysaine ja suojaputki eivät saa vaikuttaa lankojen kemialliseen koostumukseen, koska eristysaineen tarkoitus on taata riittävä sähköinen eristyskyky käyttöolosuhteissa. Myös mekaaninen kestävyys ja lämpötilan vaihtelut olisi syytä huomioida. Termoelementti voidaan valmistaa myös taipuisasta kaapelista, jonka suojana on metallivaippa. Kuvassa 2. voidaan nähdä vaipan ja lankojen välissä oleva eristeaine, joka on magnesium- tai alumiinioksidipulveria. Metallivaippoja on useita vaihtoehtoja. Tällaisesta kaapelista käytetään nimitystä MI-kaapeli (Mineral Insulated Thermocouple Cable). Lähes kaikkia perusmetallista valmistettuja termoelementtejä on mahdollista saada MI-kaapelina. MI-kaapeli sietää hyvin värinöitä, se on helppokäyttöinen, sillä on hyvä eristyskyky ja sitä voidaan valmistaa jopa kymmeniä metrejä pitkiä termoelementtejä. (Weckström 2005, 31-32.)



Kuva 2. MI-kaapelin rakenne

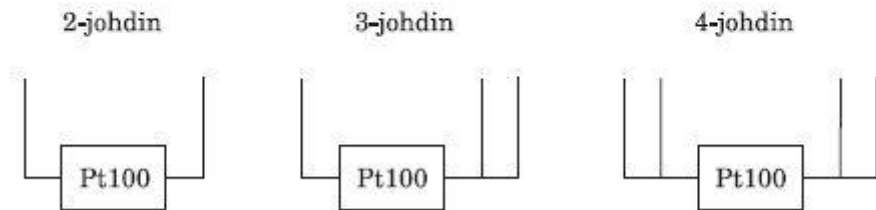
### 3.1.2 Vastuslämpömittarit

Lämpömittari, jonka toiminta perustuu anturi-aineen sähköisen vastusarvon muutokseen joka on riippuvainen lämpötilasta. Eli kun lämpötila nousee niin aineen resistanssi kasvaa. Yleensä anturit valmistetaan platinasta, kuparista, nikkelistä tai metallioksidien seoksista (termistorit). Yleisin teollisuudessa käytössä oleva on platinavastusanturi ja ne voidaan jakaa lanka-antureihin (langan paksuus 0,05mm) ja platinakalvoantureihin. Yleisesti käytetty standardisoitu vastusarvo  $0^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa on  $R_0=100\Omega$  (Pt100-anturi). (Weckström 2005, 41.) Pt100-anturin vastus muuttuu lämpötilan funktiona  $0,39\Omega/^{\circ}\text{C}$  (skssensors 2015).

Vastusmittaus voidaan suorittaa joko 2-, 3- tai 4-johdinmittauksena. Anturi kytketään mittauslaitteeseen halutulla kytkennällä. Johtimena käytetään useasti kuparijohtoa, jonka eristysvastuksen tulee olla riittävän hyvä. Käytettäessä 2-johdinkytkentää on mittaustuloksissa otettava huomioon johtimen vastus, koska johtimien vastus muutokset aiheuttavat

aina epävarmuutta mittaustuloksiin. 4-johdinmittauksella saadaan tarkin mittausta, jossa toiseen johdin pariin syötetään virta ja mitataan jännite toisesta parista.

### Pt100 anturin vastusmittaus



Kuva 3. Pt100-anturin vastusmittaus

Jos käytetään kuvan 3. mukaista 2-johdinkytkentää tulisi johdinvastus pitää mahdollisimman pienenä. 3-johdinkytkentää käytettäessä pitää johtimien olla keskenään saman suuruisia. (Weckström 2005, 44-45.)

### 3.1.3 Lämpötilakalibraattorit

Yleisimmät lämpötilakalibraattorit ovat unimallisia ja pienen koon ansiosta helposti liikuteltavia (kuva 4). Sisäänrakennetun jäähdytyksen ansiosta, niissä malleissa joissa tämä toiminto on, voidaan päästä myös reilusti pakkasen puolelle. Unimalliset kalibraattorit koostuvat yleensä lämmityslohkosta, säätöyksiköstä, säätävän anturin lämpötilan näytöstä ja niissä on myös upokas anturia varten. (Weckström 2005, 61.) Kun tarvitaan parempaa tarkkuutta lämpötilan mittaukseen niin perinteiseen uuniin on yleensä mahdollista asentaa erillinen referenssianturi. Beamexin MB-uuneissa (kuva 4) on sisäänrakennettu tarkka mittaustanturi, jolla päästään jopa 0,1°C tarkkuuteen. Ulkoisen referenssianturin käyttö on tarvittaessa mahdollista. (Beamex 2015b.)



Kuva 4. Beamex MB kuivalohkouuni

Upotussyvyyydet saattavat olla eri valmistajien laitteissa pieniä (100 mm...150 mm), Beamexin MB-uuneissa n. 160 mm:stä jopa 203 mm:iin. (Beamex 2015b), joten lämmönjohtavuuden anturiin tulisi olla hyvä. Nyrkkisääntönä upotussyvyyteen on vähintään 15 kertaa anturin halkaisija ja anturin halkaisija saisi olla enintään 6 mm. Toisissa malleissa voidaan myös upokas vaihtaa anturin paksuuden mukaan. Kalibroitaessa korkeampia lämpötila-alueita voidaan upokkaan yläpuolelle laittaa esim. eristevillalla täytetty metalliputki lisäeristeeksi. Jos uunin kalibroinnissa on käytetty lisäeristystä niin siitä on oltava maininta kalibrointitodistuksessa. Lisäeristämisestä on olemassa myös valmistajakohtaisia ohjeita joita tulisi noudattaa. (Weckström 2005, 61.)

Lämpötila-anturin kalibrointi suoritetaan asettamalla kalibroitava anturi uuniin tai nestehauteeseen. Kalibroitavan anturin näyttämää verrataan tarkemman referenssinä toimivan anturin näyttämään. Referenssianturina voi toimia uunin oma sisäinen lämpötila-anturi tai haluttaessa tarkempia tuloksia voidaan käyttää ulkopuolista referenssianturia. Tärkein kriteeri kalibroitaessa lämpötila-antureita on se kuinka tarkkoja anturit ovat samassa lämpötilassa. (Beamex 2012, 144.)

### 3.2 Painemittaus

Paine ( $p$ ) on suure, joka ilmaisee kohtisuoraan vaikuttavaa voimaa ( $F$ ) pinta-alayksikköä ( $A$ ) kohden eli  $p = F / A$ . Paineen yksikkö SI-järjestelmän mukaan on pascal (Pa). ”Yksi pascal on paine, jonka yhden newtonin suuruinen voima tasaisesti jakautuneena aiheuttaa yhden

neliömetrin pinta-alalle ( $1\text{ Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ ).” (Saxholm & Rantanen 2011, 6.)  
Pienestä yksiköstä johtuen käytetäänkin usein sen kerrannaisia:

$$1\text{ hPa} = 100\text{ Pa}$$

$$1\text{ kPa} = 1000\text{ Pa}$$

$$1\text{ Mpa} = 1000000\text{ Pa}$$

Yleisesti käytetään myös SI-järjestelmään kuulumatonta baaria (bar):

$$1\text{ bar} = 100000\text{ Pa} = 1000\text{ hPa} = 0,1\text{ MPa}.$$

Muita paineen yksiköitä mm.:

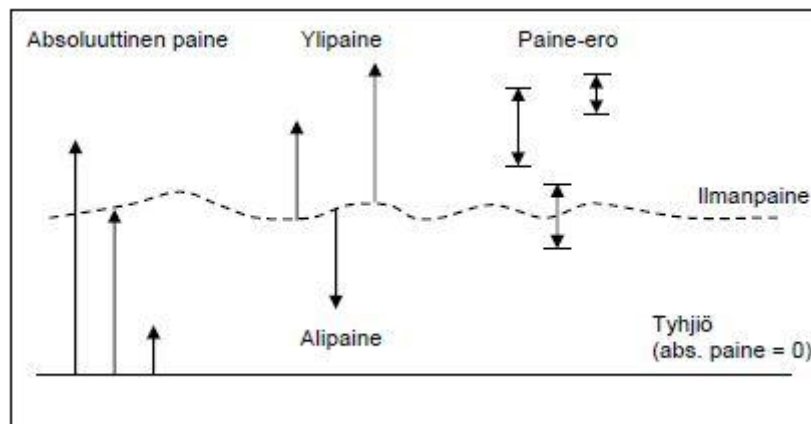
$$1\text{ mbar} = 1\text{ hPa} = 100\text{ Pa}$$

$$1\text{ psi} = 6894,757\dots\text{ Pa}$$

$$1\text{ mmHg} = 1\text{ torr} = 133,322\dots\text{ Pa}$$

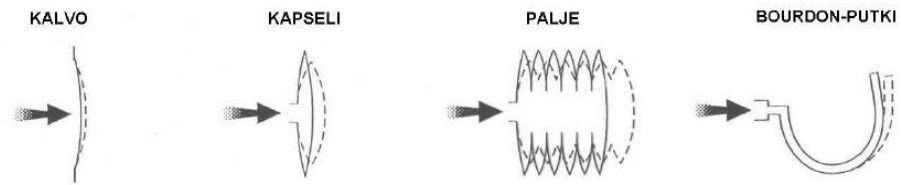
$$1\text{ kp}/\text{cm}^2 = 9,80665 \times 10^4$$

Paineen mittaaminen perustuu aina paine-eron mittaamiseen. Paineelle on olemassa erilaisia nimityksiä ja mittalaitteita riippuen käytettävästä vertailuarvosta (kuva 5). Absoluuttisen paineen vertailuarvo on tyhjiö kun taas vastaavasti yli- ja alipainetta mitattaessa vertailuarvona on vallitseva ilmanpaine, joka on ilmakehän aiheuttama absoluuttista painetta. Puhuttaessa paine-erosta tarkoitetaan sillä sitä, että vertailuarvona on jokin muu paine kuin tyhjiö tai vallitseva ilmanpaine. Vertailuarvoa kutsutaan usein linjapaineeksi. (Saxholm & Rantanen 2011, 6-7.)



