

Samuli Keski-Rauska

**ELINTARVIKETEOLLISUUDEN VALMISTUSPROSESSIN
ANTUROINTI**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja Automaatiotekniikka
Toukokuu 2018**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2018	Tekijä/tekijät Samuli Keski-Rauska
Koulutusohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Työn nimi Elintarviketeollisuuden valmistusprosessin anturointi		
Työn ohjaaja Hannu Puomio	Sivumäärä 35	
Työelämäohjaaja Tapio Lohi		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksen oli tutkia erilaisia lämpötilan, brixin, ja karkeuden mittaamenetelmiä, joita voitaisiin käyttää jatkuvaluontoisessa prosessissa. Työn toimeksiantaja oli Pyhännällä sijaitseva elintarvikealan yritys Maustaja Oy. Tarkoituksena oli kartoittaa, minkälaisia antureita ja analysointilaitteita on tällä hetkellä markkinoilla ja voitaisiinko niitä käyttää prosessin anturoinnissa ja tutkimusaineen analysoinnissa.</p> <p>Työn alussa on lyhyt teoriaosuus mittaustekniikasta ja eri mitta-aineiden mittaamisesta. Mittausvaihtoehtoja tutkittiin tarkastelemalla, minkälaisia mittalaitteita on teollisuudessa käytössä lämpötilan, brixin, karkeuden ja viskositeetin mittaamiseen. Antureitten kartoittamiseen käytettiin sekä kirjallisuutta että internetlähteitä.</p> <p>Työn pohjalta pidin esitelmän antureista ja analysointilaitteista, joita voitaisiin käyttää prosessin anturoinnissa ja tutkimisessa.</p>		
Asiasanat anturi, prosessi, lämpötila, mittalaite		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2018	Author Samuli Keski-Rauska
Degree programme Electrical and Automation Engineering		
Name of thesis CHARTING SENSORS FOR FOOD INDYSTRY PROCESS		
Instructor Hannu Puomio	Pages 35	
Supervisor Tapio Lohi		
<p>The purpose of this work was to do research on the measurement methods of temperature, brix, grit and viscosity, which can be used in continuous process. The study was done for a food industry company called Maustaja Oy located in Pyhäntä. The aim was to chart the available sensors and analysers in the market and study if they could be used in a continuous process. The purpose of measuring the temperature, brix, grit and viscosity was to gain better understanding of the process and to facilitate quality control.</p> <p>At the beginning there is a small theory part about the instrumentation. The charting was done by reviewing what kinds of sensors are used in the industry for measuring temperature, brix, grit and viscosity. In charting the different kinds of sensors both literary and internet sources were used.</p> <p>At the end of the thesis process I gave a presentation for the available sensors which can be used in the process.</p>		
<p>Key words sensor, measuring device, temperature, process</p>		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Brix – Aineen kuiva-aine pitoisuus.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 MAUSTAJA OY	2
3 MITTAUSTEKNIIKAN TEORIA	4
3.1 Anturitekniikka.....	4
3.2 Anturin valinta.....	6
3.3 Älykkäät anturit.....	8
3.4 Antureiden kotelointi.....	9
3.5 Mittausjärjestelmät	10
3.6 Häiriöt mittauksessa	11
3.6.1 Häiriölähde	12
3.6.2 Kytkeytyminen	12
3.7 Häiriön suodattaminen.....	13
3.8 Mittausten tarkkuus ja epävarmuus.....	13
4 LÄMPÖTILAN MITTAUSTEKNIIKAT	15
4.1 Vastusanturit.....	15
4.1.1 Termistorit.....	18
4.1.2 Mittauskytkennät.....	18
4.2 Termopari.....	18
4.3 Säteilystä perustuvat menetelmät	21
5 VISKOSITEETIN MITTAAMINEN	24
5.1 Kapillaariviskosimetri	24
5.2 Pudotuskappaleviskosimetri	24
6 PITOISUUSMITTAUKSET	26
7 SAKEUDEN MITTAUS	27
7.1 Ultraäänimittaus	27
7.2 Mikroaaltomittaus	28
7.3 Optinen sakeusmittaus	28
8 EHDOTUKSET MITTAUSLAITTEISTOON	29
8.1 Viskositeetin mittaus	29
8.2 Lämpötilan mittaus	30
8.3 Brixin mittaus.....	32
8.4 Partikkelinkoon mittaus.....	34
9 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	36

LIITTEET

KUVIOT

KUVIO 1. Kaavio sinapin valmistuksesta	2
KUVIO 2. Mittaustekniikan tiedon rakenne	4
KUVIO 3. Anturin lohkokaavio.....	5
KUVIO 4. Mittauksen suunnittelu	6
KUVIO 5. Mittausjärjestelmän rakennekaavio.....	9
KUVIO 6. Häiriölähteitä.....	10
KUVIO 7. Epälineaarisuus, vällys, hystereesi ja toistuvuus.....	12
KUVIO 8. Pt100 vastuksen kytkentä.....	14
KUVIO 9. Pt100 antureita	15
KUVIO 10. Termoparin toiminta.....	17
KUVIO 11. Termoparin kytkentä	18
KUVIO 12. Jatkuvatoiminen kapillaariviskosimetri	21

KUVAT

KUVA 1. Vastusanturi	14
KUVA 2. Viskositeettianturi	25
KUVA 3. Unitemp lämpötila-anturi	26
KUVA 4. W-E-x-HST haponkestävä anturi	27
KUVA 5. Piox S toiminta periaate	28

TAULUKOT

TAULUKKO 1. IP-luokitusjärjestelmän ensimmäinen numero.....	8
TAULUKKO 2. IP-luokitusjärjestelmän toinen numero.....	9
TAULUKKO 3. Termoelementti tyyppien ominaisuuksia.....	17

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena oli kartoittaa sinapin valmistusprosessin seurantaan sopivia antureita. Mitattavia suureita olivat lämpötila, brix (kuiva-aine pitoisuus), karkeus ja viskositeetti. Antureiden valinnassa haasteeksi muodostui mitattava materiaali. Mitattava raaka sinappi on todella syövyttävää, joten antureiden tulisi kestää korroosiota. Työn tavoitteena oli löytää antureita, jotka voitaisiin liittää jatkuvaluontoiseen prosessiin. Työn lähteinä oli suomalainen kirjallisuus sekä internetistä löytyneet lähteet. Toisessa kappaleessa käsitellään mittaustekniikkaa ja siihen liittyvää teoriaa. Seuraavissa kappaleissa käsitellään eri suureiden mittaamista ja niiden erilaisia mittausvaihtoehtoja.

2 MAUSTAJA OY

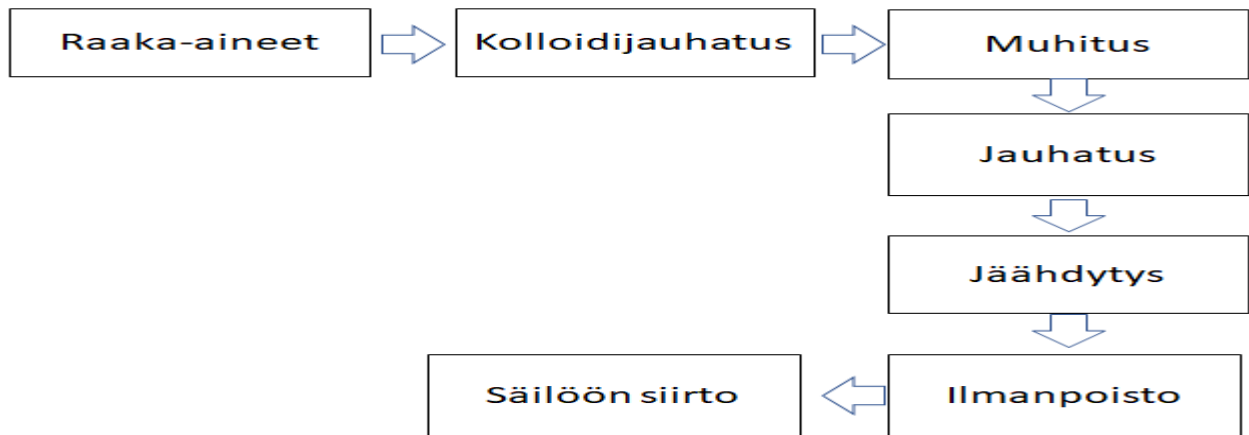
Maustaja Oy on Pyhännällä toimiva suomalainen elintarviketeollisuuden yhtiö. Maustaja perustettiin 1971 nimellä Pyhännän einestuote. Vuonna 1989 yrityksen nimeksi tuli Maustaja Oy. Yrityksen liikevaihto oli 17,6 miljoonaa vuonna 2016. Maustajalla on 89 työntekijää. (Maustaja 2018.)

Maustajan valmistamat tuotteet jaetaan neljään eri ryhmään: Maukkaan ketsuppi, Tuhdin sinappi. Yrityksen ensimmäinen tuote oli paahdettu sipuli. Ketsupin valmistaminen aloitettiin vuonna 1974. Jo muutamassa vuodessa Maustajasta tuli yksi Suomen johtavista ketsupin valmistajista. Sinapin valmistus aloitettiin vuonna 1977 ja 1980-luvulla tuotantoon tulivat hillot ja sokerikuorrutteen. Myöhemmin tuotantoon lisättiin myös salaattinkastikkeet, majoneesit ja urheilujuomat. (Maustaja 2018.)

Maustajan asiakkaina toimivat kauppaketjut, tukkukaupat ja elintarvikealan valmistajat. Suomen lisäksi Maustajan tuotteita viedään mm. Ruotsiin ja Baltiaan. (Maustaja 2018.)

Maustajalla sinappi valmistetaan siemenistä perinteisillä kivimyllyillä jauhamalla. Jauhamisen jälkeen raaka-aineet sekoitetaan sekoitussäiliössä, minkä jälkeen sinappi menee myllyjen läpi. Prosessissa on kuusi eri myllyä ja jokaisen myllyn jälkeen tulisi sijoittaa lämpötila-anturi. Prosessissa lämpötila on noin 70-80 °C. (Maustaja 2018.)

Yrityksen opinnäytetyön aiheeksi antamassa prosessissa ongelmana on prosessin lämpötilan mittaaminen. Lämmin raaka sinappi on todella syövyttävää, eikä ole löydetty antureita, jotka kestäisivät sen syövyttävyyden. Prosessin aikana vallitseva lämpötila olisi hyvä selvittää, koska lämpötila vaikuttaa todella paljon valmiin sinapin makuun. Jos lämpötila on liian korkea, sinapista tulee liian katkeraa ja jos lämpötila on liian matala, sinappi jää raa'aksi.



KUVIO 1. Kaavio sinapin valmistuksesta.

Muutenkin sinapin valmistusprosessia ei ole juurikaan anturoitu. Prosessista on mahdollista saada paljon enemmän tietoa. Lisätiedon hankkiminen prosessista auttaisi kehittämään tuotantoa ja parantamaan myöskin tuotetta, kun tiedettäisiin millaisilla arvoilla saataisiin oikean laista tuotetta. Tällä hetkellä prosessista mitataan vain yksittäisiä lämpötila-arvoja, kun prosessista voitaisiin mitata mm. viskositeettiä, karkeutta, brixiiä (kuiva-aine pitoisuutta) ja lämpötilaa. (Maustaja 2018.)

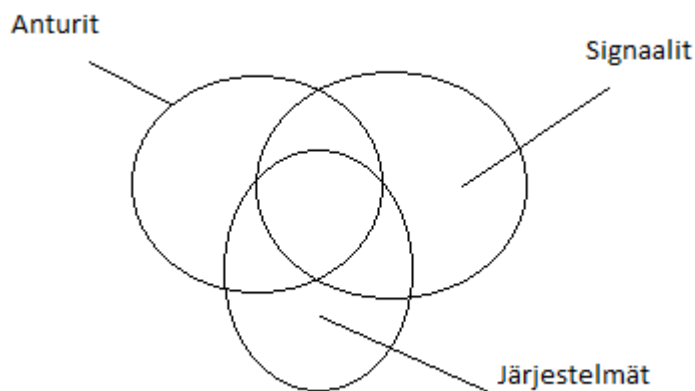
Tällä hetkellä suuri osa prosessin seurannasta tehdään aistinvaraisten havaintojen kautta. Aistinvaraisia havaintoja käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon tekijöitä, joilla on mahdollisuus vaikuttaa aisteihin ja havaintoihin. Jokainen ihminen on erilainen ja täten myös ihmisten aistitkin eroavat henkilöiden välillä. Tämän lisäksi myös havainnon tekijän ikä, vireystila, sairaudet ja ympäristön häiriöt voivat aiheuttaa eriävyyksiä aistinvaraisten havaintojen tekemiseen. Maustajalla vaistonvaraista havainnointi on käytetty elintarviketuotteen koostumuksen tarkkailuun. (Maustaja 2018.)

