

Saku Mäntylä

MASSAVIRRRAN MITTAUS JATKUVASSA PROSESSISSA

Kotirannan Vihannesjaloste Oy, Ylivieska

Opinnäytetyö

CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Marraskuu 2015

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieskan yksikkö	Aika Marraskuu 2015	Tekijä/tekijät Saku Mäntylä
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi Massavirran mittaus jatkuvassa prosessissa		
Työn ohjaaja FM Joni Jämsä	Sivumäärä 34	
Työelämäohjaaja		
<p>Opinnäytetyön aiheena oli tutkia massavirran mittausmenetelmiä jatkuvaluontoisessa prosessissa, jossa mitattava materiaali kulkee kuljetinhihnalla. Tutkittava kohde opinnäytetyössä on Ylivieskassa sijaitsevan Kotirannan Vihannesjaloste Oy:n käytössä oleva prosessi. Tarkoituksena on teoreettisestikartoittaa yrityksen prosesseissa jo olemassa oleviin kuljettimiin mittalaitteet, joilla pystytään mittaamaan massavirtoja ja täten prosessissa tapahtuvaa hävikkiä. Opinnäytetyössä tarkasteltiin siiserilaisia vaihtoehtoja massavirtojen mittaukseen.</p> <p>Vaihtoehtojen kartoitus toteutettiin tarkastelemalla yrityksen käytössä olevia kuljettimia, selvittämällä teollisuuden käytössä olevia menetelmiä massavirtojen mittauksiin sekä tutkimalla myös teoreettisia vaihtoehtoja mittausten suorittamiseen. Apuna kartoituksessa käytin sekä kirjallisia että internet-lähteitä.</p> <p>Tuloksena esitän laitteistoa joko hankittavaksi suoraan käyttövalmiina alan toimittajalta, tai vaihtoehtoisesti rakennettavaksi itse jo olemassa oleviin kuljettimiin.</p>		
Asiasanat anturi, hihnaavaaka, massavirta, mittalaite, venymäliuska		

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Ylivieska Unit	Date November 2015	Author/s Saku Mäntylä
Degree programme Degree Programme of Electrical Engineering		
Name of thesis Measuring massflows in continuous processes		
Instructor M. Sc Joni Jämsä	Pages 34	
Supervisor		
<p>The aim of the thesis was to examine methods of measuring massflows in a continuous process, where measured material is moving on a belt conveyer. The investigated target is a process used in Kotirannan Vihannesjaloste Oy which is located in Ylivieska. The idea is to theoretically map devices for measuring mass flows in belt conveyers already used in the process. Purpose of measuring mass flows is to sort out the amount of waste produced in the process. Thesis focuses on reviewing different kinds of options for measuring mass flows.</p> <p>Mapping of different options for measuring was done by reviewing the conveyers used by the company, solving out what kind of methods is currently used in similar cases in industry and also by examining theoretical options for performing the measurements. As a help in the mapping there was used both literary and internet sources.</p> <p>As a result for the thesis there is suggested to acquire a complete measuring system from a provider, or building a system for measuring in the currently used conveyers.</p>		

Key words belt conveyer, measuring device, massflow, sensor, strain gauge

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	KOTIRANNAN VIHANNESJALOSTE OY	2
3	PROSESSI JA LAITTEISTO	3
3.1	Ongelmat	4
3.2	Tilaaajan ehdotus lisäyksestä laitteistoon.....	4
4	MITTAUSTEKNIIKAN TEORIA.....	6
4.1	Prosessin mittaukset	7
4.2	Prosessiautomaatio	7
4.3	Anturitekniikka	7
4.4	Anturin valinta	9
4.5	Mittausjärjestelmien rakenne	10
4.6	Häiriöt mittauksissa	11
4.7	Mittausten suorituskyky ja luotettavuus.....	12
4.8	Mittausalue.....	12
4.9	Mittausvirheet	13
4.10	Yleistä massanmittaamisesta	15
4.10.1	Suora massanmittaus	16
4.10.2	Epäsuora massanmittaus.....	16
4.10.3	Kiintoaineiden virtausmittaus	17
5	PUNNITUSANTURIT JA -TEKNIIKAT	18
5.1	Hihnavaa'at.....	18
5.1.1	Integroiva hihnavaaka	19
5.1.2	Annosteleva hihnavaaka.....	19
5.1.3	Radiometrinen mittaus.....	20
5.1.4	Optinen mittaus laser-tekniikalla	22
5.2	Venymäliuska-anturit	23
5.2.1	Wheatstonen silta.....	27
5.2.2	Taivutusanturit	28

5.2.3	Leikkausvoima-anturit	28
5.2.4	Rengasanturit	29
5.3	Pressduktori.....	29
6	EHDOTUKSET MITTALAITTEISTOIHIN.....	31
6.1	Valmiit kaupalliset ratkaisut	31
6.2	Itserakennettu mittalaitteisto	32
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOKSET.....	34
	LÄHTEET	35