Kuva 5. Erilaisia vertailuarvoja

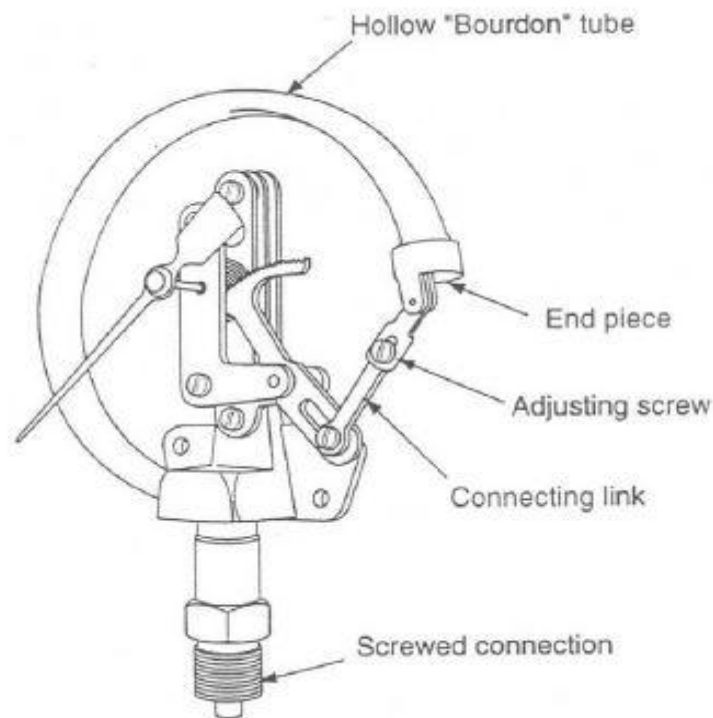
Mittauslaitteen tyypistä riippuen aiheuttaa paine muutoksen mittalaitteen tuntopäähän (kuva 6). Kalvoon, palkeeseen tai bourdonputkeen kohdistuva muutos on elastinen. Sähköisiä mittareita käytettäessä muutos perustuu mm. vastuksen, kapasitanssin tai sähkönjohtavuuden muutoksiin. (Semenoja 2008, 28.)



Kuva 6. Tuntopäähän kohdistuva paine

### 3.2.1 Painemittarit

Yleensä osoittimella varustettu bourdonkaarimittari (kuva 7). Sen toiminta perustuu tuntopäähän vaikuttavan paineen aiheuttamaan mekaaniseen muodonmuutokseen. Muodonmuutos ei kuitenkaan saa olla liian suuri vaan sen tulisi pysyä ominaisuuksiensa puitteissa elastisella alueella. (Saxholm & Rantanen 2011, 16.) Bourdonkaari on litteäksi taivutettu putki joka paineen vaikutuksesta pyrkii suoristumaan. Valmistettu yleensä messingistä tai teräksestä. Putken toinen pää on yhdistetty välitangolla mittariin joka paineen vaihtelun mukaan liikuttaa osoitinta. (Wikipedia 2014.)

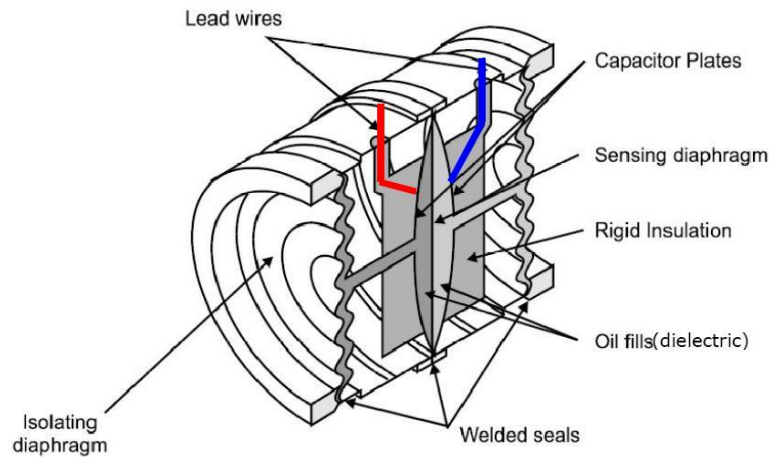


Kuva 7. Bourdonkaarimittari

### 3.2.2 Painelähettimet

Painelähettimen toiminta perustuu paineen aiheuttamaan mekaaniseen muutokseen. Tuntopäänä yleensä on metallinen- tai keraaminen kalvo johon paine vaikuttaa. Paineen vaikuttaessa kalvoon verrataan tämän

aiheuttamaa muutosta kalvon toisella puolella vaikuttavaan vertailuarvoon esim. vallitsevaan ilmanpaineeseen. Kalvon liikkuaessa muuttuu myös kapasitanssi jonka muutosta lähetin käyttää hyväkseen (kuva 8). (Semenoja 2008, 40.)



Kuva 8. Kalvon liike muuttaa myös kapasitanssia

Kalvon ominaisuudet määräytyvät mitattavan paineen mukaan. Pienille paineille tarkoitetuissa lähetimissä kalvot ovat ohuempia ja elastisempia, jotta ne reagoisivat herkemmin paineen aiheuttamiin muutoksiin. Suuremmilla paineilla käytettävät lähetimet on yleensä varustettu paksummilla ja jäykemmillä kalvoilla. Paksut kalvot kestävät suuria paineita huomattavasti paremmin kuin ohuet. (Saxholm & Rantanen 2011, 16.)

### 3.2.3 Painemittauslaitteiden kalibrointi

Painelähetimet ja –mittarit voidaan kalibroida esim. Beamex MC6 kalibraattorin avulla. Kalibraattorilla verrataan esim. painelähettimen tuloa(paine) lähettimen lähtöön(mA). Kalibraattori osaa laskea eri alueiden virherajat ja ilmoittaa kalibroinnin päätyttyä onko tulos hyväksytty vai hylätty. Painemittarin kalibrointi suoritetaan melkein samalla tavalla, mutta nyt lähtönä ei ole virtaviestiä vaan verrataan kalibraattorin näyttämää painetta mittarin näyttöön.

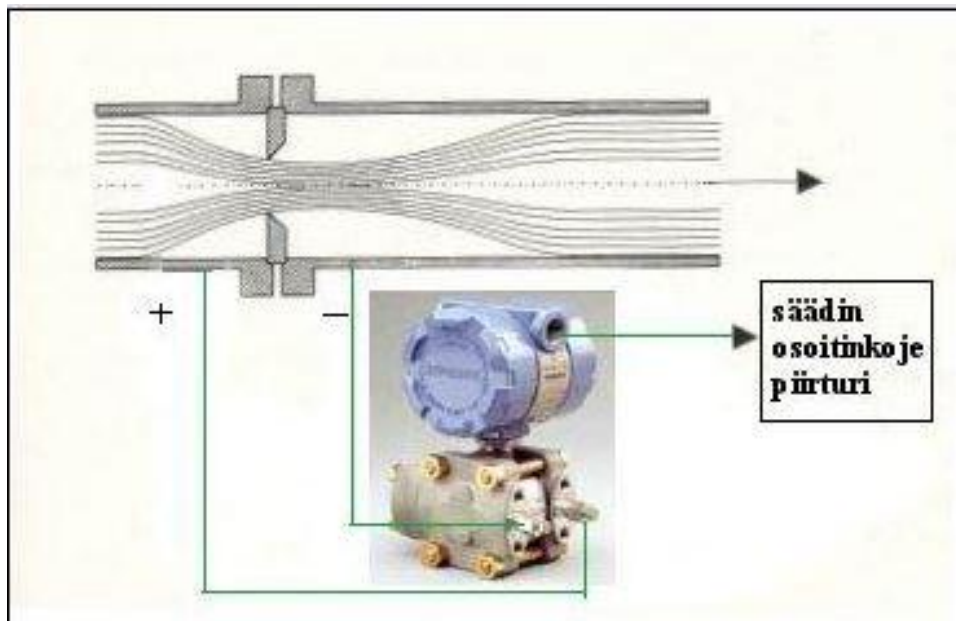
### 3.3 Virtausmittaus

Virtausmittausta tarvitaan tuotantolaitosten tuotantovolyymien selvittämiseen, lämmönsiirrossa voimalatoksilta erilaisiin prosesseihin ja erilaisien kaasuvirtauksien määrittämiseen. Putkistoon asennettavat virtausanturit ovat virtausesteitä, jotka aiheuttavat painehäviöitä. Mitattaessa nesteiden virtauksia tulisi prosessiputken olla täynnä nestettä. Kaasuvirtauksien mittaamisessa on kaasun kokoonpuristuvuus otettava huomioon. Keskimääräisen virtausnopeuden ( $v$ ) yksiköitä ovat esim. m/s, cm/s ja mm/s. Tilavuusvirta ( $q_v$ ) saadaan kun virtausnopeus ( $v$ ) kerrotaan putken poikkileikkauspinta-alalla ( $A$ ) eli  $q_v = vA$ . Tilavuusvirtauksen

yksiköitä ovat  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\text{l/s}$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$  ja  $\text{l/h}$ . Massavirtaus ( $q_m$ ) taas puolestaan saadaan kertomalla tilavuusvirta ( $q_v$ ) virtaavan aineen tiheydellä ( $\rho = \text{rho}$ ) eli  $q_m = q_v \rho$ . (Tikka 2010a)