Anturointi mahdollistaa prosessin tarkemman analysoinnin ja mahdolliset häiriöt on myös helpompi havaita, kun huomataan, missä vaihetta prosessia ne tapahtuvat. Samalla se auttaa myös ymmärtämään prosessia tarkemmin.

3 MITTAUSTEKNIIKAN TEORIA

Mittauksen tarkoituksena on saada tietoa tietyistä asiasta tai ilmiöstä. Tarkoituksena onkin olemassa olevan maailman sekä virtuaalimaailman ymmärtäminen, sillä mitattaessa tieto kerätään reaali maailmasta tiedon muodostamaan virtuaalimaailmaan. Mittauslaitteita käytetään ilmaisemaan, muuntamaan, välittämään ja tallentamaan fysikaalisia suureita. Usein mittauslaitteita joudutaan yhdistämään järjestelmiksi. (Aumala 2006, 12.)

Sopivia antureita käyttämällä suurin osa suureista voidaan muuttaa sähköisiksi signaaleiksi, joiden käsittely on helppoa. Mittaustuloksia voidaan käyttää monilla eri tavoilla (raportointi, tunnistus ja säätö). Antureita on olemassa useita erilaisia. Tietotekniikan lisääntyessä antureiden määrä ja kirjo lisääntyy jatkuvasti. Anturit voidaan lajitella mm. toimintatavan, mittausperiaatteen, mittauskohteen ja sovelluskohteen perusteella. Mittauslaitteiden ja -järjestelmien tehtävänä on kohdetta koskevan tiedon hankkiminen. (Fonelius, Laitinen, Pekkola, Sampo & Välimaa 1994, 6-7.)



KUVIO 2. Mittaustekniikan tiedon rakenne (mukaiillen Aumala 2006, 14)

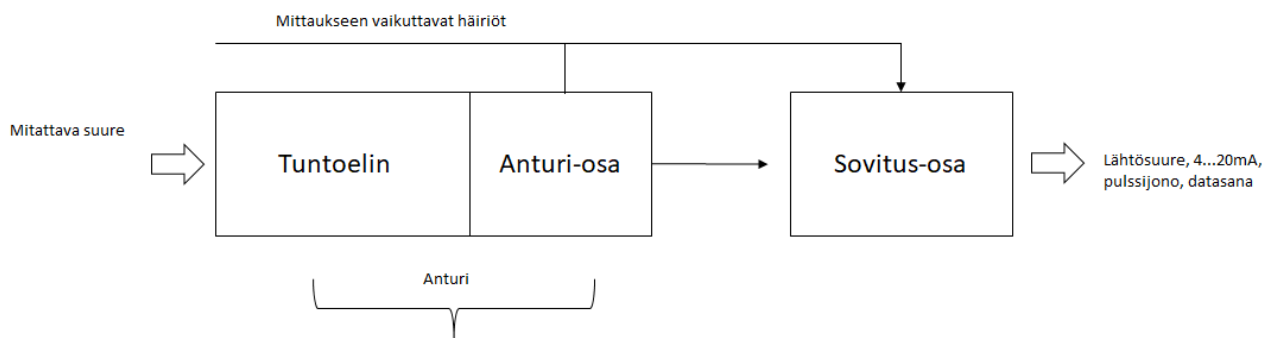
3.1 Anturitekniikka

Anturi kokoaa tietoa prosessista tai koneen tilasta. Anturi koostuu tuntoelimestä, johon mitattu tapahtuma vaikuttaa. Mittamuunnin (transducer), joka muuttaa mittaustulokset mittausviestiksi, usein jännitteeksi tai virraksi. Koneessa oleva ohjausjärjestelmä lukee saadun viestin ja tarpeen tullen käsittelee sitä

mittaustuloksen saamiseksi. Nykyään teollisuuden käyttöön on kehitetty erilaisia antureita, jotka ovat todella tarkkoja ja sopivat käytettäväksi vaativissakin olosuhteissa. Teollisuudessa tyypillisiä antureita ovat lämpötila-, paine- virtaus- ja voima-anturit sekä pituuden anturit. (Paavilainen 2010.)

Anturissa oleva tuntoelin on anturin osa, johon mittaussuure vaikuttaa ja sen tarkoituksena on varsinaisen mittaussuureen muodostaminen suoraan mitattavasta materiaalista. Lähetin on anturin osa, joka muodostaa jo muunnetusta suureesta pneumaattisen tai sähköisen standardiviestin mittaustuloksen käyttöpaikalle tai erilliselle näyttölaitteelle. (Paavilainen 2010.)

Standardiviesti on normaalisti virtaviesti ja suuruudeltaan 4...20mA, mutta myös alueita kuten 0...20mA, -10...+10mA sekä muita alueita on standardisoitu. Antureissa on myös monesti indikaattori, joka ei kerro itse mittausarvoa vaan ilmaisee esimerkiksi, milloin anturi on toiminnassa tai milloin mitausalue on ylitetty. (Aumala 2006, 19.)



KUVIO 3. Anturin lohkokaavio (mukaillen Fonelius 1994, 6)

Kun anturi on saanut aikaan signaalin, sen muokkaaminen ja käsittely eivät lisää hyödyllistä tietoa. Siitä voidaan tiivistää hyödyllistä tietoa ja mahdollisesta poistaa myös haitallista tietoa. Haitallista tietoa voi syntyä silloin, kun anturi reagoi muuhunkin kuin mitattavaan kohdesuuruuteen. Myös aiheuttaa häiriöitä laitteisiin ja siirtoteihin. Häiriöiden vaikutuksia voidaan ehkäistä oikeilla asennustavoilla. (Aumala 2006, 80.)

Anturin tekemä mittausta voi tapahtua joko välittömänä mittauksena tai välillisenä mittauksena. Välittömässä mittauksessa mitattava suure aiheuttaa mittarin osoittimen liikkeen, kuten esimerkiksi jännitteen mittaamisessa. Välillisessä mittauksessa anturin antama viesti muutetaan välillisesti mitattavaksi suureksi. Tällainen mittausta on esimerkiksi lämpötilan mittausta, jossa vastus muutetaan sähkövirran vaihteluksi. (Pihkala 2004, 9.)

Mittareiden näytöt voivat olla joko analogisia tai digitaalisia. Analogisissa mittareissa mitattavan suureen muutosta seurataan esimerkiksi osoittimen muutoksen avulla. Digitaalisissa mittareissa on yleensä numeronäyttö. (Pihkala 2004, 9-10.)

Siirrettäessä anturista saatua tietoa on myös siirrettävä energiaa. Signaaleista tiedon siirtoon sopivia ovat analogiamuotoisista signaaleista jännitteen ja virran amplitudi tai taajuus. Diskreeteistä signaaleista sopivia ovat sähköinen tai optinen pulssijono. Anturista saatava tieto on muodostettava energiasta. Anturit voidaan jakaa energian käsittelytavan mukaan kolmeen pääluokkaan: modulaattori-, generaattori- ja muokkaintyyppisiin.

Modulaattorityyppinen anturin signaalin energia saadaan ulkoisesta lähteestä ja tuntoelin moduloi mittauskohteesta signaalia sen avulla. (Aumala 2006, 81-82.)

Generaattorityyppinen anturi saa tarvittavan energian mitattavasta kohteesta ja muuttaa sen käytettävän signaalin energiamuotoon.

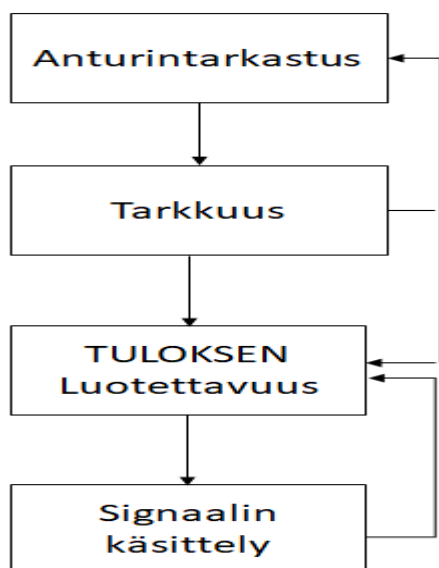
Muokkaintyyppinen anturi saa energiansa mittauskohteesta. Kohteesta otettu energia on samanmuotoista signaalin energian kanssa. (Aumala 2006, 81-82.)

3.2 Anturin valinta

Anturivalinnassa on otettava huomioon, että anturi olisi tarpeeksi tarkka ja kestävä. Tärkeää olisi, että anturista saatava signaali sopisi hyvin siirrettäväksi ja käsiteltäväksi. Anturin valinta alkaa peruskartoituksella, mikä alkaa laiteympäristöön tutustumisella. Tällöin valokuvien ottaminen prosessiympäristöstä voi olla hyödyllistä. Tärkeintä olisi kartoittaa mahdollisimman tarkasti, mitä anturin tulisi mitata. Myös mittauksen haluttu tarkkuus ja ympäristön häiriöt vaikuttavat anturin valintaan. Anturin asennukseen

liittyvät asiat on myös tärkeää selvittää ennen anturin hankkimista. Esimerkiksi anturin heikko kiinnitys voi aiheuttaa mittausvirheitä värinän johdosta. (Sensorla 2017)

Mittauksen suunnittelua (KUVIO 4) käyttämällä voidaan varmistaa, että mittausongelmiin liittyvät keskeiset näkökulmat tulevat käsitellyksi.



KUVIO 4. Mittauksen suunnittelu (mukaillen Aumala, 2006, 195)

Asennusvaiheessa anturilla kannattaa olla riittävästi säätövaraa, sillä lähes kaikki anturit vaativat säätämistä. Tärkeitä anturin valintaa liittyviä asioita ovat:

- mitattava suure
- mittausalue
- mittausalue ja mittauksen toistettavuus
- anturin koko
- anturoinnin vaikutus mitattavaan suureeseen
- ympäristöolojen kestävyys
- anturin suojausmahdollisuudet
- anturin hankinnannasta johtuvat kustannukset
- saatavuus

3.3 Älykkäät anturit

Mittalaitteiden ja antureiden älykkyys on lisääntynyt. Nykyään moni mittalaite sisältää prosessorin. Älykkäissä antureissa ohjelmaa suorittava prosessori ja toimilaite ovat yhdessä laitteessa. Älykkäissä antureissa on yleensä prosessori, ohjelma-, datamuistia ja erilaisia liittimiä. Laite voi sisältää myös erilaisia laskureita, suorituksenvalvontalogiikkaa sekä sarjaliikenne- ja väyläohjaimen. Nämä komponentit mahdollistavat tiedon käsittelyn jo anturissa itsessään ja näin voidaan vähentää signaalin vaatimaa jatkokäsittelyä myöhemmissä vaiheissa. Älykkäillä antureilla on jokin näistä ominaisuuksista:

1. kyky toteuttaa loogisia toimintoja
2. kyky tehdä kaksisuuntaista kommunikointia
3. tehdä päätöksiä ennalta määrättyjen ehtojen pohjalta. (Pihkala 2004, 12.)

Älykkyuden lisääntyessä mittalaitteissa laitteiden itsediagnostiikka on kehittynyt. Kun itsediagnostiikka voidaan yhdistää digitaaliseen kommunikointiin, voidaan rakentaa ohjausjärjestelmiä, joissa laitteiden huolto ja kunnossapito ovat tehokkaampia. Joissakin tapauksissa laitteet voivat varoittaa jo ennen kuin tehdas pysähtyy ja vian etsiminen helpottuu huomattavasti. (Pihkala 2004, 12.)