KUVIOT

KUVIO 1.	Prosessin jälkeinen ruuvikuljetin	3
KUVIO 2.	Lähtevän materiaalin kuljetin	4
KUVIO 3.	Yksinkertaistettu lohkokaaavio suunnitellusta mittauslaitteistosta	5
KUVIO 4.	Tiedon keruu reaali maailmasta	6
KUVIO 5.	Anturin toimintaperiaate	8
KUVIO 6.	Anturivalinnan päävaiheet	9
KUVIO 7.	Mittausjärjestelmien yleinen rakenne	11
KUVIO 8.	Mittausketjun esimerkkirakenne	12
KUVIO 9.	Mittausalue	13
KUVIO 10.	Mittausvihreiden jaottelu	15
KUVIO 11.	Värähteleviin kieliin perustuva sähkömekaaninen vaaka	16
KUVIO 12.	Sähkömagneettiseen voimavaikutukseen perustuva vaaka	17
KUVIO 13.	Hihnavaa'an toimintaperiaate	19
KUVIO 14.	Radiometrisen mittauslaitteen toimintaperiaate	21
KUVIO 15.	Radiometrinen mittauslaite	22
KUVIO 16.	Mittausperiaate Bulksan LMS511-mittalaitteelle	22
KUVIO 17.	Bulksan LMS511 lasermittalaite massavirtojen mittaukseen	23

KUVIO 18. Venymäliuska-anturi liimattuna metallipinnalle	25
KUVIO 19. Venymäliuskalähettimen esimerkkikaavio	26
KUVIO 20. Wheatstonen silta	27
KUVIO 21. Taivutuspaikkianturi	28
KUVIO 22. Leikkausvoima-anturi	28
KUVIO 23. Rengasanturi puristusvoiman mittaukseen	29
KUVIO 24. Pressduktorin toimintaperiaate	30
KUVIO 25. Raspberry Pi	33

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkin erilaisia keinoja mitata massavirtaa jatkuvassa prosessissa, jossa materiaali kulkee hinnakuljettimella. Opinnäytetyön tilaajana toimi Kotirannan Vihannesjaloste Oy, jossa tuotetaan erilaisia vihannesjalosteita. Yrityksessä on käytössä kuorintaprosessi, jonka optimointi vaatii prosessiin menevän ja prosessista lähtevän materiaalin massavirran mittausta jatkuvatoimisesti. Kuorintalaitetta säätämällä voidaan optimoida prosessia ja täten vähentää syntyvän hävikin määrää. Nykyään laitteistossa ei ole minkäänlaista tapaa mitata massavirtaa, vaan kuorintalaitteen säätöä on tehty tuntumalta.

Lopputuloksena opinnäytetyössä on tarkoituksena esittää yritykselle sopivaa mittaustuloksia sekä päätelaitetta, josta mittaustulokset saadaan esille. Esitän lopputuloksena muutamia sopivia vaihtoehtoja mittauksen toteuttamiseen ja selvitan kunkin tekniikan etuja ja haittoja.

2 KOTIRANNAN VIHANNESJALOSTE OY

Kotirannan Vihannesjaloste Oy on Ylivieskassa sijaitseva yritys, joka on virallisesti perustettu Timo ja Maija Jaakolan toimesta vuonna 1994. Yritys on erikoistunut vihannesten jatkokäsittelyyn pääasiallisena tuotteenaan kuorittu peruna, esikäsitellyt vihannekset ja juurekset. Yritys harjoittaa myös pienimuotoista tukkutoimintaa. Erilaisia tuotteita on yhteensä noin sata. Päätuotetta eli kuorittua perunaa toimitetaan päivittäin 1000-4000 kg. Asiakkaina toimivat lähialueen suurkeittiöt, ravintolat, grillit, vähittäis- ja tukkukaupat sekä yksityisasiakkaat. Yritys hoitaa lähialueen asiakkaille kuljetukset itse ja kauemmaksi toimitettaville tuotteille kuljetus järjestetään alan kuljetusyritysten kautta. (Kotirannan Vihannesjaloste Oy, 2014)

3 PROSESSI JA LAITTEISTO

Materiaalin syöttö prosessiin tapahtuu jatkuvasti toimivalla nauhakuljetinhihnalla, joka on vaakasuorassa ja syöttää raaka-aineen kuorintalaitteen kouruun. Kuorintalaitteessa on ruuvikuljetin, joka kuljettaa materiaalia jatkuvasti eteenpäin samalla kun ympärillä olevat kuorintatelat kuorivat juureksia. Kuorintalaitteen jälkeen juurekset menevät rullakuljettimelle, josta on mahdollista käsin poistaa laitteen poistamattomia kuoria. Juureksia on myös mahdollista syöttää takaisin kuorintalaitteeseen erillistä kuljetinta pitkin. Tämän jälkeen juurekset menevät vielä pyörivään siipirattaaseen, joka pesee ja siirtää ne muovilamellikuljettimeen, joka kuljettaa valmiit tuotteet eteenpäin. Prosessi on jatkuva, eikä materiaali varsinaisesti pysähdy missään vaiheessa paikalleen.