### 3.3.1 Paine-erolähetin

Paine-erolla suoritettavaan virtausmittaukseen liittyy mittalaippa (kuva 9), joka on putkistoon asennettava pyöreä kuristuselin. Virtauksen kulku mittalaipassa olevan supistuksen läpi aiheuttaa paine-eron mittalaipan eri puolille. Paine nousee ennen supistusta ja laskee supistuksen jälkeen. Virtausmittaus suoritetaan mittaamalla paine-eroa ennen ja jälkeen supistuksen. Paine-ero on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen eli virtausnopeuden kasvaessa myös paine-ero kasvaa. Ennen mittalaippaa olevaa paine välitetään impulssiputkien avulla paine-erolähettimen (+)-puolelle ja mittalaipan jälkeinen paine lähettimen (-)-puolelle. Paine-erolähettimen sisällä olevaan kalvoon kohdistuu paine, joka liikuttaa sitä. Kalvon liike muutetaan lähettimessä olevan elektroniikan avulla virtaviestiksi, joka tyypillisesti on 4-20 mA. Mittalaipallista paine-eroon perustuvaa virtausmittausta voidaan käyttää nesteiden, kaasujen ja höyryjen mittaamiseen. Mittalaipan käyttö virtausmittauksissa on edullinen ja helppo. Mitattaessa aineita, jotka sisältävät mittalaippaa kuluttavia partikkeleita on syytä muistaa, että mittaus muuttuu epätarkaksi ja vaatii lähettimen kalibroimista useammin. (Frondelius 2005a)



Kuva 9. Mittalaipan toimintaperiaate

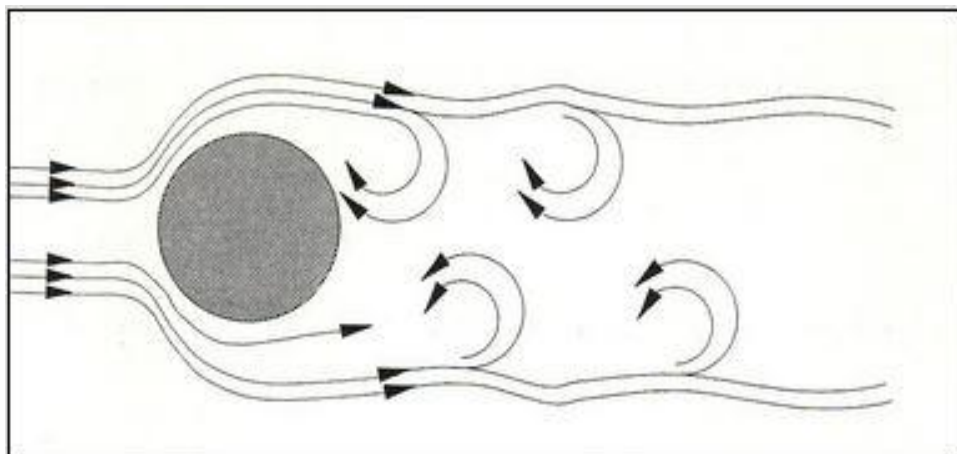
Yksiaukkoisen mittalaipan tavoin voidaan käyttää myös neliaukkolaippaa. Neliaukkolaippaa (kuva 10) käytettäessä on sen mittauspainin valinta helpompaa, koska suoraa putkiosuutta tarvitaan vähemmän. Tämä mahdollistaa myös impulssiputkien pois jättämisen ja lähettimen asentamisen suoraan mittalaipan päälle. (Frondelius 2005a)



Kuva 10. Neliaukkolaippa

### 3.3.2 Vortex

Vortex- eli pyörrevanavirtausmittaus perustuu virtausesteen aiheuttamien pyörteiden syntymiseen (kuva 11). Virtausesteen ollessa poikkileikkaukseltaan pyöreä, irtoavat pyörteet vuoronperää esteen vastakkaisilta puolilta. Ilmiötä kutsutaan myös Kármánin pyörteeksi. Pyörteiden aiheuttamia painevaihteluja voidaan mitata esim. virtausesteessä olevalla paineanturilla. ”Pyörteiden syntymistaajuus (= pyörteiden syntymisnopeus tietyssä ajassa) on verrannollinen virtausnopeuteen eli mitä suurempi virtausnopeus sitä nopeammin syntyy pyörteitä.” (Frondelius 2005b)



Kuva 11. Pyörrevana (Vortex)

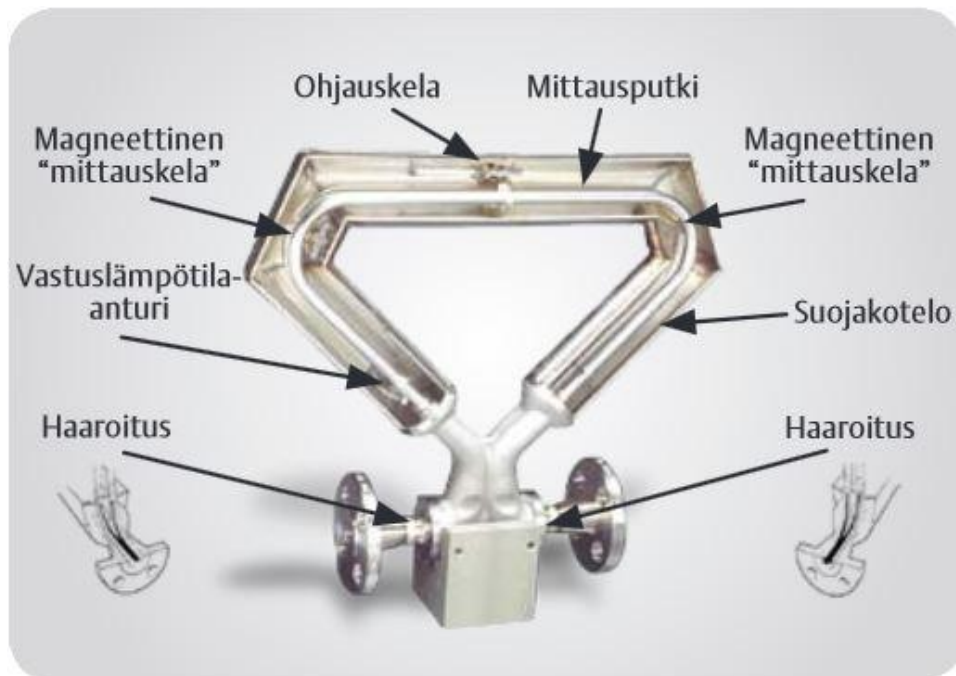
Vortex-mittausta voidaan käyttää nesteiden, kaasujen ja höyryjen mittaamiseen. Pyörrevanamittauksella voidaan myös mitata massavirtaa



käyttäen monimuuttujaratkaisua. Siinä hyödynnetään virtausanturiin asennettuja nopeus-, lämpötila- ja paineantureita. Anturin asennus tapahtuu suoraan prosessiputkistoon tai kanavan sisään työnnettävänä versiona. (Kukkonen 2002.)