Älykkäillä antureitten etuina tavallisiin antureihin ovat: mittausalueen valinta voidaan tehdä ohjelmallisesti, mittausvirheet ovat pienempiä, itsediagnostiikka sisältyy itse anturiin, digitaalinen tiedonsiirto on mahdollista molempiin suuntiin ja antureilla voi olla useita eri toiminta moodeja. (Fonelius 1994, 7)

Kenttäväylä on digitaalinen kommunikointiratkaisu, jossa yhteen väyläsegmenttiin liitetään useita mittalaitteita (antureita) ja toimilaitteita (lähestymiskytkimiä, venttiilejä sekä servomoottoreita). Digitaalisen kommunikoinnin ansiosta ohjausjärjestelmät pystyvät vaihtamaan monia tietoja kenttälaitteen kanssa sen sijaan, että analogiateknologiaa käytettäessä olisi mahdollista siirtää vain yhtä eri tietoa. Kenttäväylät mahdollistavat kaksisuuntaisen digitaalisen tiedonsiirron. Kenttäväylien kautta anturit ovat suoraan kytkettävissä automaatiojärjestelmiin. Kaukokäyttöiset kalibroinnit ja viritykset lisäävät automaatiojärjestelmän käytettävyyttä. Antureiden turvallisuus ja käytettävyys on lisääntynyt, koska antureissa itsediagnostiikka ja vikaantumisen valvontatoiminnot ovat lisääntyneet. (Pihkala 2004, 13.)

Jotta älyn vieminen anturitasolle toimisi, tarvitaan toimivaa kenttäväyläratkaisua. Kenttäväylä siirtää tietoa mittausanturien, toimilaitteiden ja automaatiojärjestelmien välillä molempiin suuntiin. Tällä hetkellä yleisimmät väylät ovat Foundation Fieldbus, Profibus Pa sekä vanhempaa sukupolvea oleva Hart. (Pihkala 2004, 14.)

Digitaalisen tiedonsiirron lisäksi kenttäväyliä käyttämällä tarvittavan kaapeloinnin määrä vähenee, kun jokaista laitetta ei tarvitse kaapeloida erikseen. Tämän lisäksi myös tulevaisuuden laajenemismahdollisuudet on helpompi ottaa huomioon ristikytkentäkaappien karsiutumisen myötä. (Pihkala 2004, 14.)

3.4 Antureiden kotelointi

Koteloinnin tarkoituksena on estää ihmistä koskemasta sähkölaitteen vaarallisia osia ja samalle kotelointi suojaa sähkölaitteen sisäosia ulkopuolisilta haitoilta kuten vierailta esineiltä ja pölyltä sekä myös vedeltä. (Paavilainen 2010.)

Euroopassa antureiden suojaukseen käytetään IP-luokitusjärjestelmää. IP-luokitus kertoo, miten laite on suojattu ulkoisilta ympäristöolosuhteilta kuten pölyltä ja vedeltä. Tämän jälkeen tavallisesti on kaksi numeroa. Kotelointiluokan ensimmäinen numero kertoo kosketus- ja vierasesinesuojausominaisuudet. Toinen numero kertoo vesisuojausominaisuudesta. Tämän lisäksi voi olla lisäkirjain ja täydentävä kirjain. Lisäkirjain kertoo vaarallisten osien suojuksesta, ja täydentävä kirjain kertoo tiedon merkityksestä. Ensimmäinen numero on 0...6 tai kirjain X. Toinen numero on numero 0...8, tai kirjain X. Lisäkirjain kuvaa laitteen kosketussuojaukselta nyrkiltä (A), sormelta (B), työkalulta (C) ja langalta (D). Täydentävä kirjain H tarkoittaa suurjännitelaitetta. Muut kirjaimet M, S ja W kertovat laitteen vesisuojausten testaamisesta. (Mäkinen 2015.) Seuraavissa taulukoissa (TAULUKKO 1) ja (TAULUKKO 2) on kerrottu IP-luokituksen ominaisuuksia.

TAULUKKO 1. IP-luokitusjärjestelmän ensimmäinen numero (Mäkinen 2015.)

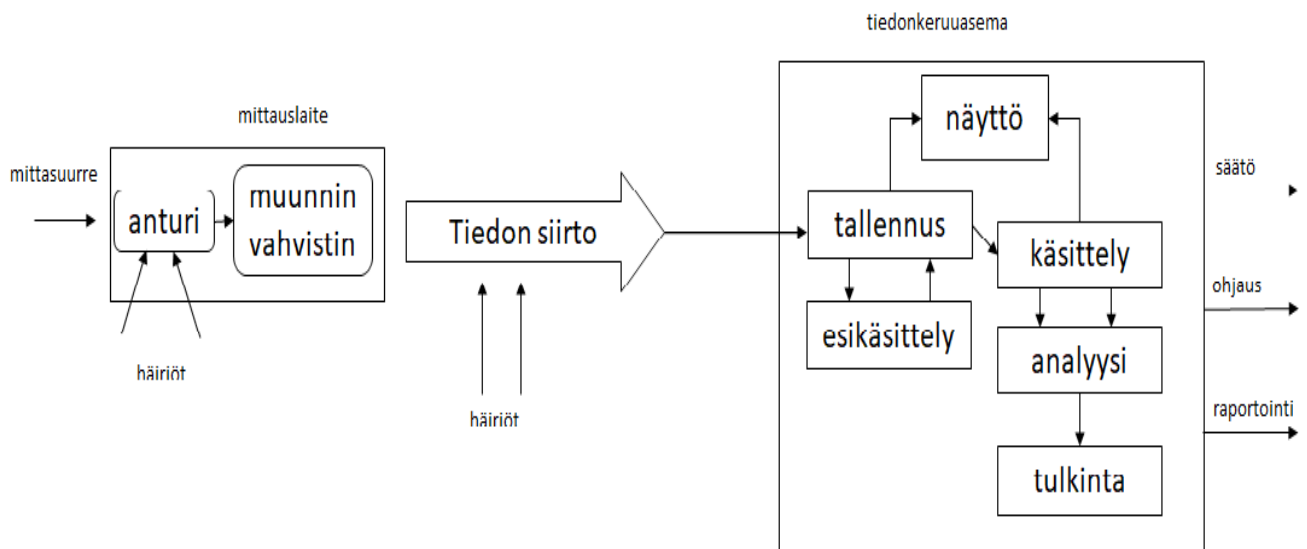
1. numero	Suojaustason kuvaus
0	Ei suojausta
1	Suojaus suuria kappaleita vastaan, halkaisija 50mm tai suurempi
2	Suojaus keskikokoisilta kappaleilta, halkaisija 12,5 mm tai suurempi
3	Suojaus pieniltä kappaleilta, halkaisija 2,5 mm tai suurempi
4	Suojaus todella pieniltä kappaleilta, halkaisija 1 mm tai suurempi
5	Pölyltä suojattu, ei täydellistä tiiveyttä, mutta haitallista pölykeritystä ei saa syntyä
6	Pölytiivis, täydellinen suojaus

TAULUKKO 2. IP-luokitusjärjestelmän toinen numero (Sähköala 2015.)

2. numero	Suojaustason kuvaus
0	Ei suojausta vedeltä
1	Pystysuoraan tippuvalta vedeltä suojaus
2	Pystysuoraan tai korkeintaan 15 asteen kulmasta tippuvalta vedeltä suojaus
3	Korkeintaan 60 asteen kulmassa satavalta vedeltä suojaus
4	Roiskuvalta vedeltä suojaus
5	Joka suunnasta tulevalta vesisuihkulta suojaus
6	Joka suunnasta tulevalta voimakkaalta vesisuihkulta suojaus
7	Kestää hetkellisen upotuksen veteen
8	Kestää jatkuvan upotuksen veteen.

3.5 Mittausjärjestelmät

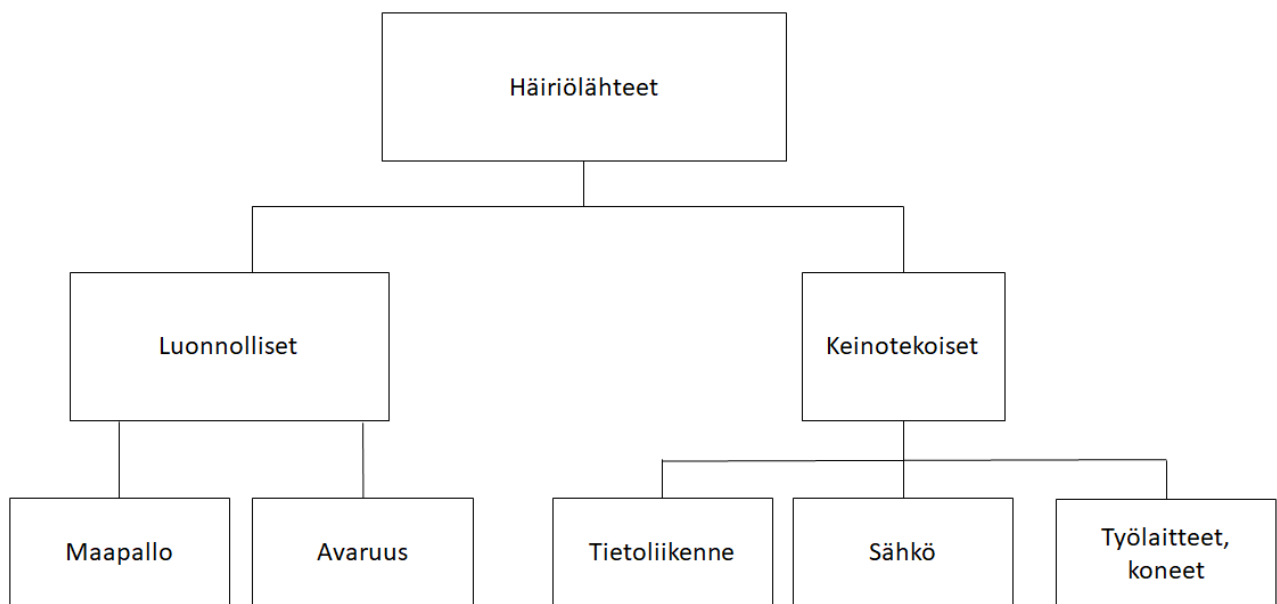
Mittausjärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, jota käytetään mittaustulosten hankkimiseen, siirtämiseen, tallentamiseen ja käsittelyyn. Mittaustehtävästä riippuen järjestelmään voi kuulua erilaisia laitteita ja komponentteja. Tavalliseen järjestelmään kuuluvia komponentteja ovat mittauslaitteet, datansiirto ja tiedonkeruu. (Aumala 2006, 15.) Mittausjärjestelmän yleinen rakennekaavio on esitelty (KUVIO 5).



KUVIO 5. Mittausjärjestelmän rakennekaavio (mukaihen Aumala 2006, 16.)

3.6 Häiriöt mittauksessa

Häiriö on haitallinen sähköinen signaali, joka voidaan poistaa mittauksista. Jokainen anturi on suunniteltu toimimaan omanlaisessaan ympäristössä, joten poikkeava toimintaympäristö voi aiheuttaa mittaukseen epätarkkuuksia, ongelmia anturin käytössä ja antureiden käyttöiän lyhenemistä. Anturille häiriöitä aiheuttavat sähköiset, mekaaniset ja ilmastolliset tekijät käyttöympäristössä. Ihminen ja luonto aiheuttavat sähköisiä häiriöitä, jotka voivat häiritä luotettavaa mittaamista. Yleensä teollisuudessa sähkölaitteiden aiheuttamat häiriöt ovat luonnon aiheuttamia häiriöitä suurempia. Luonnon aiheuttamia häiriöitä on esimerkiksi ukkoshäiriöt ja atmosfäärinen kohina. Ihmisen aiheuttamia häiriöitä on taas ihmisen käyttämät tarkoituksella säteilevät laitteet radiot, suurtaajuuskuumentimet. (Häkkinen, Fallström, Haapalinna & Kärhä 1994, 4.) Alla olevassa kuviossa on esiteltyä erilaisia häiriölähteitä (KUVIO 6).



KUVIO 6. Häiriölähteitä (mukaillen Fällström, Haapalinna, Häkkinen & Kärhä 1999, 4)

Yleensä mittaussignaali on sähköinen ja signaaliteho niin pieni, että siirtotiehen vaikuttavat häiriöt voivat aiheuttaa merkittäviä mittausvirheitä. Häiriöt voidaan jakaa kolmeen perussyhyyn: häiriölähde, häiriön kytkeytyminen ja häiriön alainen laite. (Aumala 2006, 143.)