KUVIO 1. Prosessin jälkeinen ruuvikuljetin.

3.1 Ongelmat

Nykyisellään opinnäytetyön tilaajan käyttämässä prosessissa ei ole massan tai massavirranmittaukseen kykeneviä laitteistoja, joten massoja ja syntyvää hävikkiä on jouduttu arvioimaan tuntumapohjalta ja prosessin toimintaa silmämääräisesti.

Ongelmia tuottaa prosessin jälkeisen kuljettimen nousukulma joka on noin 30°. Tämä asettaa rajoituksia hihnavaakojen käyttöön. (Suomen säätöteknillinen seura, 1982)



KUVIO 2. Lähtevän materiaalin kuljetin. (Vihannesjaloste.fi, 2014)

3.2 Tilaajan ehdotus lisäyksestä laitteistoon

Tilaajan tarpeena oli saada laitteistoon anturit tai mittauslaitteistot, joilla massavirtaa pystyttäisiin mittaamaan prosessiin menevästä ja lähtevästä materiaalista, eli kahdesta eri kuljettimesta. Näiden massavirtojen erotuksesta saataisiin selville suoraan syntyvän hävikin määrä, jonka perusteella prosessia voitaisiin tarkkailla ja optimoida ja täten saada syntyvän hävikin määrää pienemmäksi. Mitattuja massatietoja olisi sekä nähtävä reaaliaikaisesti näyttölaitteelta että kyettävä tilastoimaan talteen myöhempää tarkastelua varten. Datankeruu-laitteistona voisi toimia normaali tietokone tai logiikka

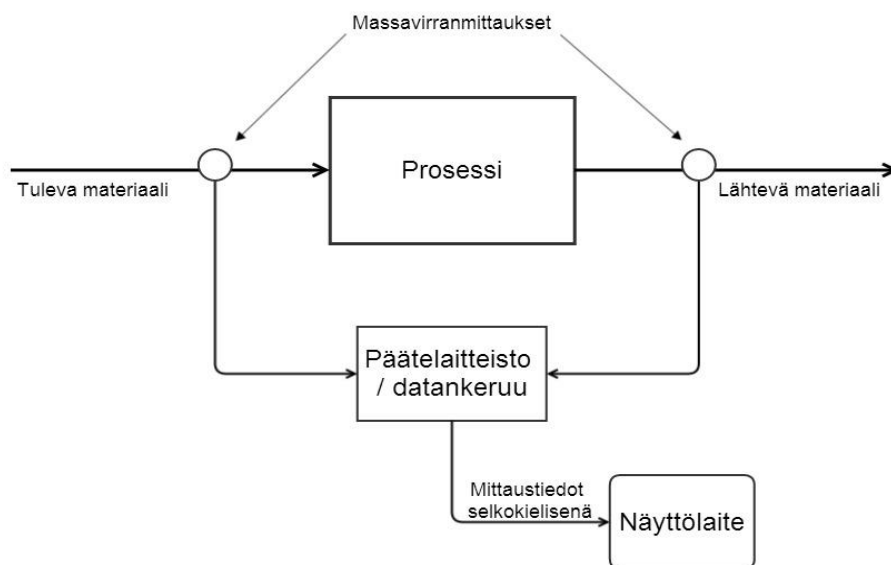
joka olisi liitettyä muuhun mittauslaitteistoon sekä näyttölaitteeseen. Prosessista reaaliaikaisesti näytettävät tiedot voisivat olla esimerkiksi hetkelliset massavirrat sekä hävikki kilogrammoina tunnissa. Talteen kerättäviä tietoja voisivat olla päivän aikana mitatut kokonaismassat ja -hävikit.

Raaka-ainetta syötetään prosessiin noin 500-1000kg tunnissa. Tilaajan mukaan hyväksyttävä virhe hävikin mittaustarkkuudessa tunnin ajalle olisi maksimissaan 10kg. (Jaakola, 2014)

Sopiva syntyvän hävikin määrä tilaajan prosessissa on kohtalaisen vakio syötettävän ja lähtevän materiaalin massavirran suhteen mikäli kuorintalaite on säädetty sopivasti, joten laitteistoon voisi rakentaa hälyttimen joka kertoisi mikäli hävikkiä jostain syystä syntyy liikaa ns. hävikin vertailuarvoon ja toleranssiin nähden. Sopiva vertailuarvo saataisiin selville kokeilupohjalta.