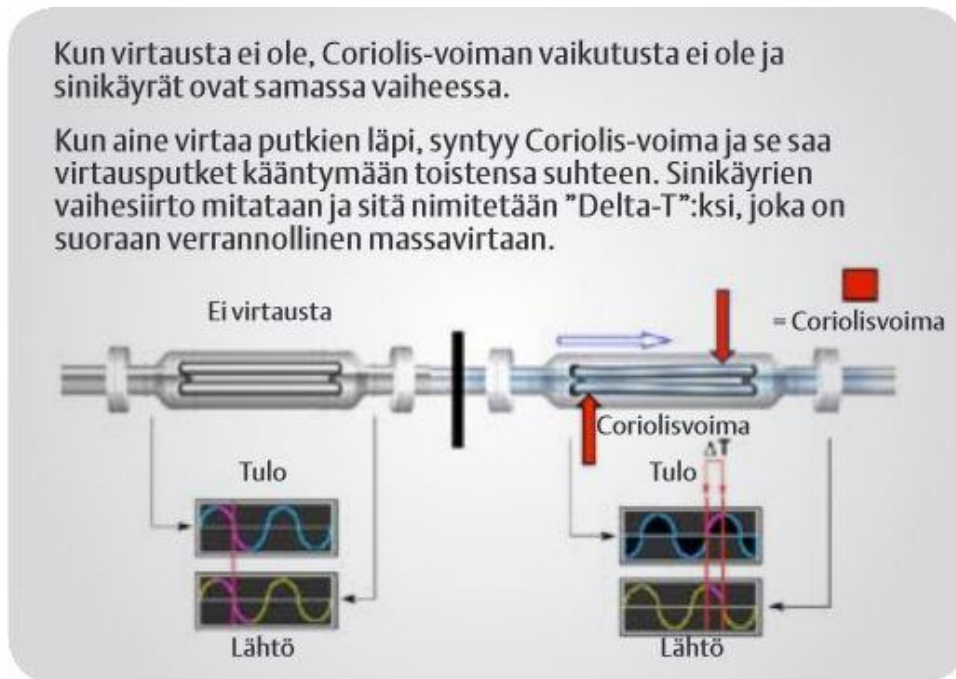
### 3.3.3 Coriolis

”Kysymyksessä on niin sanottu Coriolis`n ilmiö, jolla tarkoitetaan pyörivässä järjestelmässä, kuten maapallolla, liikkuvan kappaleen liikeradan näennäistä poikkeamista Newtonin dynamiikan lakien mukaisesta liikeradasta. Coriolisvoiman vaikutuksesta maan pohjoisella pallonpuoliskolla liikkuva kappale pyrkii kääntymään oikealle ja eteläisellä pallonpuoliskolla vasemmalle.” (Tieteen Kuvalehti 2000.) Coriolis-anturi perustuu mittaputkeen, jonka läpi virtaava kaasu tai neste kulkee. Anturiputken rakenne voi olla suora, u-mallinen tai kolmiota muistuttava (kuva 12).



Kuva 12. Coriolis-anturin rakenne

Anturiputki saatetaan värähtelemään omalla resonanssitaajuudellaan sähköisen ohjaukseen avulla. Anturiputket taipuvat Coriolis-voiman vaikutuksesta kun niiden läpi virtaa mitattavaa ainetta (kuva 13). Coriolis-mittari mittaa massavirtaa, joka on suoraan verrannollinen putkien taipumaan. Massavirta lasketaan vaihesiirtymästä. Sillä voidaan mitata myös tiheyttä, koska sen värähtelytaajuus on verrannollinen prosessiaineen tiheyteen. (Emersonprocess n.d.)



Kuva 13. Coriolis-voiman vaikutus mittaputkiin

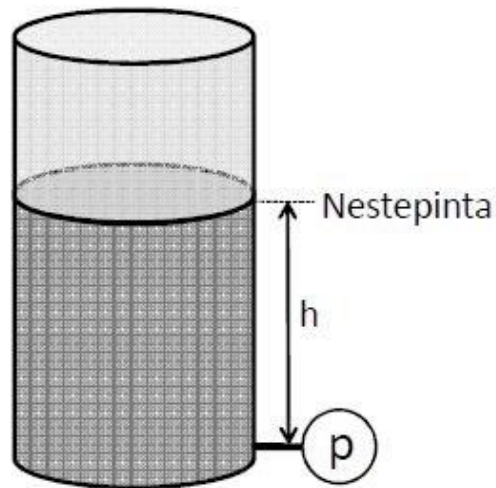
Anturin asentaminen on helpompaa kuin esim. mittalaipallisen virtausmittauksen, koska Coriolis-anturi ei tarvitse suoria putkiosuuksia tulo- eikä lähtöpuolella. Nesteen tai kaasun lämpötilalla/paineella ei ole vaikutusta massavirtaan. Anturin peruskalibrointi muuttuu ainoastaan mitta-putkiin aiheutuneista muutoksista. Muutoksia aiheuttavat korroosio, pinnoittuminen ja putkien vääristyminen. Vääristymät aiheuttavat putken jäykkyyden muutoksia, josta seuraa mittatarkkuuden huonontuminen. Coriolis-anturin kalibrointi vaatii anturin irrottamista prosessiputkesta, joka usein on myös kallis toimenpide. Anturin kalibroinnilla on myös suora yhteys lopputuotteen laatuun. (Emersonprocess n.d.)

### 3.4 Pinnanmittaus

Pinnanmittausta tarvitaan erilaisten säiliöiden ja siilojen pinnankorkeuden määrittämiseen. Noin 75% nestesäiliöiden pinnanmittausista perustuu hydrostaattiseen paineeseen, jota mitataan paine- tai paine-erolähettimillä. Pinnankorkeus saadaan kun jaetaan hydrostaattinen paine ( $p_h$ ) nesteen tiheyden ( $\rho$ ) ja putoamiskiihtyvyyden ( $g$ ) tulolla eli  $h = p_h / (\rho g)$ . Nesteen tiheyden ( $\rho$ ) ollessa vakio, on paine suoraan verrannollinen pinnankorkeuteen (vrt. veden tiheys eri lämpötiloissa). (Tikka 2012b.)

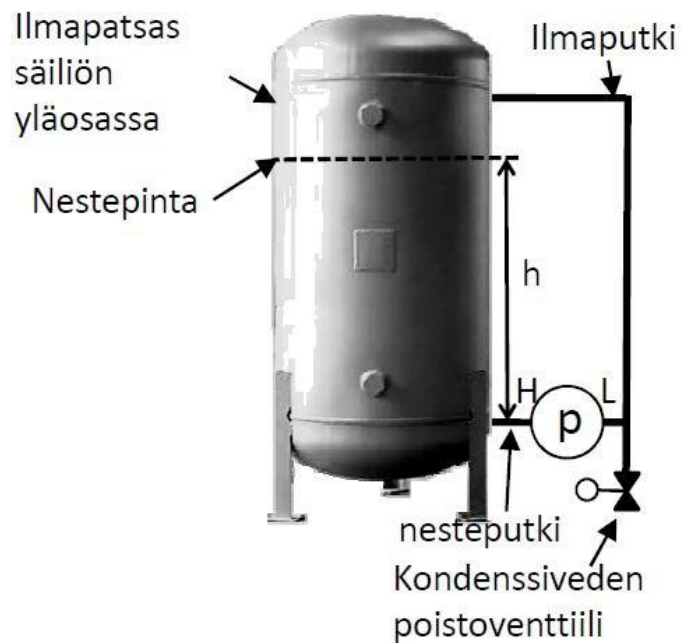
#### 3.4.1 Painelähetin

Mitattaessa avonaisen nestesäiliön (kuva 14) pinnankorkeutta tulisi painelähetin asentaa säiliön alaosaan. Säiliössä oleva neste aiheuttaa lähettimen tuntoelimeen hydrostaattisen paineen, jonka avulla saadaan säiliössä olevaan nesteen pinnankorkeus selville.



Kuva 14. Avonaisen nestesäiliön pinnanmittaus painelähtettimeillä

Painesäiliöstä (kuva 15) pinnankorkeus mitataan paine-erolähtettimeillä. Lähetin voidaan asentaa säiliön alaosaan siten, että lähettimen (H)-puoli mittaa nesteen aiheuttamaa hydrostaattista painetta ja lähettimen (L)-puoli mittaa säiliön yläosassa olevan ilmapatsaan painetta. (Tikka 2010b.)



Kuva 15. Paine-erolähtetimen käyttö painesäiliön pinnanmittauksessa

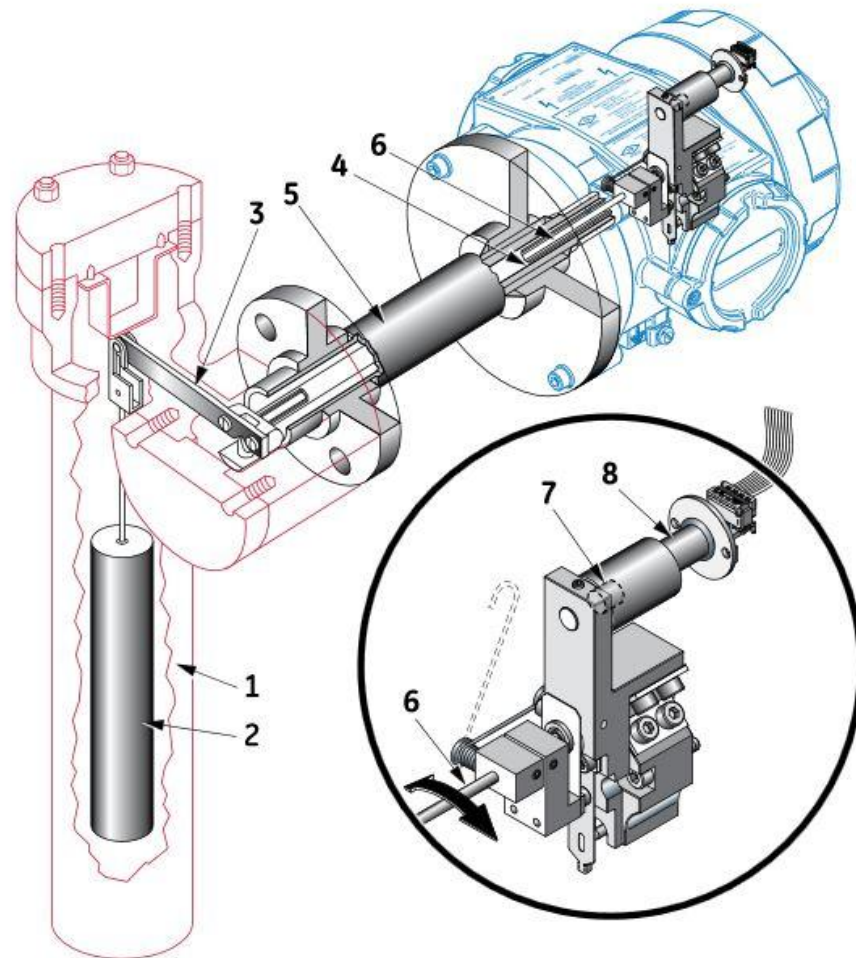
### 3.4.2 Uimurikammio

Pinnankorkeutta voidaan mitata myös uimurikammioilla pintamittareilla (kuva 16). Niiden toiminta perustuu kammion sisällä olevan uimurin aseman muutokseen, joita säiliössä olevan aineen pinnankorkeuden muutokset aiheuttavat.