3.6.1 Häiriölähde

Häiriölähteen vaikutusten pienentämiseen ilmeisin tapa on yrittää vaikuttaa itse häiriölähteeseen. Jos häiriölähteen poistaminen on mahdollista, se on paras keino häiriön poistoon. Menettely liittyy läheisesti prosessin suunnitteluun. Tavallisia häiriölähteitä alle 100 kHz taajuuksille ovat mm. voimajohdot, releet, muuntajat ja moottorit. Jos häiriölähteiden poistaminen ei ole mahdollista häiriölähdettä voidaan yrittää muita keinoja:

- anturin sijoittaminen häiriöttömämpään paikkaan
- anturin elektroniikan tekeminen vähemmän häiriöalttiiksi
- anturin korvaaminen häiriötä paremmin kestäväällä anturilla. (Aumala 2006, 144.)

3.6.2 Kytkeytyminen

Toinen yleinen häiriöongelman perustekijä on kytkeytyminen. Kytkeytymisen estämiseen liittyy yleensä asennus- ja kytKentäratkaisuja. Nämä ratkaisut voidaan toteuttaa parhaiten jo mittausjärjestelmän suunnitteluvaiheessa. Häiriöt voivat kytkeytyä sekä signaalijohtimien, virransyöttöpiiriin että laitteeseen suoraan säteilemällä. Häiriönsuojaus vaatii hyvää suunnittelua. (Aumala 2006, 145.)

Galvaanista kytkeytymistä tapahtuu silloin, kun suurivirtaisilla piireillä ja pienvirtaisilla, tulopiireillä on yhteisiä virtateitä. Tämän takia suositellaan, että signaalinkäsittelylaitteita varten käytettäisiin stabiloituja virtalähteitä eikä niitä käytettäisi releiden syöttöön tai muuhun käyttöön, missä esiintyy suuria virta-arvoja tai äkillisiä muutoksia. (Aumala 2006, 145.)

Induktiivinen kytkeytyminen tapahtuu magneettikenttien vaikutuksesta: virrassa tapahtuvat muutokset indusoivat jännitettä piirissä oleviin silmukoihin. Induktiivinen kytkeytyminen aiheuttaa ongelmia tiedonsiirto- ja automaatiojärjestelmissä signaalien siirrossa sekä mittaustekniikassa, kun mitataan heikkoja signaaleja. Paras keino induktiivisen kytkeytymisen estämiseen on silmukoiden välttäminen. (Aumala 2006, 145.)

Kapasitiivinen kytkeytyminen saa alkunsa piirien välisten hajakapasitanssien kautta. Hajakapasitanssin kautta siirtyy virtaa, kun jännitteet muuttuvat. Kytkeytyminen voidaan estää sillä, että häiriölähde sijoitetaan mahdollisimman kauas signaalipiireistä. (Aumala 2006, 145.)

3.7 Häiriön suodattaminen

Jos häiriölähdettä ei ole mahdollista poistaa eikä pystytä riittävästi estämään häiriön kytkeytymistä, voidaan yrittää suodattaa häiriö tai kompensoida häiriön vaikutuksia eri mittausten perusteella. Suurtaajuisien häiriöiden suodatukseen käytetään erityisiä johtojen läpivientikondensaattoreita ja LC-alipäästösuotimia. Kohinan ja häiriöiden vaikutusta mittauksiin voidaan heikentää kaventamalla taajuuskaistaa. (Aumala 2006, 146.)

3.8 Mittausten tarkkuus ja epävarmuus

Mittauksesta saatu tulos ei ole koskaan oikein. Mittaustulo on vain arvio mitattavasta arvosta. Mittaustuloksen ja mitattavan arvon eroa kutsutaan mittausvirheeksi. Mittauksissa tapahtuva mittausvirhe voidaan jakaa systemaattiseen virheeseen ja satunnaisvirheeseen. Systemaattinen virhe pysyy samana tai muuttuu säännönmukaisella tavalla. Satunnainen virhe johtuu useista riippumattomista syistä. Antureiden valmistajat kertovat teknisissä tiedoissaan anturin mittaustarkkuuteen liittyviä tietoja.

(Weckström 2005, 11.)

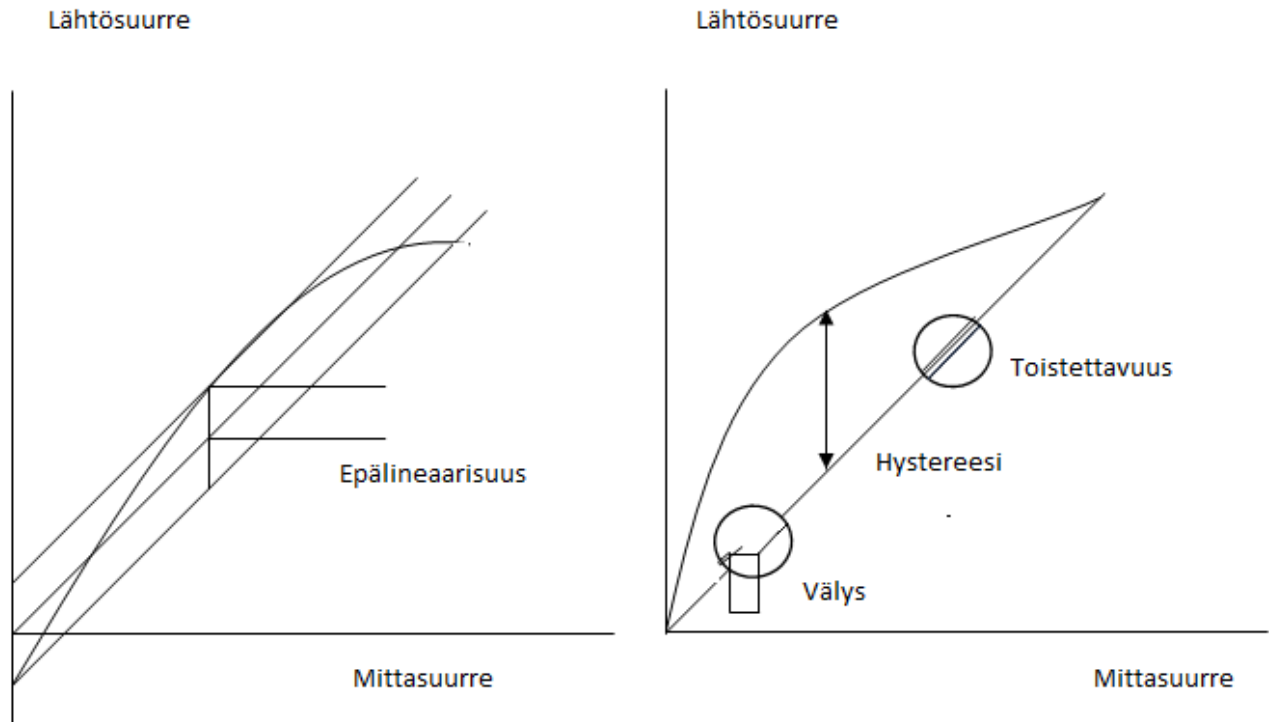
Onnistuneen mittauksen edellytyksenä on muun muassa, että mittauksissa käytetään oikeanlaista mittauslaitetta suureen mittaamiseen. Mittauksen suorittajan pitää tietää, miten mittaus tulee suorittaa oikeoppisesti. Mittauslaitteen on oltava tarkka ja soveltuva antamaan tietoa kohdesuureesta eikä vaikutussuureista. Mittauksen aikana olosuhteiden pitää olla myös mittauksen mahdollistavat. Lisäksi mitausta tehtäessä on otettava huomioon mittaukseen kuluva aika. Jos mittaus suoritetaan liian nopeasti, mittausvirheen todennäköisyys kasvaa huomattavasti ja suorituskyky heikkenee. (Aumala 2006, 156.)

Tavallisesti mittaustulos sisältää systemaattisia ja satunnaisia virheitä. Korjatusta mittaustuloksesta on poistettu tunnetut systemaattiset virheet. Mittausepävarmuus ilmoitetaan prosentteina mittausalueesta. Se kertoo kuinka suuri virhe korjattuun mittaustulokseen voi sisältyä. Toistettavuus kertoo anturin kyvyn kertoa lähtöviestin samalla mittausravolla. Erotuskynnys on pienin mittausravon muutos, jonka muutoksen anturi havaitsee. (Weckström 2005, 11.)

,

Anturi on lineaarinen, kun mittauksesta saatu ulostulon muutokset ovat suoraan verrannollisia tulosuureiden muutokseen. Poikkeamaa lineaarisuudessa kutsutaan epälinearisuudeksi. Muutoskynnys eli välily on alue, jossa tuloviesti voi heilahdella ilman lähtöviestiin muodostuvaa muutosta. Hystereesi on

tuloviestin arvoa vastaavan suurenevan tai pienevän lähtöviestin suurinta eroa. Toistuvuus on jatkuvan mittauksen lähtöviestien arvojen hajontaa. (Pihkala 2004, 11.)



KUVIO 7 Epälineaarisuus, vällys, hystereesi ja toistuvuus (mukaiillen Pihkala 2004, 11.)

Antureiden tarkkuus heikkenee anturin käyttöiän kasvaessa. Tämän takia antureiden kuntoa on tarkastettava tarvittaessa. Kalibroinnilla tarkoitetaan käytetyn mittalaitteen vertaamista tarkempaan mittalaitteeseen. Tätä laitetta kutsutaan kalibraattoriksi. Mittalaite pyritään virittämään mahdollisimman lähelle kalibraattorin antamaa arvoa. Kalibrointia vaativat mittaukset voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- Ohjaukseen merkittävästi vaikuttavat mittaukset
- Ohjaukseen tarvittavat taloudellisesti vaikuttavat mittaukset
- Määräyksiin, lakeihin ja asetuksiin liittyvät mittaukset.

Tärkeimmät kalibroittavat suureet prosessiteollisuudessa ovat paine ja lämpötila. (Fonelius 1994, 14.)

4 LÄMPÖTILAN MITTAUSTEKNIIKAT

Lämpötila on teollisuudessa ja fysiikassa erittäin merkittävä suure. Lämpötilasta riippuu, missä olomuodossa materiaalit ovat, kuinka erilaiset kemialliset reaktiot tapahtuvat ja kuinka paljon materiaaleissa on sisäistä energiaa. Lämpötilan SI-yksikkö on kelvin (k), mutta yleensä teollisuudessa käytetään celsiusastetta. (Aumala 2006, 85-86.)

Fysikaalisia ominaisuuksia, joiden kautta lämpötilaa voidaan mitata, on useita. Ensimmäiset lämpötilamittaukset perustuivat nesteen lämpötilalaajenemiseen. Lämpötilaa on myös mahdollista mitata höyrynkä kaasun lämpölaajenemisen avulla. (Pihkala 2004, 36.)

Materiaalin lämpötilan mittaaminen on joko kosketukseen tai koskemattomaan mittaukseen perustuvaa. Seuraavaksi esitellään yleisiä prosessin lämpötilan mittausvaihtoehtoja. Kaikkien aineiden sähkönjohtavuus muuttuu lämpötilan muuttuessa. Kun lämpötilariippuvuus tunnetaan, saadaan lämpötila selville anturin resistanssin mittauksella. Kaikki materiaalit lähettävät myös sähkömagneettista säteilyä, jonka voimakkuus- ja aallonpituusjakauma riippuu lämpötilasta ja säteilevän pinnan laadusta. Säteilylämpömittarit eli pyrometrit mittaavat aineen säteilemää lämpösäteilyä. Seuraavaksi käydään läpi erilaisia lämpötilan mittaustapoja. (Pihkala 2004, 36.)

4.1 Vastusanturit

Vastuslämpömittari on laite, jolla mitataan metallin resistanssia. Sähköinen vastusarvo on riippuvainen lämpötilasta. Tavallisesti vastusantureissa käytetään metalleja ja metalliseoksia, sekä tietynlaiset puolijohteet. Tavallisesti vastusanturit on valmistettu platinasta, kuparista, nikkelistä tai metallioksidien seokista. Yksi tavallisimmista vastusantureiden materiaaleista on platina. Vastusanturissa varsinainen tuntoelin on joko ohut metallilanka tai metallikalvo, jonka resistanssi muuttuu lämpötilan kasvaessa. (Weckström 2005, 44-45.)