Tilaajan kokemusten perusteella mahdollisimman jatkuva ja tasainen määrä materiaalia prosessissa optimoi tulosta ja vähentää hävikkiä. Prosessissa materiaalin syöttö tapahtuu nykyisellään jatkuvatoimisesti. Tasaisen materiaalmäärän saamiseksi prosessiin täytyisi siihen asentaa annostelulaitteisto, tai muuttaa syöttökuljetinta siten, että tulevan materiaalin massavirta olisi kokoajan mahdollisimman vakio.

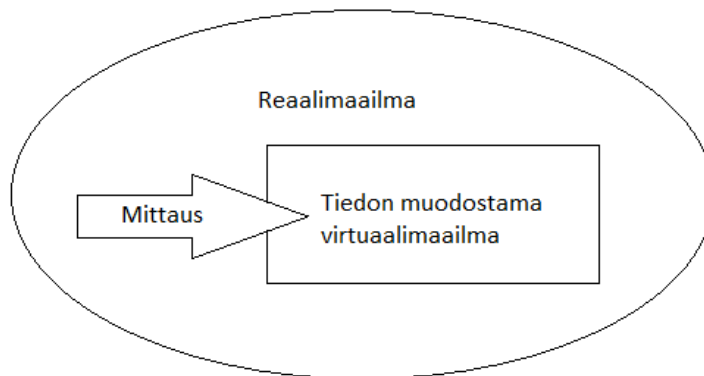
Tässä opinnäytetyössä en kuitenkaan käsittele laitteiston muuttamista annostelevaksi, vaan keskityn keinoihin mitata massaa jo olemassa olevassa laitteistossa.



KUVIO 3. Yksinkertaistettu lohkokaavio suunnitellusta mittauslaitteistosta.

4 MITTAUSTEKNIIKAN TEORIA

Mittauksen tarkoituksena on saada selville halutun mitattavan kohteen fysikaalisen suureen arvo. Perustana mittaamiselle on sekä olemassa olevan maailman että virtuaalimaailman ymmärtäminen, sillä mitattaessa kerätään informaatiota reaali maailmasta tiedon muodostamaan virtuaalimaailmaan. (Ihalainen, 2014)



KUVIO 4. Tiedon keruu reaali maailmasta (mukaiillen Ihalainen, 2014)

Metrologia eli mittaustiede on tieteenala joka tutkii millaisilla laitteilla ja menetelmillä voidaan mittausta tehdä, jotta tulokset olisivat riittävän tarkkoja ja minimoitaisiin mittausrvirheitä eri tilanteissa ja tiedettäisiin niiden suuruus. (Halko, P. Härkönen, S. Lähteenmäki, I. Välimaa, T. 1998) Metrologian keskeisiä kohteita ovat standardin SFS3700 mukaan:

- suuret (mittausten perusteena)
- mittayksiköt ja niiden mittanormaalit (mittanormaalien määrittely, valmistus, säilytys ja vertailu)
- mittaukset (mittausmenetelmät, mittausten suoritus, niiden tarkkuuden arviointi ym.)
- mittaustulosten käsittely ja niiden luotettavuuden arviointi
- mittausten inhimilliset tekijät (mittaajan toimintatapa ja suorituskyky).

Mittaustekniikan kehitys on tärkeää jokaisen kokeellisen tieteenalan kehitystä varten. Entistä tarkempien suureiden ja ilmiöiden mittausta eli kvantitatiivinen määrittäminen mahdollistaa esimerkiksi fysiikan kehittymisen edelleen. Ymmärrettäessä fysiikkaa entistä tarkemmin taas voidaan kehittää entistä parempia mittalaitteistoja eli riippuvuus on molemminpuolinen. (Aumala, 1989)

4.1 Prosessin mittaukset

Mittauksiin prosessissa vaikuttaa pääasiassa mitattavan materiaalin luonne, erilaiset materiaalit asettavat rajoituksia ja vaatimuksia käytettävälle mittaustavalle. Jatkuva- ja panostyyppiset prosessit vaativat myös toiminnaltaan erilaisia mittaustapoja. (Luotsinen)Tässä opinnäytetyössä keskityn mittauksiin jatkuvissa prosesseissa. Myös mitattavan materiaalin hallinta on ratkaisevaa mittaamisen onnistumisen kannalta. (Suomen säätöteknillinen seura/Aimo Pusa, 1981)

4.2 Prosessiautomaatio

Käytännön prosessiautomaatio on hyvin monimutkainen järjestelmä johon sovelletaan useita eri teknologiatyyppejä ja johon kuuluu monenlaisia eri laitteistoja, joiden täytyy toimia saumattomasti optimaalisen toiminnan takaamiseksi.