Kuva 16. Masoneilan 12400-sarjan uimurikammioellinen pinnanmittauslähetin

Uimuri on kiinnitetty kammion yläpäässä sijaitsevaan vääntövarteen (kuva 17). Uimurin aseman muutokset välittyvät vääntövarren välityksellä lähetinosassa olevalle vääntösauvalle, jonka kiertyminen aiheuttaa anturin magneettikenttään muutoksen. Anturin generoima signaali on suoraan verrannollinen säiliön pinnankorkeuteen. (GE Oil & Gas 2014.)



Kuva 17. Masoneilan 12400-sarjan uimurikammion rakenne

### 3.4.3 Uimurikammion pintamittauksen kalibrointi

Käytettäessä esim. Beamex MC6 kalibraattoria, etsitään laitteen valikoista kommunikaattorilla haluttu kohta ja edetään hart-puun mukaisesti. Kalibrointia varten tarvitaan kalibroinnissa käytettävän nesteen ominaispaino. Yleensä käytetään vettä, myös muut nesteet ovat mahdollisia. Kalibroitaessa nolla-kohtaa lasketaan kammio tyhjäksi ja annetaan uimurin aseman tasaantua. Kun uimurin asema on vakaa voidaan nolla-kohta hyväksyä kommunikaattorilla. Yläraja-arvoa varten täytetään kammio vedellä aivan täyteen. Anna uimurin aseman rauhoittua ja sen jälkeen hyväksy yläraja-arvo. (GE Oil & Gas 2014.)

## 4 RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT

### 4.1 Tilat ja tilaluokat

Räjähdyksivaaralliset tilat eli Ex-tilat ovat tiloja, joissa voi esiintyä räjähdyskelpoista ilmaseosta ja ne luokitellaan niissä todennäköisesti

esiintyvien vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten mukaan (Tukes 2015, 10). Tilat luokitellaan seuraavasti:

- Tilaluokka 0 on tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
- Tilaluokka 1 on tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa oleva palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
- Tilaluokka 2 on tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.
- Tilaluokka 20 on tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
- Tilaluokka 21 on tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
- Tilaluokka 22 on tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.(Tukes 2015, 11.)

”Atex-työolosuhdesäädökset koskevat kaikkia niitä työnantajia, joiden työntekijät voivat joutua alttiiksi syttyvistä nesteistä, kaasuista tai pölyistä aiheutuvalle räjähdysvaaralle. Ne koskevat ihmisiä, jotka työskentelevät Ex-tiloissa ja rakentavat tai suunnittelevat Ex-tiloja.” (Tukes 2015, 5.)

### 4.2 Tiloissa käytettävät laitteet

Kaikkien Ex-tiloissa käytettävien laitteiden tulee täyttää atex-laitesäädösten vaatimukset. Säädösten mukaisia vaatimuksia ovat mm. CE- ja Ex-merkintä. Laitteista täytyy löytyä myös laiteryhmää ja –luokkaa kuvaava merkintä. Laitteet luokitellaan kahteen ryhmään. Ryhmään I kuuluvat sellaiset laitteet, joita käytetään kaivoksissa ja niiden räjähdysvaaran aiheuttajana on kaivoskaasu ja/tai pöly. Ryhmän I laitteet jaetaan laiteluokkiin M1 ja M2. Ryhmään II kuuluvat muissa räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät laitteet. Ryhmän II laitteet jaetaan taulukon 3. mukaisiin luokkiin 1,2 ja 3 niiltä vaadittavan turvallisuustason mukaan. Laiteluokat määrittelevät laitteiden sijoittelua eri tiloissa. Laiteluokilla 1 ja M1 on erittäin korkea turvallisuustaso. Korkean turvallisuustason laitteet kuuluvat laiteluokkiin 2 ja M2. Laiteluokan 3 turvallisuustaso on normaali. Laiteluokkien merkinnöissä oleva G=gas/kaasu ja D=dust/pöly. (Tukes 2015, 8.)

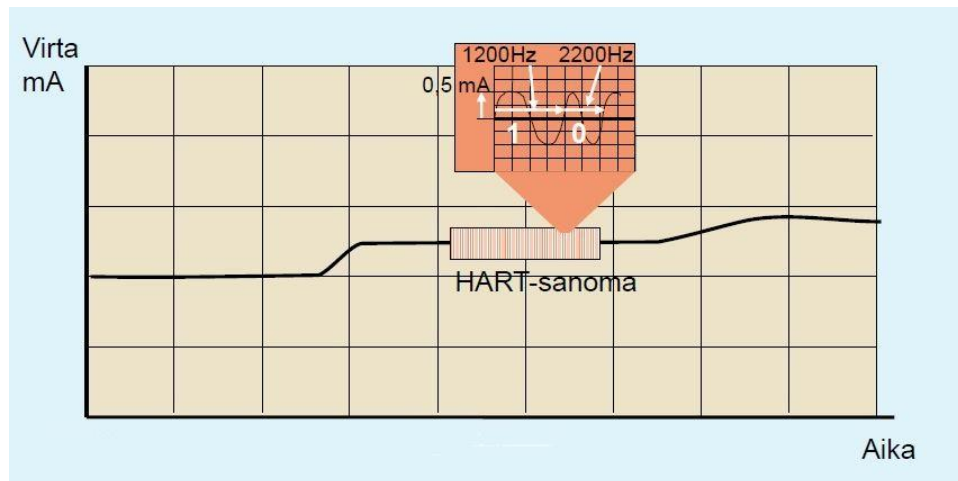
Taulukko 3. Ryhmän II laitteiden luokittelu

Tilaluokka	Laiteluokka
0	1G
1	1G tai 2G
2	1G, 2G tai 3G
20	1D
21	1D tai 2D
22	1D, 2D tai 3D

”Atex-laitesäädökset koskevat laitteiden, suojausjärjestelmien ja tietyissä tapauksissa komponenttien markkinoille saattajia, kuten valmistajia, maahantuojia ja jälleenmyyjiä ja myös niitä, jotka valmistavat laitteen omaan käyttöönsä.” (Tukes 2015, 5.)

## 5 HART-PROTOKOLLA

HART (Highway Addressable Remote Transducer)-protokolla on maailmanlaajuinen standardi, jossa digitaalista signaalia lähetetään ja vastaanotetaan perinteisen analogiaviestin (4-20 mA) rinnalla käyttäen samoja johtimia (kuva 18). Hart on yleisin käytössäoleva kenttäväylä, jossa tiedonsiirto tapahtuu älykkään kenttälaitteen ja automaatiojärjestelmän välillä. (FieldComm Group n.d.) Hart-protokolla on Rosemount:n kehittämä ja se on julkaistu 1986. Protokolla perustuu Bell-202 FSK (Frequency Shift Keying)-standardiin, jossa analogiaviestin rinnalla kulkee bittimoduloitu sinisignaali. Bittiarvoa 1 vastaa 1200 Hz:n taajuus ja bittiarvoa 0 vastaa 2200 Hz. Signaalin huippuarvo on n. 0,5 mA. (Tikka & Pohjasto n.d.)



Kuva 18. Hart-digitaalisignaali perinteisen analogiaviestin rinnalla

Hart-teknologia on master/slave-protokolla eli laite (slave) vastaa ainoastaan jos järjestelmä/kenttäväyläkommunikaattori (master) on kysynyt jotain. Yhdessä piirissä voi olla maksimissaan kaksi masteria, ensisijainen ja toissijainen. Ensisijaisena masterina on yleensä isäntäjärjestelmä esim. automaatiojärjestelmä ja toissijaisena esim. kenttäväyläkommunikaattori. Yleensä tilapäisesti käytetty

kommunikaattori ei häiritse ensisijaisena masterina toimivan järjestelmän kommunikointia laitteen kanssa. (FieldComm Group n.d.)