Platinaa käytetään mittauksissa, koska sillä on hyvät muokkautuvuusominaisuudet. Platinasta on mahdollista tehdä ohuita lankoja. Myös sen kemiallinen pysyvyys korkeissa lämpötiloissa on hyvä. Platinasta valmistetun anturin, jonka vastus lämpötilassa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ on 100 ohmia, vastus muuttuu keskimäärin 4 ohmia/ $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilavälillä $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tällainen vastus on nimeltään Pt-vastus. Rakenteeltaan anturi

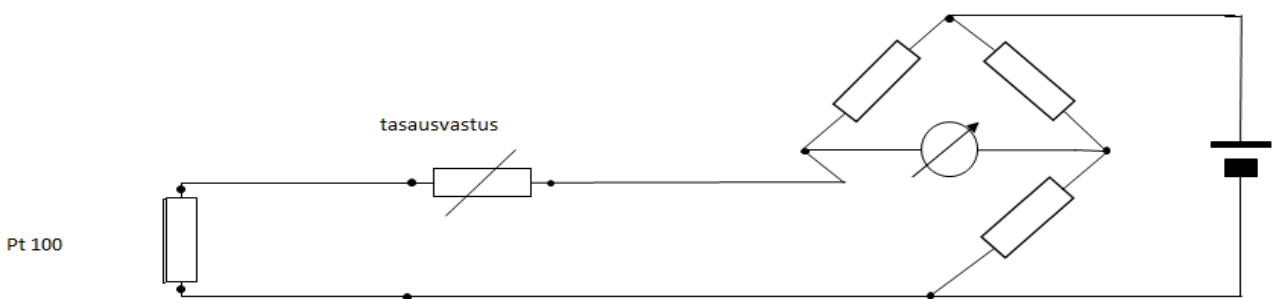
on yksinkertainen: vastuselementti on 0,05... 0,2 mm langasta, joka on kierretty lasista tai keraamisesta aineesta tehdyn rungon ympärille. (Rastor 1995.)



KUVA 1. Vastusanturi

Pt100-anturilla standardisoitu resistanssiarvo 0 °C lämpötilassa on $R_0 = 100 \Omega$. Platinalla on positiivinen resistanssin lämpötilakerroin, joten vastuksen arvo kasvaa lämpötilan noustessa. Vastus muuttuu lämpötilan funktiona $0,39 \Omega/1 \text{ } ^\circ\text{C}$. Vastusanturia käytettäessä on tärkeää tarkistaa nollapisteen resistanssi ennen anturin käyttöä jäähauteessa tai veden kolmoispisteessä. (Skssensors.)

Alla olevassa kuvassa (KUVIO 8) on esiteltyä yksinkertainen vastusanturin kytkentäkaavio.

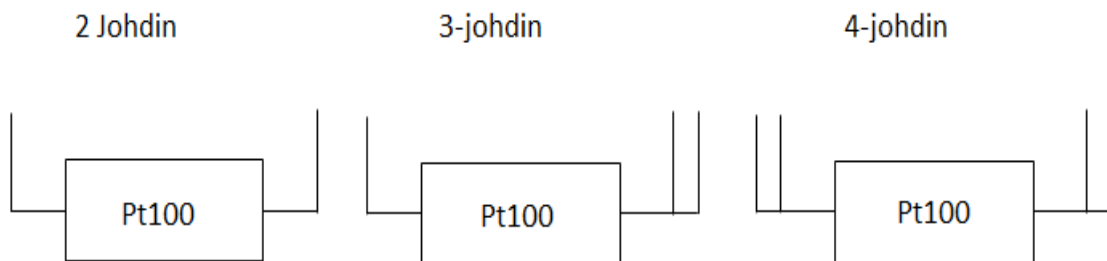


KUVIO 8. Pt100 vastuksen kytkentä (mukaiillen Pihkala 2004, 45)

Rakenteeltaan anturit voivat olla 2-, 3- tai 4-johtimisia riippuen siitä, millaisella kytkennällä vastusmittausta on tarkoitus tehdä. Mittauslaitteeseen anturi liitetään 2-, 3- tai 4-johdinkytkennällä ja johtimena

käytetään yleensä hyvälaatuista kuparijohtoa, jonka eristysvastus on riittävän hyvä. 4-johdinmittauksella saadaan tarkin vastusmittaus (Weckström 2005, 44.)

Pt100-anturiin syötetään vakiovirtaa (kuten 1...3 mA). resistanssin muutos saadaan mitattua jännitehäviön muutoksena. Anturin yhteyteen, anturin suojaputkeen, kytkinkoteloon tai erilliseen kytkentäkoteloon, on mahdollista asentaa lämpötilalähetin. Lähetin muuntaa lämpötilasta riippuvaisen vastusarvon sähköiseksi 4...20 mA standardiviestiksi, joka siirretään osoitinlaitteelle tai tietokoneelle. (Pihkala 2004, 45-46.)



KUVIO 9. Pt100-antureita (mukaillen SKS Sensors)

Anturin aktiivinen osa on metallilanka. Tavallisesti langan materiaalina käytetään platinaa tai nikkeliä. Nikkelillä on suurempi lämpötilakerroin kuin platinalla, jolloin myös anturi on myös herkempi. Toisaalta platina-anturin korroosiokestävyys on parempi ja myös käyttölämpötila-alue on laajempi (-220...+850 °C). Platina-anturin käyttö on yleisempää huolimatta sen korkeammasta hinnasta. Tavallisesti vastuslanka on päällystetty keraamisella aineella tai lasilla ja suljettu jaloteräs- tai nikkeli-putkeen. Putki on täytetty keraamisella aineella. Vastusantureiden lämpötilariippuvuus ei ole täysin lineaarinen, joten lämpötilakertoimien sijasta käytetään yleensä taulukkoa. (Pihkala 2004, 44-46.)

Vastusanturista itsestään johtuva mittausepä-tarkkuus on 0,3 ... 5 °C. Mittauksessa käytettävä mittausvirta lämmittää anturia, mikä puolestaan aiheuttaa mittausvirhettä. Tämän vuoksi mittausvirta rajoitetaan enintään 10mA:iin. Nykyään mittauslaitteissa mittausvirta on noin 1 mA tai pienempi. Platina-anturin

käyttöä suurissa lämpötiloissa rajoittavat suojavaipan lämpöliikkeiden aiheuttamat muutokset platinalankaan, sillä tällöin langan resistanssi arvoon tulee pysyviä muutoksia. (Aumala 2006, 91.)

4.1.1 Termistorit

Termistorit ovat puolijohdintyyppisiä vastusantureita. Termistorien etuina Pt100-antureita vastaan on suurempi herkkyys ja pieni koko. Suurin osa termistoreista ovat NTC-termistoreja ja niiden lämpötilakerroin on negatiivinen. Termistorit ovat epälineaarisia ja niitä käytetään mittausalueella -60 - +300 °C. Termistorit sopivat hyvin mittaukseen, jos mittaalue on pieni tai lämpötilaerot ovat pieniä. Termistoreja käytetään yleensä vain lämpötilakytkeissä ja nopeiden lämpötilamuutosten mittaamisessa. (Aumala 2006, 92.)

PTC-termistoreilla lämpötilan kasvaessa vastus kasvaa, kun taas NTC-termistoreilla vastus pienenee lämpötilan kasvaessa. Jos mittausvirta on pieni, termistori mittaa ympäristön lämpötilaa. Mittausvirran ollessa liian suuri se lämmittää sensoria ja samalla väärentää mittaustulosta. Termistorien lämpötilakerroimet ovat moninkertaisia metallivastuksiin verrattuna (Pihkala 2004, 46.)

4.1.2 Mittauskytkennät

Vastusanturia käytettäessä lämpötilan mittaus suoritetaan resistanssin mittauksena. Yleisimmin käytetään siltakytkentää kuten Wheatstonen silta. Mittaussiltojen tarkoituksena on muuttaa vastusmittaus jänniteviestiksi. Jänniteviestistä saadaan helposti virtaviesti, joka on helppo kuljettaa kauaskin, toisin kuin vastusarvo. Tavallisesti signaalin muodostamiseen käytetään 2-, 3- tai 4-johdinkytkentää. Jos lämpötila on vakio, voidaan käyttää kaksijohdinkytkentää. Jos ympäristön lämpötila vaihtelee tai signaalin siirtomatka on pitkä, suositellaan käyttävän 3- tai 4-johdinkytkentää. (Rastor 1995.)

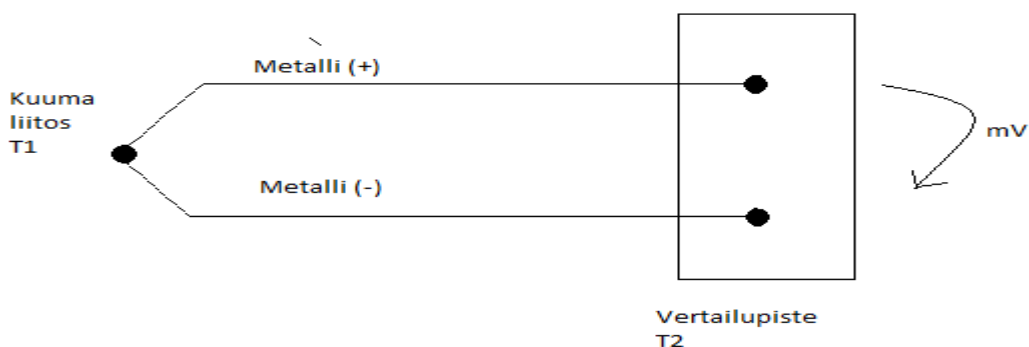
4.2 Termopari

Termoparit (termoelementit) ovat yleisiä, laajassa käytössä oleva anturityyppi lämpötilan mittaukseen. Termoparit ovat yksinkertaisia, luotettavia ja halpoja. Erityisesti yli 500 °C mittauksissa termoelement-

tien käyttäminen on yleisempää kuin vastusantureiden. Termoparit toimivat todella laajalla alueella. Termoparien heikkoutena on heikompi tarkkuus kuin vastusantureiden sekä jännitteen pienuudesta ja vertailulämpötilasta johtuvat vaikeudet. (Pihkala 2004, 47-48.)

Termoparin toiminta perustuu Seebeck-ilmiöön. Kahden eri metallista valmistetun johdon liittymiskohtaan syntyy jännite, jos liitoskohdat ovat eri lämpötiloissa ja vastaavasti suljetussa piirissä alkaa kulkea sähkövirtaa. Termoparissa syntyvä jännite riippuu lämpötilaerosta ja myös termoelementissä käytetyistä materiaaleista. Periaatteessa termoelementit voidaan valmistaa mistä tahansa sähköä johtavasta aineparista. Lämmitessä kahden erilaisen johtimen liitoskohtaan syntyy johtimiin jännite-ero, jota kutsutaan elektromotoriseksi voimaksi. Termoparit rakennetaan helposti vaihdettavaksi analysaattoreiksi. (Rastor 1995.)

Yleensä termoelementit joudutaan eristämään ja suojaamaan ympäristön vaikutuksilta. Eristämistä suunniteltaessa on varmistettava, ettei eristysaine tai suojaputki muuta metallilankojen kemiallista koostumusta. Eristysaineen tarkoituksena on varmistaa riittävä sähköinen eristyskyky käyttöolosuhteissa. Termoparin valinnassa on otettava huomioon lämpötila-alueen lisäksi myös herkkyys, epätarkkuus, kemiallinen stabiilius, värinäkestävyys sekä hinta. Halvin termoparityyppi on rauta-konstantaanipari. Se on kuitenkin huonosti kemiallista räsytystä kestävä ja epälineaarinen. Seuraavassa kuviossa (KUVIO 10) on esiteltyä termoparin toiminta).