Prosessiautomaatiolla pyritään hallitsemaan joko jatkuvasti tai panoksittain tuotantoa jotta toimittaisiin mahdollisimman taloudellisesti, turvallisesti sekä ilman tuotantokatkoksia.

Automaatiojärjestelmät jakautuvat osa-alueisiin joita ovat säätötekniikka, valvomotekniikka, tietojenkäsittelytekniikka, ohjaus- ja toimilaitetekniikka sekä mittaustekniikka. (Aumala, 1989)

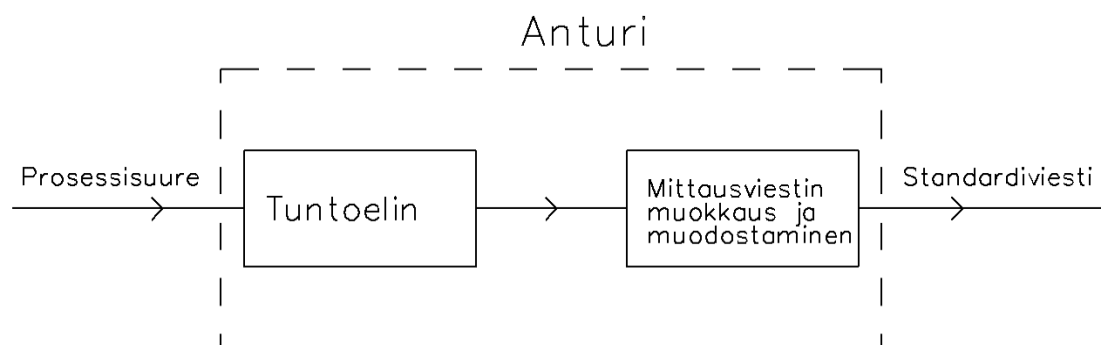
4.3 Anturitekniikka

Anturi on laite, joka muuntaa mitattavan prosessisuureen jollakin tapaa verrannolliseksi suureeksi, esimerkiksi liikeeksi, voimaksi tai nykyään tavallisemmin sähköisesti luettavaan muotoon eli signaaliksi. Anturin tärkein tehtävä mittaussuurejärjestelmässä on siis kohdetta mahdollisimman hyvin kuvaavan tiedon hankinta. Tästä syystä antureita nimitetään prosessiautomaation informaatiokoneiksi.

Tuntoelin on anturin osa johon mittaussuure välittömästi vaikuttaa ja sen tehtävänä on varsinaisen mittaussuureen muodostaminen suoraan mitattavasta materiaalista. (Luotsinen, 1983)

Lähetin on anturin osa joka muodostaa jo muunnetusta suureesta joko pneumaattisen tai sähköisen standardiviestin, joka käsitellään mittaustuloksen käyttöpaikalla, esimerkiksi näyttölaitteella. (Halko ym. 1998) Standardiviesti on normaalisti virtaviesti ja suuruudeltaan 4...20mA, myös 0...20mA, -10...+10mA sekä muita harvinaisempia alueita kuten -10 ... +10V on myös standardoitu. (Aumala, 1989) Standardiviestejä käyttämällä voidaan erilaisten suureiden mittaustietoja käyttää samoissa säätö-, näyttö- ja rekisteröintilaitteissa.

Anturi ja lähetin ovat monesti valmistettu kiinteästi yhteen joten rajanveto niiden välillä on vaikeaa. Kompleksista anturista tuntoelimen ja muiden osien erottelu voi olla mahdotonta ja mitattava suure voidaan muuntaa toiseksi useita kertoja ennen sen siirtämistä. Prosessiteollisuuden käytössä olevissa anturoinneissa on tyypillistä sijoittaa tuntoelin erilleen lähettimestä toisin kuin kappaletavara-antureissa. (Luotsinen, 1983)



KUVIO 5. Anturin toimintaperiaate (mukaillen Aumala, sivu 18, 1989)

Antureissa on monesti myös ilmaisimet, jotka ei kerro varsinaista mittaustulosta vaan ilmaisee esimerkiksi anturin toimintaa tai mittaustuloksen ylitystä.

Useimpien antureiden viesti pitää muuntaa ennen sen siirtämistä eteenpäin. Anturin muodostettua kuvattavasta kohteesta signaalin, ei signaalin käsittelyllä voida tuottaa enää lisää hyödyllistä informaatiota. Käsittelyllä voidaan kuitenkin tiivistää anturin luomaa informaatiota ja poistaa haitallisia osuuksia, joita syntyy varsinkin anturin tuntoelimessä sen reagoidessa muihinkin kuin mittaussuureisiin eli vaikutussuureisiin. (Aumala, 1989)

Siirrettäessä informaatiota on myös siirrettävä energiaa. Signaaleista siirtoon sopivia ovat analogiamuotoisista signaaleista jännitteen ja virran amplitudi tai taajuus, diskreeteistä signaaleista optinen tai sähköinen pulssijono.