## 6 TYÖKALUJA

### 6.1 Emerson 475 kenttäväyläkommunikaattori

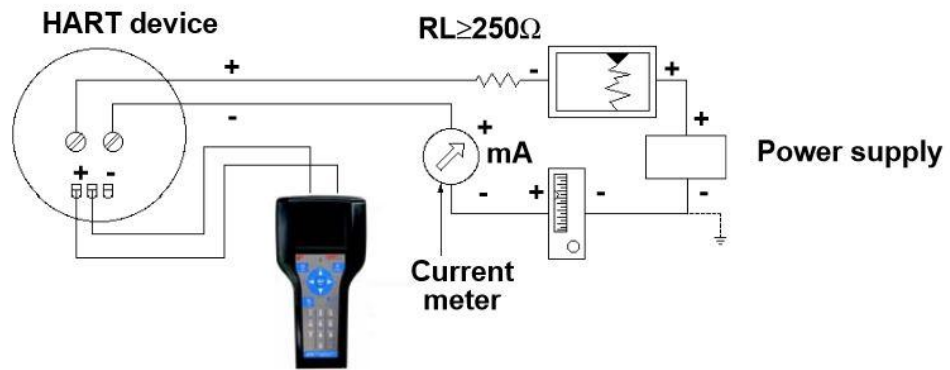
Emerson 475 kommunikaattori (kuva 19) tukee Hart- ja Foundation Fieldbus laitteita valmistajasta riippumatta. Sen avulla voidaan konfiguroida laitteen parametrejä ja etsiä vikoja laitteen asetuksista. Laite käyttää Electronic Device Description Language tekniikkaa eli EDDL:ää. Jokainen laitevalmistaja huolehtii, että heidän laitteensa on todistetuksi testattu 475 kommunikaattorilla. Tämä takaa 475 kommunikaattorin käytettävyyden useiden valmistajien laitteisiin. Testaamattomien laitteiden yhteensopivuudesta tulee kommunikaattorin näytölle ilmoitus kun olet kytkettynä sellaiseen. (Emerson 2015, 10.)



Kuva 19. Emerson 475 kenttäväyläkommunikaattori

Kommunikaattori voidaan kytkeä joko suoraan laitteeseen (kuva 20) tai johonkin piiriin kuuluvaan kytkentäpisteeseen (kuva 21). Hart-piirissä on oltava vähintään 250  $\Omega$  vastus, jotta kommunikaattori toimisi oikealla tavalla. (Emerson 2015, 45.)





Kuva 20. Kytentä suoraan laitteeseen



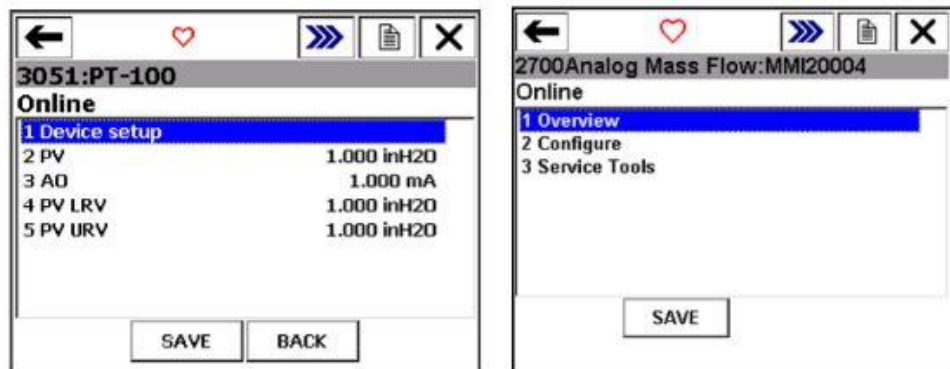
Kuva 21. Kytentä piiriin

Kommunikaattorin ollessa kytkettynä laitteeseen valitaan päävalikon näytöltä haluttu toiminto esim.



jonka jälkeen kommunikaattori siirtyy Hart-alkuvalikkoon.

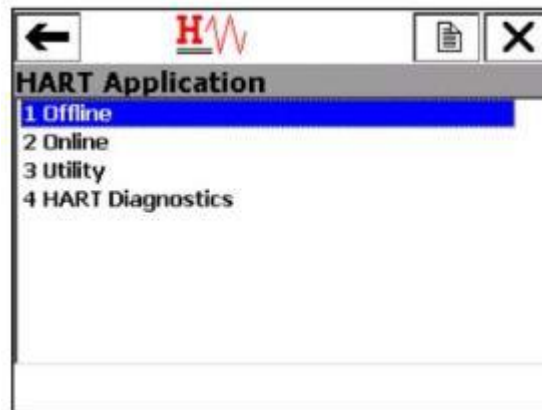
Kommunikaattori löytää yleensä halutun laitteen itse, mutta jos ei löydy niin käyttäjän on valittava online-tila nuolinäppäimiä käyttäen. Monilla laitteilla on samankaltaiset alkuvalikot (kuva 22), joiden takaa löytyvät laitteiden muut tiedot ja parametrit. (Emerson 2015, 48.)



Kuva 22. Tyypillisiä aloitusvalikoita

Tämän jälkeen edetään niin kutsutun Hart-puun mukaisesti haluttuun valikkoon josta löytyvät tapauskohtaisesti tarkastettavat- tai muutoksia

tarvitsevat parametrit. Liitteissä 2, 3 ja 4 oleva Hart-puu on Rosemount 3051S sarjan painelähettimestä. Kun kaikki tarpeellinen on tehty, palataan valikoissa taaksepäin aina kuvan 23. mukaiseen online-tilaan edeltäneeseen valikkoon. Tässä valikossa voidaan kommunikaattori irroittaa laitteesta.



Kuva 23. Hart alkuvalikko

### 6.2 Beamex MC6

Beamex MC6 (kuva 24) on monipuolinen laite jossa yhdistyy viiden eri laitteen toiminnot. Käyttötiloina siinä on mittari, kalibraattori, dokumentoiva kalibraattori, dataloggeri ja kenttäväyläkommunikaattori. MC6 on erittäin tarkka ja sillä voidaan kalibroida esim. painetta, lämpötiloja ja erilaisia sähkösuureita. Lisäksi siinä on sisäänrakennettu 24 VDC jännitesyöttö, joten kentällä olevan jännitteettömän laitteen kalibrointikin onnistuu ilman ulkopuolista jännitelähdettä. MC6:n kenttäväyläkommunikaattori tukee Hart-, Foundation Fieldbus- ja Profibus PA-kenttäväyliä. Kommunikaattori-tilassa voidaan yhteensopivia laitteita kalibroida, virittää ja tehdä muutoksia parametreihin. (Beamex 2013, 21.)



Kuva 24. Beamex MC6

Laitteessa on 4 sisäistä painemoduulia ja liitäntä ulkoisille painemoduuleille. Paineen mittaus onnistuu aina 1000 bar:iin saakka käyttäen sille paineluokalle kuuluvaa ulkopuolista painemoduulia. Mittaus-, generointi- ja simulointitoimintoina siinä on mm. jännitteen-, virran-, taajuuden-, resistanssin- ja termoparin mittaus. Sillä voidaan generoida jännitettä, virtaa, taajuutta ja pulssia. Sillä voidaan tehdä myös vastus-, vastusanturi- ja termoparisimulointeja. ( Beamex 2013, 29.)

### 6.3 Fluke Processmeter 789

Fluke 789 on virtasilmukkalibraattori (kuva 25), joka eroaa joidenkin ominaisuuksiensa puolesta normaalista yleismittarista. Siinä on 24 VDC:n silmukajännitesyöttö, milliampeerien syöttö- ja simulointi mahdollisuus ja sisäinen 250  $\Omega$  vastus Hart-kenttäväylää hyodyntäviä laitteita varten. (Fluke n.d.)



Kuva 25. Fluke Processmeter 789

Kun automaatiojärjestelmä syöttää laitteen tarvitseman jännitteen, käytetään simulointi-toimintoa. Virtaviestiä simuloitaessa mittajohtimet kytketään mittarissa niille määritettyihin paikkoihin. Piirin ollessa ehjä, voidaan virran suuruutta tarvittaessa säätää jopa 0,001 mA tarkkuudella. Virtaviestin generointi-toimintoa (SOURCE) käytetään yleensä silloin, kun laite saa tarvitsemansa jännitteen ulkopuolisesta jännitelähteestä. Kytkemällä mittajohtimet määriteltyihin liittimiin, voidaan mittarilla syöttää virtaa kyseessä olevaan piiriin. Source-toiminto kuluttaa mittarin pattereita enemmän kuin simulointi. Mittarilla voidaan syöttää myös 24 VDC suoraan mittalaitteelle ja mitata samalla sen tuottama mA- viesti. Mittarissa olevan sisäänrakennetun 250 Ω vastuksen voi halutessaan kytkeä pois päältä. Hart-yhteensopivat laitteet tarvitsevat vastuksen toimiakseen kunnolla. (Fluke 2002.)

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tuloksena syntyi työn tilaajan pyytämä koulutusohje. Koulutusohjetta varten opinnäytetyön tekijä joutui suorittamaan demo-koestuksia ja kalibrointeja eri valmistajien laitteille. Tehdyn työsuorituksen aikana kalibraattorin ja kenttäväyläkommunikaattorin näytöillä olevat kuvat valokuvattiin työohjetta varten. Valokuvia työohjeeseen kertyi n. 280 kappaletta. Työohje tehtiin vastaamaan niitä toimenpiteitä, joita normaaleissa koestus- ja kalibrointitilanteissa tehdään. Ohjeen tarkoitus on helpottaa uusia ja nykyisiä työntekijöitä ymmärtämään koestuksissa esiintyviä parametreja ja niiden sijaintoja Hart-puussa.