KUVIO 10. Termoparin toiminta (mukaiillen Pihkala 2004, 47)

Termopareja valmistetaan monista eri metalleista ja niiden ominaisuuksia on esiteltyä seuraavassa taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Termoelementtityyppien ominaisuuksia. (Aumala 2006, 88)

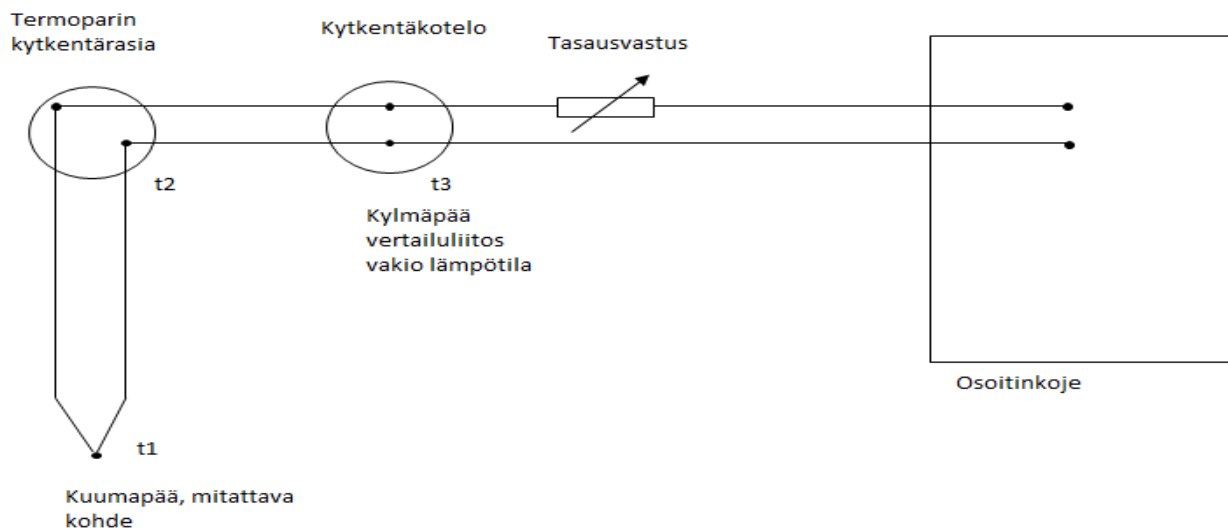
Tyyppi	Materiaali +	Materiaali -	Herkkyys $\mu\text{V/K}$ (373 K)	Käyttöalue (°C)
E	Cromel (NiCr)	Konstantaani (CuNi)	68	0...800
T	Kupari (Cu)	Konstantaani (CuNi)	46	-250...400
K	Cromel (NiCr)	Alumel (NiAl)	45	-200...1100
J ja L	Rauta (Fe)	Konstantaani (CuNi)	46	-200...700
S	Platina- rhodium Pt90Rh10	Platina (Pt)	8	-50...1300

Jalot termoparit kestävät korkeampia lämpötiloja ja ovat tarkempia mutta antavat pienemmän jännitteen. Termoparien lämpötilankestoisuus riippuu metallin tyyppin lisäksi myös käytetyn langan vahvuudesta. Termoparin käyttöikään vaikuttaa myös se minkäläisten kaasujen ympäröimänä termopari on. Termoparin ensimmäisenä mainittuun johtimeen tulee tasajännitteen positiivinen napa. Kun mittauksessa tarvitaan mahdollisimman tarkkaa mittaustulosta lämpötilassa 600 °C tai sen yläpuolella, mittaukset suoritetaan platina-rodium – termoelementeillä. (Pihkala 2004, 48-49.)

Termoparit valmistetaan kahdesta langasta ja ne eristetään toisistaan joko keraamisilla helmillä tai putkilla. Metallilankojen päät hitsataan tai juotetaan kiinni toisiinsa. Tavallisesti termoparit laitetaan ohuen metalliputken sisälle. Suojaputken muoto ja sijainti vaikuttavat termoparin mittaussnopeuteen. Tavalli-

sesti termopari eristetään suojaputkesta. Termoparin vertailuliitoksen ei haluta muodostuvan anturin liitäntärasiaan, koska rasian lämpötila voi vaihdella todella paljon esimerkiksi säteilyn johdosta. Tällöin termoparin kylmä pää voidaan siirtää ja samalla pidentää termoparia samasta materiaalista valmistetulla jatkojohdolla. Jaloilla termopareilla ei kuitenkaan kannata käyttää termoparimateriaalista tehtyä jatkojohtoa, vaan korvata se pidennysjohdolla. Pidennysjohdot on tehty halvemmasta materiaalista kuin aidot termoparin johtimet, mutta niiden lämpösähköiset ominaisuudet ovat riittävän samanlaiset. Pidennysjohtoja on useita erilaisia ja ne erotetaan toisistaan värikoodien avulla. (Pihkala 2004, 49.)

Termoparimittauksessa saadaan mitattavan ja vertailulämpötilan erotukseen verrannollinen jännite. Tämän takia vertailulämpötilan T_2 –stabiilius on todella tärkeää. Vertailupisteenä voidaan käyttää tarkkaa termostaattia, mutta vaatimattomissa sovelluksissa vertailupisteenä voidaan käyttää myös huoneenlämpötilaa. Tavallisesti termoparimittauksen epävarmuus on noin 3 ... 9 °C. Lämpötilamittauksen epävarmuus kasvaa lämpötilan noustessa. (Aumala 2006, 90.)



KUVIO 11. Termoparin kytkentä (mukaiillen Pihkala 2004, 47)

4.3 Säteilyyn perustuvat menetelmät

Lämpökameroiden toimintaperiaatteena on se, että jokainen kappale lähettää lämpö- eli infrapunasäteilyä. Lämpökamera vastaanottaa säteilyn, mittaa sen voimakkuuden ja muuntaa lämpötilajakauman kuvaksi. Lämpökameran saamaa kuvaa voidaan tarkastella videonäytöltä tai kameran omalta näytöltä. Ny-

kyään lämpökamerat voivat erottaa 0,1 celsiusasteen erot. Noin 700 celsiusasteessa säteily tulee näkyväksi, ja tällöin lämpötilaa voidaan arvioida hehkuvan kappaleen väristä. Säteilypyrometrejä voidaan käyttää silloin, kun normaalin termoelementtien, vastusantureiden tai termistorien asentaminen olisi mahdotonta tai todella haastavaa. Tällaisia kohteita ovat hyvin korkeat lämpötilat, liikkuvat kohteet, räjähdysvaaralliset ympäristöt ja kaukana olevat kohteet. (Pihkala 2004, 53.)

Pyrometrilla lämpötilaa on mahdollista mitata alueella $-50\dots+3000\text{ °C}$. Erikoistapauksissa lämpötilaa voidaan mitata lämpökameralla jopa yli kahden kilometrin etäisyydeltä. Pyrometrit perustuvat jompaankumpaan säteilyn kahdesta ominaisuudesta:

- Säteilyn voimakkuuden kasvu on verrannollinen absoluuttisen lämpötilan neljänteen potenssiin.
- Lämpötilan kasvaessa säteilyn voimakkain huippu siirtyy kohti korkeampaa taajuutta noin 100 MHz/°C . (Pihkala 2004, 53.)

Pyrometrin optiikka perustuu joko peiliin tai linssiin. Tavallisesti peili suojataan ohuella muovikalvolla pölyntymisen takia. Linssissä tai suojakalvossa käytetty materiaali määrää anturille tulevan säteilyn aallonpituuden. Pyrometrin anturi voi reagoida säteilyn koko alueeseen tai vain pelkästään kapealle kaistalle. (Pihkala 2004, 54.)

Infrapunäsäteilypyrometrin toiminta perustuu mitattavasta kohteesta säteilevään lämpösäteilyyn. Infrapunapyrometrit kattavat todella laajan mittausalueen $-50\dots+3500\text{ °C}$. Lämmin kohde säteilee infrapunaenergiaa, jonka määrä on riippuvainen mitattavan kohteen lämpötilasta. Kun mitataan säteilyn energian määrä, lämpötila voidaan määrittää kohdetta ilman kosketusta. Infrapunäsäteily kulkee mittarin linssille ja fokusoidaan infrapunailmaisimelle. Ilmaisin tekee säteilyn sähköiseksi signaaliksi, jonka voimakkuus riippuu tulevasta säteilystä. Elektroniikan kautta signaali saadaan halutulle lämpötila-alueelle. Ulostulo on mahdollista saada joko analogisena tai digitaalisena. (Pihkala 2004, 56.)

Tavallinen pyrometri muodostuu optiikasta, ilmaisimesta ja elektroniikasta, joka muodostaa lämpötilaa verrannollisen sähköisen signaalin. Hyvin valmistettu pyrometri on rakennettu niin, että lämpösäteily kerätään mahdollisimman tarkasti ilmaisimelle. Tämän tarkoituksena on se, että häiriöt näköalueen ulkopuolelta on eliminoitu tai häiriölähteestä johtuvat virheet kompensoidaan ja optisella suodattimella erotetaan haluttu aallonpituuskaista. (Weckström 2005, 53.)

Säteilyyn perustuvia infrapunamittauksia on kolmenlaisia: lämpötilan mittaus, lämpötilakuvan muodostaminen ja kohteen läsnäolon paljastaminen. Yleisesti tunnetuin näistä on lämpökamera, joka muodostaa kuvan kohteesta lähtevän lämpösäteilyn perusteella. Lämpökamerat toimivat valmiiksi määritellyllä mitausalueella. (Pihkala 2004, 56.)

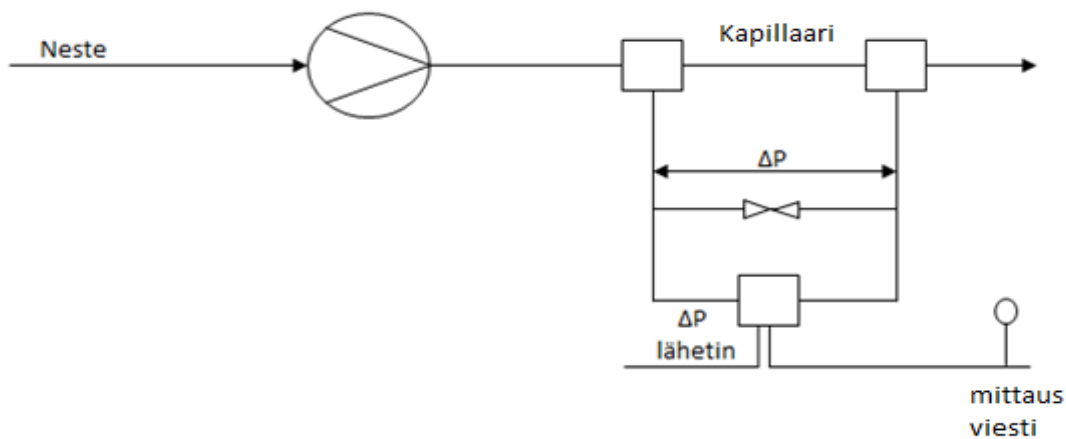
Lämpökameraa käytettäessä se pitää kohdistaa ja fokusoida mitattavaan kohteeseen. Lämpökameran asemointi pitää suunnitella niin, että kamerassa oleva optiikka ei altistu mitauskohteen ulkopuolelta tuleville heijastuksille, jotka voisivat vääristää mittaustuloksia. Parhaimmillaan lämpökameroiden lämpötilan erottelukyky on alle 0,1 °C. Lämpökameran avulla voidaan havaita lämpimiä kohteita sähköpiireissä, talon lämpöhäviöitä ja tukoksia putkistossa. (Weckström 2005, 53.)

5 VISKOSITEETIN MITTAAMINEN

Virtaavassa nesteessä ja kaasuissa on olemassa kitkavoima. Tämä kitkavoima vastustaa hiukkasten liikettä toisiinsa nähden. Kitka johtuu hiukkasten välisestä koheesiosta ja liikemäärän vaihdosta ja sitä kutsutaan viskositeetiksi. Viskositeetti riippuu lämpötilasta ja paineesta. Lämpötilan kasvaessa kaasun viskositeetti kasvaa ja nesteen pienenee. Paineen kasvaessa kaasun viskositeetti ei muutu, mutta nesteiden viskositeetti kasvaa. Viskositeetin yksikkönä on $\frac{N}{m^2}$. Fluidit voivat olla joko newtonmaisista tai ei-newtonmaisista. Raaka sinappi on ei-newtonilainen neste. (Pihkala 2004, 117.)

5.1 Kapillaariviskosimetri

Viskositeettiä voidaan mitata kapillaariviskosimetrillä, jossa nesteen valumisnopeus riippuu aineen viskositeetistä. Nesteen Valuma-aika on verrannollinen nesteen viskositeettiin. Prosessikäytössä mittauksen on oltava jatkuvaa. Tällöin on helpompaa mitata kapillaariputken painehäviötä vakiovirtauksella. Mittauksessa painehäviö on verrannollinen nesteen dynaamiseen viskositeettiin. (Pihkala 2004, 118.)