Myös anturien informaatio on muodostettava energiasta. Energian käsittelytavan perusteella anturit voidaan jaotella kolmeen pääluokkaan: modulaattori-, generaattori-, ja muokkaintyyppisiin.

Generaattorityyppinen anturi ottaa energiansa kohteesta ja muuntaa sen siirrossa käytettävän signaalin energiamuotoon.

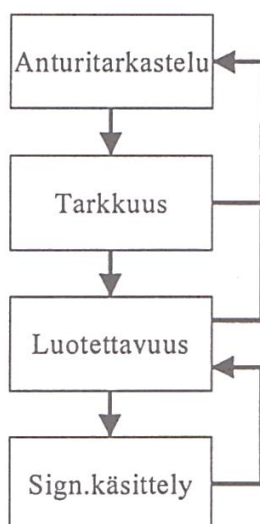
Muokkaintyyppinen anturi ottaa myös energiansa mittauskohteesta, mutta sen kohteesta ottama energia on samanmuotoista signaalin energian kanssa.

Modulaattorityyppisen anturin signaalin energia saadaan erillisestä lähteestä ja tuntoelin moduloi kohdesuureesta signaalia sen avulla. (Aumala, 1989)

4.4 Anturin valinta

Anturi tai tarkemminkin tuntoelin, pyritään valitsemaan siten, että se on riittävän kestävä kohteeseen, tarkkuusluokaltaan sopiva sekä riittävän spesifinen. Signaalin käsiteltävyys ja siirrettävyys ovat myös tärkeitä kriteereitä anturin valinnassa (Aumala, 1989).

Alla olevassa kuvassa on annettu jatkuvatoimisen mittauksen suunnittelutyöhön kulkukaavio.



KUVIO 6. Anturivalinnan päävaiheet. (Aumala, sivu 195, 1989)

Hankittaessa anturia on tärkeää ottaa huomioon erinäisiä seikkoja mittauskohteeseen liittyen. Yhtenä tärkeimpänä näistä on ympäristö johon anturi tulee. Vaikutussuureiksi sanotaan tekijöitä, jotka eivät varsinaisesti ole mittauksen kohteena mutta vaikuttavat mittaukseen. Erilaiset vaikutussuureet kuten ympäristöolosuhteet vaikuttavat siis mittaustuloksiin sekä ylipäättään siihen minkälaista anturia mittauskohteessa voidaan käyttää. Tärkeimpiä anturin valintaan liittyviä seikkoja ovat:

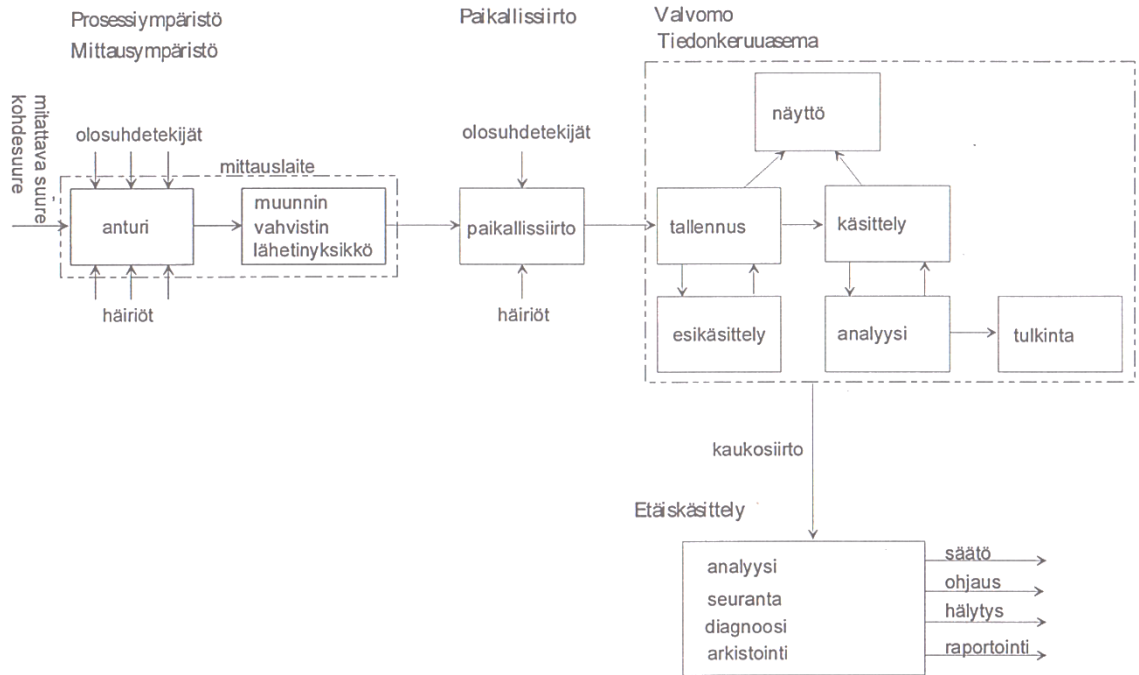
- mitattava suure
- mittausalue
- mittaustarkkuus ja mittauksen toistettavuus
- anturin mekaaninen koko
- ylikuormituskestoisuus
- anturin vaikutus mitattavaan suureeseen
- ympäristöolot, kuten kuumuus, kosteus, värinä
- anturin suojausmahdollisuudet
- hankinta-, huolto- ja asennuskustannukset
- saatavuus