## LÄHTEET

Bilfinger Industrial Services Finland Oy. n.d. Yritys. Viitattu 1.12.2015  
<http://www.is-finland.bilfinger.com/yritys/>

Bilfinger SE Group. n.d. Corporate history. Viitattu 1.12.2015  
<http://www.bilfinger.com/en/company/corporate-history/>

Beamex Oy Ab. 2012. Ultimate Calibration. 2nd edition. Vaasa: Fram.

Beamex Oy Ab. 2013. Field equipment. Viitattu 31.12.2015  
<http://www.beamex.com/loader.aspx?id=1d9c48ce-d089-4e70-8c03-60a7eac6c3f8>

Beamex Oy Ab. 2015a. Miksi kalibroida? Viitattu 11.11.2015  
<http://www.beamex.net/fi/about/why-calibrate.html>

Beamex Oy Ab. 2015b. Beamex MB-sarjan kuivalohkouunit. Viitattu 29.12.2015  
[http://www.beamex.com/beamex\\_products/MB-sarjan-kuivalohkouunit/1r3nk5q1/c8a45eeb-75eb-424d-81a4-0f62d4e102fa#Features](http://www.beamex.com/beamex_products/MB-sarjan-kuivalohkouunit/1r3nk5q1/c8a45eeb-75eb-424d-81a4-0f62d4e102fa#Features)

EmersonProcess. n.d. Mittaako virtausmittarisi oikein? Viitattu 10.2.2016  
[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/VAV\\_SMV\\_finnish\\_lowres.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/VAV_SMV_finnish_lowres.pdf)

EmersonProcess. 2015. 475 Field Communicator user's manual. Viitattu 30.12.2015.  
[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductReferenceAndGuides/475\\_ru\\_usermanual.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductReferenceAndGuides/475_ru_usermanual.pdf)

FieldCommGroup. n.d. Hart technology. Viitattu 17.2.2016  
[http://en.hartcomm.org/hcp/tech/aboutprotocol/aboutprotocol\\_what.html](http://en.hartcomm.org/hcp/tech/aboutprotocol/aboutprotocol_what.html)

Fluke Corporation. 1994. Calibration: Philosophy in practice. 2nd edition. United States of America

Fluke Corporation. 2002. 789 ProcessMeter User's manual. Rev. 2, 11/2009. Viitattu 9.3.2016  
<http://www.manualslib.com/manual/453081/Fluke-789-Processmeter.html#manual>

Fluke Corporation. n.d. Fluke 789 ProcessMeter. Viitattu 31.12.2015  
<http://www.fluke.com/fluke/fifi/prosessikalibraattorit/virtasilmukkalibraattorit/fluke-789.htm?pid=56133>

Frondelius, L. 2005a. Virtauksen mittaus mittalaipalla. Prosessinohjauksen verkkomateriaali. Keuda verkko-opisto, Moodle. Viitattu 10.2.2016

<http://moodle.keuda.fi/kansiot/kao-lf/MITTAUS/MITTALAIPPA/mittalaippa.htm>

Frondelius, L. 2005b. Vortex-virtauksen mittaus. Prosessinohjauksen verkkomateriaali. Keuda verkko-opisto, Moodle. Viitattu 10.2.2016  
<http://moodle.keuda.fi/kansiot/kao-lf/MITTAUS/VORTEX/vortex-mittaus.htm>

Tieteen Kuvalehti 2000. Coriolisvoima vaikuttaa liikkuviin kappaleisiin. Julkaisu nr.16. Viitattu 12.04.2016  
<http://tieku.fi/luonto/coriolisvoima-vaikuttaa-liikkuviin-kappaleisiin>

GE Oil & Gas. 2014. Masoneilan 12400 series Transmitter/Controller Instruction Manual. Viitattu 11.2.2016  
<https://www.geoilandgas.com/sites/geog.dev.local/files/mn-12400-dlt-iom-gea19367a-english.pdf>

Hemminki, S., Hiltunen, E., Hägg, M., Järvenpää, E., Kärhä, P., Linko, L., Saarinen, P. & Simonen, S. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Mikes oppaat. Julkaisu J4/2011. Viitattu 20.3.2016  
[http://www.mikes.fi/mikes/Oppaat/j4\\_2011\\_laadukkaan\\_mittaamisen\\_perusteet.pdf](http://www.mikes.fi/mikes/Oppaat/j4_2011_laadukkaan_mittaamisen_perusteet.pdf)

Kukkonen, A. 2002. Virtausmittausmenetelmiä. Automaatioseura. Viitattu 10.2.2016  
[https://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/4\\_1\\_2\\_04.pdf](https://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/4_1_2_04.pdf)

Saxholm, S. & Rantanen, M. 2011. Paineen mittaus. Mikes oppaat. Julkaisu J1/2011. Viitattu 13.2.2016  
[http://mikes.fi/mikes/Oppaat/J1\\_2011\\_Paineen\\_mittaus.pdf](http://mikes.fi/mikes/Oppaat/J1_2011_Paineen_mittaus.pdf)

Semenoja, S. 2008. Painemittaukset. Mittaustekniikan lisensiaattikurssi 3.4.2008. Viitattu 30.12.2015  
<http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.4010/2008/semenoja.pdf>

Tikka, A. 2010a. Virtausmittaus. Mittaustekniikan opintojakson verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu, Moodle. Viitattu 10.2.2016  
<https://moodle.hamk.fi>

Tikka, A. 2010b. Pinnankorkeuden mittaus. Mittaustekniikan opintojakson verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu, Moodle. Viitattu 11.2.2016  
<https://moodle.hamk.fi>

Tikka, A. & Pohjasto, H. n.d. Hart prosessiautomaatiossa. Kenttävyölien opintojakson verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu, Moodle. Viitattu 17.2.2016  
<https://moodle.hamk.fi>

Tukes. 2015. ATEX-opas. Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. Viitattu 11.2.2016.

[http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset\\_aineet/esitteet\\_ja\\_opaat/ATEX\\_opas.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/ATEX_opas.pdf)

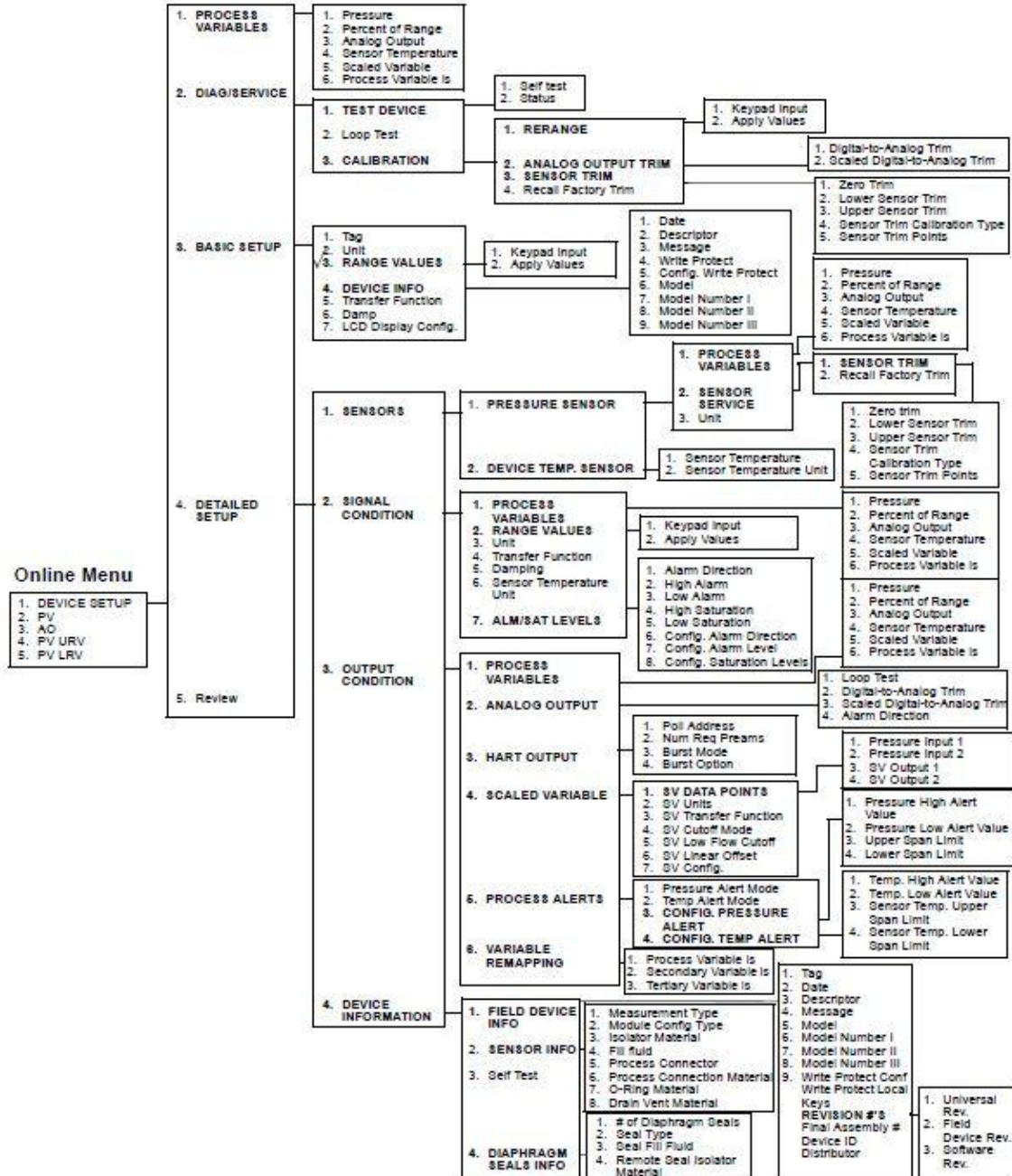
Weckström, T. 2005. Lämpötilan mittaus. Mikes oppaat. Julkaisu J1/2005. 2. korjattu painos. Viitattu 1.12.2015  
[http://mikes.fi/mikes/Oppaat/J4\\_2005\\_Lampotilan\\_mittaus.pdf](http://mikes.fi/mikes/Oppaat/J4_2005_Lampotilan_mittaus.pdf)