KUVIO 12. Jatkuvatoiminen kapillaariviskosimetri (mukaihen Pihkala 2004, 119)

5.2 Pudotuskappaleviskosimetri

Pudotuskappaleviskosimetrissä nestettä raskaampi kuula laitetaan vierimään alas nesteellä täytetyssä putkessa. Viskositeetti saadaan selville, kun mitataan aika, joka kuluu kuulalla putkeen tehtyjen merkien välisellä matkalla. Erilaisia viskositeettialueita varten on olemassa eri kokoisia ja painoisia kuulia.

Laitteella voidaan mitata tämän ansioista aineita kaasuista jäykkiin öljyihin. Pudotuskappaleviskosimetristä on kehitetty myös automaattinen prosessiversio, jossa aika saadaan mitattua sähköisesti ja mittauksen loputtua nostaa kuulun ylös. (Pihkala 2004, 118-119.)

6 PITOISUUSMITTAUKSET

Pitoisuusmittauksista eli analyyseista saadaan tietoa atomipitoisuuksista, molekyylipitoisuuksista, kuiva-ainepitoisuuksista ja muista suureista. Pitoisuusmittauksia hyödynnetään silloin, kun prosessista halutaan tehdä mahdollisimman energiatehokas ja kehittää tuotannon laatua. Analyysit ovat tärkeitä myös luonnonsuojelussa, koska pitoisuusmittauksella voidaan arvioida aineen haitallisuutta. (Aumala 2006, 100.)

Tavallisesti analyysimittaukset on tehty laboratorioissa käsittelemällä prosessista saatuja näytteitä. Nykyään yhä useammin analyysimenetelmä voidaan kytkeä tarkkailtavaan prosessiin. Pitoisuusmittauksissa joudutaan käyttämään hyvin monia kemiallisia ja fysikaalisia ilmiöitä. Esimerkiksi infrapuna-absorptio, absorptio ja röntgenfluorenssi. (Aumala 2006, 100.)

Yksi mahdollisuus on mitata pitoisuutta epäsuorasti sellaisen ominaisuuden välityksellä, johon mitattava pitoisuus vaikuttaa. Esimerkkeinä tällaisista mittauksista ovat:

- vesipitoisuuden mittaaminen lipeästä tiheyden perusteella
- sakeuden mittaaminen paperimassasta viskositeetin perusteella
- palamatta jääneiden komponenttien pitoisuuden mittaaminen palokaasusta polttolämmön perusteella
- happamuuden, hapetuskyvyn tai happipitoisuuden mittaaminen sähkökemiallisen potentiaalilla.

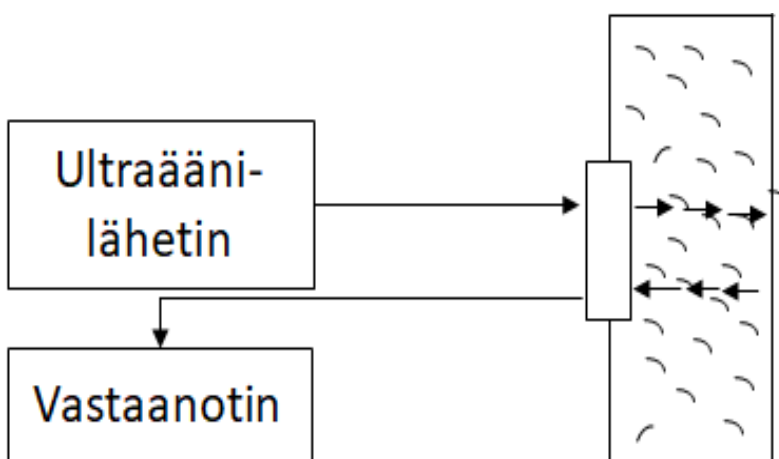
Yksi yleisimmistä analyyseissä käytetyistä menetelmistä on infrapuna-absorption mittaaminen. Säteilyn absorptio väliaineeseen riippuu säteilyn aallonpituudesta ja se on vahvasti molekyylisidonnainen. Tavallaan infrapunasäteily tunkeutuu aineen sisään ja tunnustelee tiettyjen molekyylien lukumäärää. Aineiden infrapuna-absorptiosta on tehty paljon tutkimustyötä ja tuloksista on laadittu laajoja käsikirjoja (Aumala 2006, 100-101.)

7 SAKEUDEN MITTAUS

Sakeudella tarkoitetaan samaa kuin näennäisellä viskositeetillä. Teollisuudella sakeus tarkoittaa nesteen kuiva-ainepitoisuutta. Tarpeeksi sakeilla massoilla sakeutta voidaan mitata näennäisen viskositeetin avulla. Laimeammilla aineilla on kuitenkin käytettävä muita menetelmiä. Viime vuosina on kehitetty useita sähköisiä mittausten menetelmiä sakeuden mittaamiseen. Mittaustapoja on useita erilaisia, mutta tyypillisimmät perustuvat ultraäänen ja mikroaaltojen vaimenemiseen väliaineessa, infrapunavalopulssien heijastumiseen, polaroidun valon polarisaatiotason kertymiseen ja lastertekniikan käyttöön. (Pihkala 2004, 123.)

7.1 Ultraäänimittaus

Ultraäänen absorboituminen voidaan mitata lähetinkiteestä lähtevän signaalin heijastuttua takaisin tai mittaamalla lähtö- ja tulosignaalin suhde. Ultraäänen absorboitumista massaan on mahdollista mitata antamalla lähettimen lähettämän ultraäänisignaalin kulkea massan läpi putken seinämään. Signaali heijastuu seinästä takaisin vastaanottimeen. Mittaamalla heijastuvan signaalin voimakkuutta saadaan selville signaalien suhde, jonka perusteella pystytään mittaamaan massan sakeutta. Osa signaalin energiasta heikkenee massaan. Ultraäänimittauksen toiminta on esitettyä seuraavassa kuvassa (KUVIO 13). (Pihkala 2004, 124.)



KUVIO 13. Ultraäänimittauksen toiminta (mukaillen Pihkala 2004, 125)

7.2 Mikroaaltomittaus

Sakeutta voidaan mitata myös mikroaaltojen etenemisnopeuteen perustuvilla mittareilla hyödyntäen mikroaaltojen kulkuajan lineaarista riippuvuutta sakeudesta. Mikroaaltomittausta käyttäen mittaustuloksiin tulee mukaan myös kuidut ja täyteaineet. Tämän vuoksi lähettimellä saadaan mitattua kokonaissakeus. Mikroaaltomittarit ovat markkinoiden uusinta sakeudenmittausteknologiaa. (Pihkala 2004, 124.)

Mikroaaltojen kulkemisnopeuden materiaalissa määrittää suhteellinen permittiivisyys. Vedellä permittiivisyys on suurempi kuin mitattavan aineen kiintoaineilla. Tämän vuoksi mikroaallot kulkevat nopeammin mitattavassa aineessa mitä enemmän siinä on kuiva-ainetta. Mikroaaltomittaus ei ole riippuvainen muista prosessin muuttujista. Mikroaaltomittaus toimii parhaiten silloin, kun erilaisia massoja on sekoitunut keskenään. (Pihkala 2004, 124.)

7.3 Optinen sakeusmittaus

Optinen mittaus soveltuu sakeudenmittaukseen parhaiten silloin, kun mitattava sakeusalue vaihtelee 0...1,5% välillä. Optinen mittaus perustuu valon kahden eri aallonpituuden heikkenemiseen vesisuspensiossa. Mitattavaan massa osoitetaan valokuitukimpulla hehkulampun valoa ja takaisin heijastunut valo otetaan talteen toiseen kuitukimppuun. Aallonpituudet pitää valita niin, että toinen absorboituu nesteeseen todella voimakkaasti ja toinen huomattavasti vähemmän. Kun valo on kulkenut sakean massan läpi, sen kulkumatka nesteessä on lyhyempi kuin laihassa massassa. Tällöin voimakkaasti nesteeseen absorboitunut aallonpituus on suurempi toiseen signaaliin verrattuna. (Pihkala 2004, 124.)

8 EHDOTUKSET MITTAUSLAITTEISTOON

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää sinapin valmistusprosessin anturointimahdollisuuksia. Prosessista olisi hyvä saada mitattua ainakin lämpötila, viskositeetti, brix ja karkeus. Lämpötilan ja viskositeetin mittaamiseen onkin useampia vaihtoehtoja. Brixin osalta valinnan varaa on todella vähän. Karkeuden mittaamiseen ei löytynyt anturia, jota voitaisiin käyttää suoraan prosessin yhteydessä, vaan suurin osa saatavilla olevista mittausvälineistä oli suunnattu laboratoriokäyttöön.

Työssä otettiin huomioon myös, miten helposti mittaustiedot on mahdollista saada talteen. Nykyään useat anturit ovat ns. älykkäitä, joten niistä tiedon siirtäminen on mahdollista myös langattomasti erilaisia tietoliikennestandardeja käyttäen.

8.1 Viskositeetin mittaus

Viskositeetin mittaamiseen ehdotan Marimex-yrityksen ViscoScopea. Marimex on valmistanut viskosimetrejä jo kymmenen vuoden ajan. ViscoScope koostuu anturista, lähettimestä ja siirtokaapelista. ViscoScopesta on olemassa useita eri versioita eri lämpötiloja ja viskositeettiä varten. Vastaanotin ohjaa anturia pieniamplitudisella ja vakioleikkausvoimaisella värähtelyllä. Voima, joka vaaditaan amplitudin ylläpitämiseen, on dynaamisen viskositeetin arvo yksikössä $\text{mPa}\cdot\text{s} \times \text{gr}/\text{cm}^3$. Viscoscopeen on myös integroituna Pt-100-lämpötila-anturi. Viskosimetri koostuu anturista VA-100B-LT, elektroniikasta VS-D250 ja 10-metrisestä kaapelista. Viskositeettianturin VA-100CB-LT ominaisuudet ovat seuraavat:

- kalibroitu alueelle 0 – 25 000 mPas
- anturin mitat 32 x 117 mm
- kiinnitys: Varivent- Fitting 50/40
- haponkestävää terästä 316L
- prosessin lämpötilakestoisuus jatkuva 130 °C
- lämpötilanmittaus prosessiaineesta
- tarkkuus ± 1 % lukemasta
- toisetettavuus ± 0.3 % lukemasta
- ± 0.3 % lukemasta (Marimex.)



KUVA 2. Viskositeettianturi (Marimex)

Viskosimetri voidaan asentaa säiliöön, reaktoriin tai putkeen mihin tahansa asentoon. Mittaus voidaan suorittaa prosessin kannalta edullisimmassa paikassa. Viskositeettisignaali saadaan jatkuvasti itse prosessista säätö- ja tarkkailutarkoituksiin. Anturia ei tarvitse kalibroida ja anturin huollon tarve on vähäistä. Suomen ja englanninkieliset ohjeet tulevat mukana. (Marimex.)

Viskositeettianturin mukana tulevan elektroniikka VS-D250 ominaisuudet ovat seuraavat:

- IP42 / NEMA1, kiinnitys DIN-kiskoon
- 4 -rivinen näyttö
- kaksi uloastuloa, analogiset ulostulot 0/4-20 mA tai 0/2-10 V
- apujännite 24 VDC, 12W
- 10 m kaapeli anturin ja elektroniikan välille (Marimex.)

8.2 Lämpötilan mittaus

Lämpötilan mittaamiseen ehdotan Wenglorin Unitemp- vastuslämpötila-antureita. Tarjolla on Pt100- ja Pt1000-antureita. Antureiden mitta-alue on -50...+200 °C. toimintaympäristö on -20...80 °C. Anturin suojaluokitus on IP67, ja anturin mittapää on valmistettu Supra 316L ruostumattomasta teräksestä. Supra 316L -teräksellä on hyvä korroosion kestävyys ja sitä voidaan käyttää todella laajalla lämpötila-alueella. (Sensorla.)