Wikipedia. 2014. Painemittari. Viitattu 30.12.2016  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Painemittari>

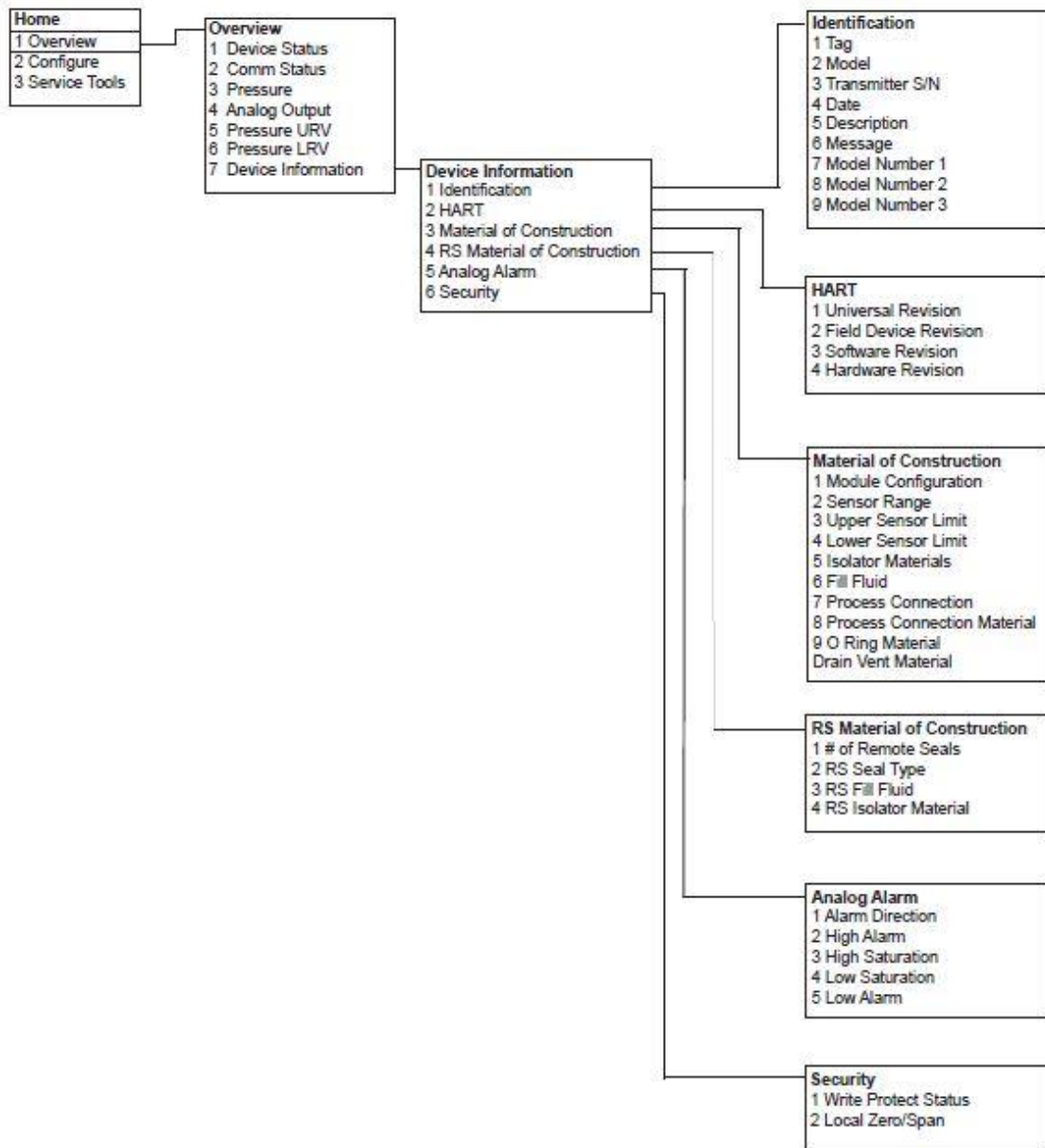


Hart-laitteen perinteinen valikkopuu

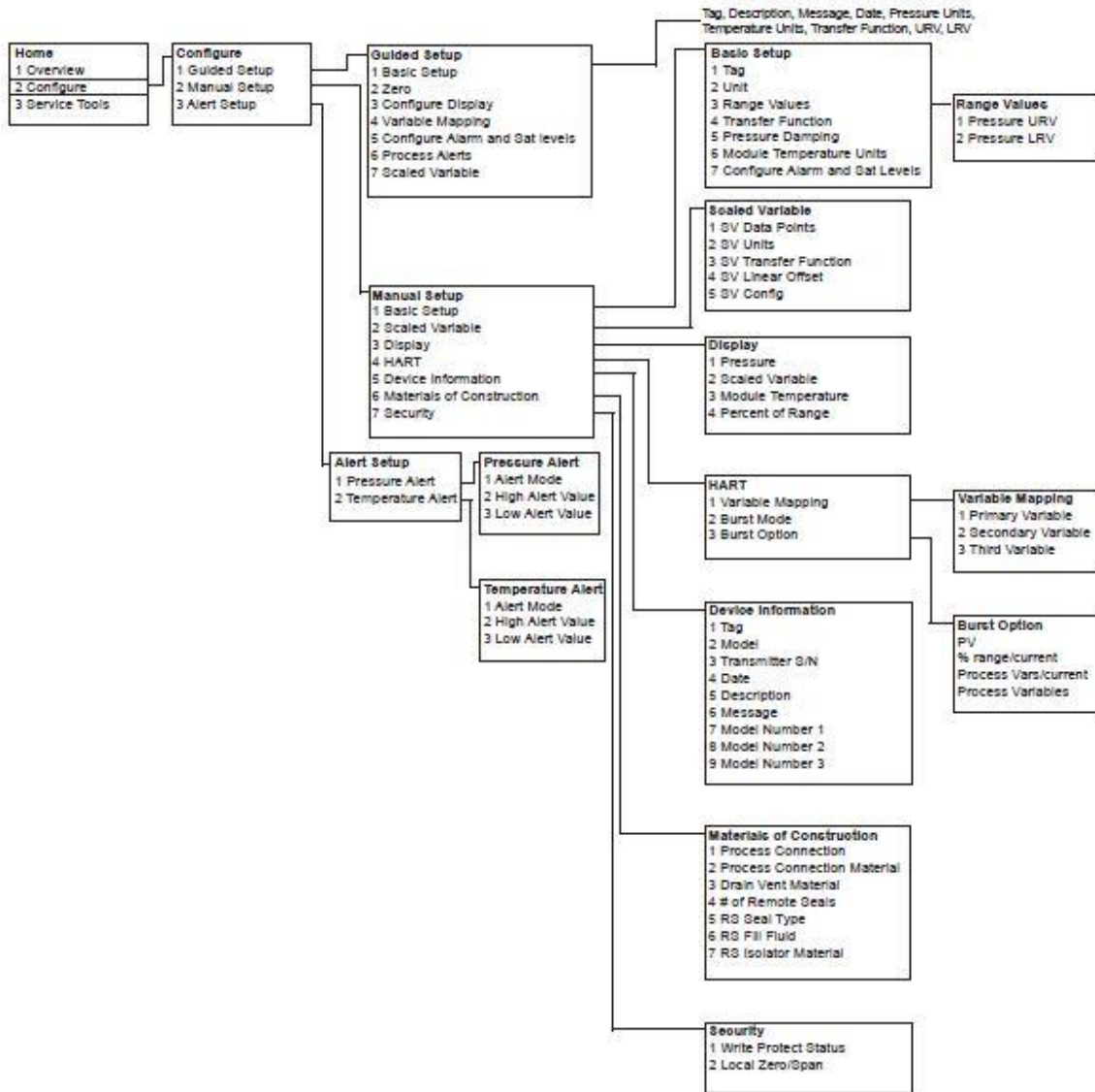
Traditional Interface Menu Tree



Rosemount 3051S painelähtetimen Hart-puu 1/3



Rosemount 3051S painelähtetimen Hart-puu 2/3



Rosemount 3051S painelähtetimen Hart-puu 3/3