Anturit on suunniteltu lämpötilan mittaamiseen nesteissä ja kaasuissa. Unitempin lämpötila-antureita käytetään onnistuneesti useissa elintarvike- ja panimotekniikan eri sovelluksissa. Anturin mittaustarkkuus on $\pm 1^\circ \text{C}$ ja vasteaika on alle neljä sekuntia. Anturin mittatulokset luetaan digitaaliselta näytöltä. Tiedon siirtämiseen käytetään 4 pinnistä liitinkaapelia. (Sensorla.)



KUVA 3. Unitemp-lämpötila-anturi (Wenglor 2018)

Wenglorilla on myös tarjolla weFlux²-antureita, joissa on sekä lämpötila-anturi että anturi virtauksen mittaamiseen. Sensorit voi olla yksi tai kaksi kytkinlähtöä tai on myös mahdollista valita yksi kytkinlähtö ja analoginen ulostulo sen pariaksi.

Toinen anturivaihtoehto lämpötilan mittaamiseen on haponkestävä W-E-x-HST vastusanturi. Anturi on suunniteltu hygieenisiin asennuksiin ja kaikki sen osat on valmistettu haponkestävästä materiaalista. Mittausalue on -200...+550 °C. Anturi asennetaan joko hitsaamalla tai clamp-liitoksella. Suojataskun materiaali on AISI 316L, mutta pyydetessä myös muut materiaalit ovat mahdollisia. Kotelointiluokka on IP65, mutta pyydetessä myös korkeampi IP-luokitus on mahdollinen. Anturista on saatavilla ATEX-versio ja myöskin elintarvikehyväksytyjä HD-versioita. Anturin käyttölämpötila on 100...450 °C. Anturin tyypillisiä sovelluksia ovat:

- elintarviketeollisuus
- lääketeollisuus
- kemianteollisuus
- prosessiteollisuus
- energia- ja voimalaitostekniikka. (Skssensors.)

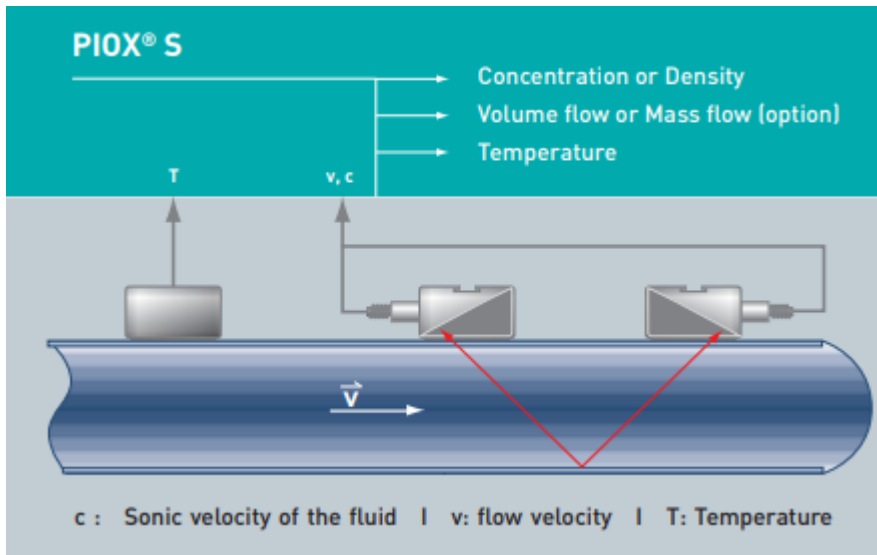


KUVA 4. W-E-x-HST haponkestävä vastusanturi

8.3 Brixin mittaus

Brixin mittaamiseen soveltuisi Fleximin Piox S -ultraäänianalysointilaite. Sen avulla pystytään mittaamaan samanaikaisesti tilavuus, massavirtaus sekä tiheys/pitoisuus. Lisäksi on mahdollista integroida myös Pt100-lämpötila-anturi. Mittaus suoritetaan putken ulkopuolelta. Mittausta varten putkeen kiinnitetään kaksi ultraäänilähetintä, joista molemmat vuorotellen lähettävät ja vastaanottavat ultraäänisignaalia. (Flexim.)

Ultraäänianalysointilaitteen käytössä suurena etuna on se, että laitteisto on mahdollista asentaa ja ottaa käyttöön prosessin käydessä. Mittausjärjestelmä ei ole myöskään kosketuksessa mitattavan aineen kanssa, joten ei tarvita mitään suojamateriaaleja syövyttävän aineen mittaamiseen. Turvallisuuden osalta tärkeintä on vuotoriskien minimointi ja käyttöturvallisuuden varmistaminen. Ultraäänimittausta voidaan käyttää, jos liuoksen konsentraatiomuutokset korreloivat tarpeeksi äänen etenemisnopeuden kanssa. Mittalaite ei sisällä liikkuvia osia, joten se on huoltovapaa. (Flexim.)



KUVA 5. Piox S -laitteen toimintaperiaate (Flexim.)

Laitteen anturit mittaavat äänen etenemisnopeuden, kulkuajan ja lämpötilan. Laitteen keskusyksikkö laskee edellä mainituista mittaustuloksista konsentraation/tiheyden. Tilavuusvirtaus voidaan laskea kulkuajamittauksen avulla ja massavirta edellisten mittausten tulona. Kaikki mittaustulokset on mahdollista ottaa ulos 4-20mA-signaalin muodossa. Kalibrointitiedot ja konstraatiokäyrät tellentuvat mittauslähettimen ainekirjastoon. (Flexim.)

Toisena vaihtoehtona on Fleximin Piox R -läpivalaisureflaktometri, joka mittaa valon heijastumista aineesta. Sitä on käytetty laboratorioissa onnistuneesti useiden vuosien ajan. Nykyään sitä on mahdollista myös käyttää prosessien mittaamiseen. Laitteella voidaan mitata jatkuvasta prosessista aineen tiheyttä, väkevyyttä, brixiiä ja pitoisuutta. Laitteessa on integroituna myös Pt1000- lämpötila-anturi, jolla voidaan mitata myös lämpötilaa. Mitattavan nesteen lämpötila voi olla -20 ... +150 °C ja toimintaympäristön lämpötila voi olla -20... 60°C. Anturin kotelointiluokitus on IP 67. Laitteille on mahdollista saada räjähdysuojauksen luokitus ATEX 0,1 tai 2. (Flexim.)

Mittalaitteen lähettimen suojaluokitus on IP 65. Lähettimelle on mahdollista saada Atex räjähdysuojauksen luokitus. Laitteessa on neljä 0/4... 20mA ulostuloa, joita voidaan käyttää kaikkiin mitattaviin suureisiin. On myös mahdollista käyttää taajuusulostuloa, binaariulostuloa tai Usb-liittymää. (Flexim.)

8.4 Partikkelinkoon mittaus

Beckman Coulter Multisizer 4 partikkelianalysointilaitteesta saa partikkelin koon, kokojakauman, tilavuuden ja pinta-alan yhdellä mittauksella. Multisizer 4 sopii tutkimuskäyttöön ja laadunvarmistukseen. Laitteen toiminta perustuu Coulter-periaatteeseen, johon on yhdistetty digitaalinen pulssiprosessori. Partikkelikokoalue on 0,4...1600 mikrometriä. Laitteisto on helppokäyttöinen ja mittaus voidaan suorittaa täysin tietokoneelta käsin. Kun mittaus on suoritettu, jokainen mittaus analysoidaan ja tallennetaan. Laitteistolla voi seurata partikkelikoon muuttumista reaaliajassa. Mittalaitetta voidaan käyttää sekä vesiliuoksilla että orgaanisilla nesteillä. Heikkoon elektrolyyttiliuokseen sekoitetut partikkelit kuljetetaan pienen aukon läpi, joka erottaa kahta elektrodia, joiden välissä kulkee sähkövirta. Kun partikkeli kulkee aukon läpi, se syrjäyttää oman tilavuutensa verran liuosta. Tämä nostaa impedanssia ja aiheuttaa sähkövirran. Analysointilaitetta on myös mahdollista käyttää pölyisissä olosuhteissa. Partikkelin koko, muoto, koostumus tai taitekerroin eivät häiritse mittauksen suorittamista. (Sintrol 2018.)

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli tarkastella erilaisia mittauskeinoja lämpötilan, brixin, karkeuden ja viskositeetin mittaamisen. Tarkoituksena oli löytää laitteistoa, jota voitaisiin käyttää jatkuvamuotoisessa prosessissa. Mittaustulokset auttaisivat valmistamaan tasalaatuista tuotetta. Samalla olisi myös mahdollista havaita mahdollisia ongelmia, joita prosessin aikana voi tapahtua.

Markkinoilla on useita erilaisia mittareita lämpötilan, brixin ja viskositeetin mittaamiseen. Näistä suurin osa on mahdollista liittää prosessiin suoraan. Ainoastaan karkeuden mittaamiseen ei löytynyt anturia jatkuvan prosessin anturointiin, vaan laitteet olivat laboratorio käyttöön suunnattuja analysointilaitteita.

Työn aiheeseen perehdyin internet-lähteiden sekä kirjallisuuden avulla. Suomalaista kirjallisuutta löytyi todella hyvin ja lähteet olivat todella kattavia. Työtä tehdessäni opin uutta asiaa mittaustekniikasta sekä prosessitekniikasta.

LÄHTEET

Anturitekniikka. Oy Rastor Ab. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduser-ver/yhteinen/rastor_anturitekniikka.pdf.

Viitattu 10.4.2018

Anturitekniikka. Oy Rastor Ab. Pdf-dokumentti Saatavissa: http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduser-ver/yhteinen/anturitekniikka3_54_84.pdf.

Viitattu 11.4.2018

Aumala, O. 2006. Mittaustekniikan perusteet. 13. muuttumaton painos. Helsinki: Otatieto. Viitattu. 11.4.2018

Flexim. Piox R. Saatavilla: https://www.swoy.fi/images/swoy/tuotteet/prosessimittaukset/prosessirefraktometri-piox-r/pdf/PIOX_R_Process_refractometer_Yields.pdf Viitattu: 24.5.2018

Flexim. Piox S. Saatavilla: https://www.swoy.fi/images/swoy/tuotteet/prosessimittaukset/ultraaanianalysaattori-piox-s/pdf/bupioxsv1-1en_0.pdf Viitattu 24.5.2018

Fonelius, J., Laitinen, E., Pekkola, K., Sampo, A. & Välimaa, T. 1994. Koneautomaatio anturit. 3., korjattu painos. Helsinki. Opetushallitus. Viitattu 15.4.2018

Fällström, K., Haapalinna, A., Häkkinen, E. & Kärhä, P. 1994. Häiriökysymykset. Pdf-dokumentti. Saatavissa. <http://metrology.hut.fi/courses/s108-180/hairmit.pdf>. Viitattu. 10.5.2018

Kouvo Automation. Viskositeetin Mittaus. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kouvo.fi/tuotteet/viskositeetin-mittaus>. Viitattu. 28.5.2018

Kärhä, P. Elektroniset mittaukset. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.2010/Luento1_2006.pdf.

Viitattu 15.4.2018

Marimex. Viscoscope. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.marimex.de/eng-products.php>. Viitattu. 28.5.2018

Maustaja Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.maustaja.fi>. Viitattu 15.4.2018

Mäkinen, P. 2015. Kotelointiluokka kertoo sähkölaitteesta kaiken oleellisen. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi_FI/011015_kotelointiluokat/. Viitattu: 1.6.2018

Paavilainen, H. Yleistä antureista. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12160009>. Viitattu 15.4.2018

Pihkala, J, 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2. painos. Vantaa. Opetushallitus Viitattu 20.4.2018

Sensorla. Lämpötilan mittaus. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sensorola.fi/tuotteet/lampotilanmittaus>. Viitattu. 26.5.2018

Sks Sensors. Lämpötila-anturit. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.skssensors.fi/tuotteet/lampotila-anturit/>. Viitattu 29.5.2018

Stig Wahlström. Prosessimittaukset. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.swoy.fi/tuotteet/prosessimittalaitteet> Viitattu 24.5.2018

Weckström, T, 2005. Lämpötilan mittaust. 2. korjattu painos. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2005-J4.pdf>. Viitattu 10.4.2018

Wenglor. Fluid sensors. Saatavissa: https://www.wenglor.com/fileadmin/functions/wdm.php?dfile=NEWS_FLUID.PDF&pfad=fileadmin/download/FLYER_CATALOG/EN/&sfile=Product_Flyer_FFAT002.pdf&zip=false. Viitattu 20.5.2018