Myös asennukseen liittyvät asiat on tarpeellista selvittää jo ennen anturin hankkimista, kuten anturin kiinnittäminen muuhun laitteistoon. Puutteellinen kiinnitys voi aiheuttaa mittavirheitä esimerkiksi värinän johdosta. Samoin anturin sähköinen ja mekaaninen säätövara on oltava riittävä, sillä lähes jokainen anturi vaatii säätämistä asennusvaiheessa. Riittävät säätövarat välttävät mittavilta mekaanisilta muutostöiltä asennusvaiheessa.

4.5 Mittausjärjestelmien rakenne

Kohdetta kuvaavan tiedon hankkiminen on mittauslaitteiden ja –järjestelmien tärkein tehtävä. Mittauslaitteiston rakenne määräytyy mitattavan kohteen, anturin, signaalin siirron, käsittelyn ja tallennuksen perusteella. (Aumala, 1989)

Seuraavassa kuvassa on esitetty yleinen mittausjärjestelmän rakenne.



KUVIO 7. Mittausjärjestelmien yleinen rakenne (Aumala, sivu 16, 1989)

4.6 Häiriöt mittauksissa

Anturit on valmistettu toimimaan jokaiselle omanlaisessaan ympäristössä, joten suunnitellusta poikkeava ympäristö voi aiheuttaa mittaukseen epätarkkuuksia, vikojen lisääntymistä ja antureiden käyttöiän laskua. Häiriöitä aiheuttavat sähköiset, mekaaniset ja ilmastolliset tekijät käyttöympäristössä.

Tavallisin mittaussignaali on sähköinen. Siirrossa käytettävä teho on usein hyvin pieni ja siirtotiehen vaikuttavat häiriöt ovat tällöin suhteellisesti suuria aiheuttaen merkittäviä virheitä, jopa koko mittausjärjestelmän toiminnan estymisen. Sähköiset häiriöt ovat tavallisesti voimajohdoista indusoituneita häiriöitä ja ne ovat vältettävissä käyttämällä asennuksissa suojattuja kaapeleita, maadoittamalla järjestelmät oikein ja sijoittamalla kaapelit mahdollisuuksien mukaan riittävän etäälle toisistaan. Jopa mitattava materiaali voi aiheuttaa staattista sähköä ympäristöönsä joka näkyy häiriöinä mittauksissa. Muita häiriölähteitä ovat solenoidit, releet, muuntajat ja moottorit. Mekaaniset häiriöt liittyvät yleensä anturin mekaaniseen suojaukseen.

Signaalinkäsittelyllä voidaan poistaa häiriökomponentteja sekä muokata signaalia siten, että haluttu informaatio tulee mahdollisimman hyvin esille pelkistettynä.

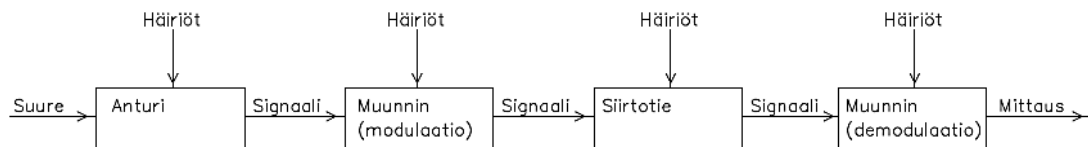
Häiriöitä voidaan myös suodattaa tai kompensoida niiden vaikutusta pienemmäksi esimerkiksi LC-alipäästösuodattimilla tai erityisillä johtojen läpivientikondensaattoreilla. Häiriöisessä ympäristössä häiriösuojaus voi olla myös yksinkertaisimmillaan pelkästään hyvin häiriöitä sietävä laitteisto. (Aumala, 1989)

4.7 Mittausten suorituskyky ja luotettavuus

Onnistuneelle mittaukselle on useita edellyksiä:

- mittauslaitteen on sovelluttava mitattavan suureen mittaamiseen
- laitteiston käyttäjä ymmärtää mittauksen ja kykenee suorittamaan sen oikein
- toimitaan käyttöedellytysten puitteissa
- mittauslaite itsessään on spesifinen, tarkka ja antaa tietoa kohdesuureesta eikä vaikutussuureista
- olosuhteiden täytyvät olla mittauksen mahdollistavat

Analysoidessa anturien suorituskykyä käytetään mittausketjuksi kutsuttua mallia. Mittausilmiossa käytetyt suureet ja niiden muunnokset esitetään mittausketjussa lohkokaaaviona, jossa lohkot esittävät muunnineliä ja niiden väliset signaalit toiminnassa esiintyviä suureita. (Aumala, 1989)



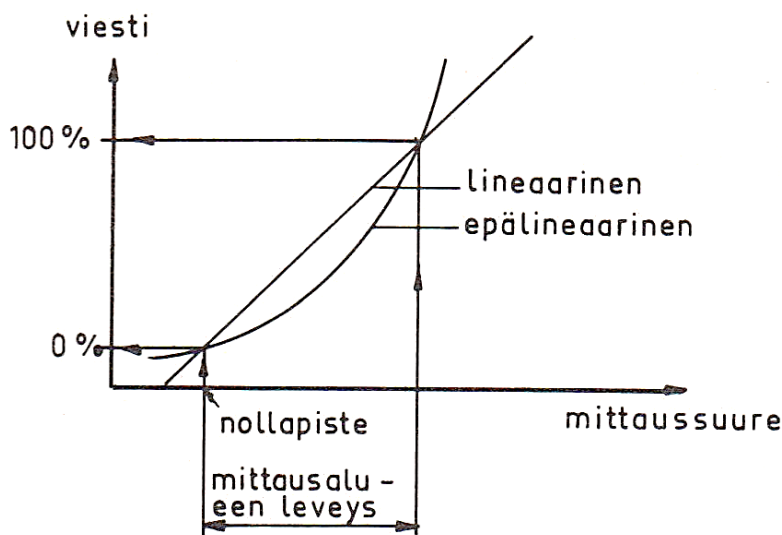
KUVIO 8. Mittausketjun esimerkkirakenne. (mukailen Aumala, sivu 17, 1989)

4.8 Mittausalue

Mittausalue käsittää mittalaitteella mitattavan suureen aluetta joka rajoittuu kahteen arvoon, ja jossa mittaukset voidaan suorittaa määrätyllä tarkkuudella. Alueen pienin arvo on mittausalueen alaraja eli se mitattavan suureen arvo jolla anturin lähtetin tuottaa lähtöviestin 0% (esimerkiksi 4mA), ja suurin vastaavasti mittausalueen yläraja eli mittaussuureen arvoa jolla anturin lähtöviesti on 100% (esimerkiksi 20mA). Mittausalueen tulee olla vähintään yhtä suuri kuin suurin mahdollinen mitattava arvo voi olla.

Mittalaitteen viritysalueen ala- ja ylärajoiksi kutsutaan mittaussuureen arvoa, jonka määrättyllä tarkkuudella mittaamiseen mittalaite voidaan kalibroida. Anturit on suunniteltu toimimaan tietyllä mittaussuureen vaihtelualueella, eikä niitä voi juurikaan virittää. Mittausalueen leveyden ja nollakohdan viritys tapahtuu mekaaniikan tai lähettimen elektroniikan avulla. Mittausalueen leveys tarkoittaa muutosta mitattavassa suuressa, joka tuottaa anturin lähtöviestiin 100% muutoksen.

Anturi on lineaarinen kun muutokset sen lähtöviestissä ovat suoraan verrannolliset mitattavan tulosuureen muutoksiin. Lähes kaikissa tapauksissa anturi on epälineaarinen ja sen epälineaarisuus kumotaan lähettimen vastakkaisella epälineaarisuudella, jolloin saadaan lineaarinen kokonaisuus.



KUVIO 9. Mittausalue (Luotsinen, sivu 18, 1983)

4.9 Mittausvirheet

Virheet mittauksissa johtuvat ympäristötekijöistä, häiriöistä, mittalaitteen ominaisuuksista ja kalibroinnista. (Soloman, 1999) Lähes poikkeuksetta mittauksissa on aina jonkin verran virhettä, eikä absoluuttisen tarkkoja mittauksia ole olemassa. Mittaustekniikassa näitä virheitä pyritään minimoimaan mahdollisimman tarkan mittaustuloksen saamiseksi. Tarkkaa mittaustulosta varten täytyy siis tietää

käytettävän mittalaitteen virheen suuruus ja luonne. (Suomen säätöteknillinen seura, 1981)

Puhuttaessa tarkkuudesta ja mittausvirheistä esiintyy mittaustekniikassa useasti käsitteet absoluuttinen ja suhteellinen mittausvirhe sekä mittausepävarmuus. Mittausepävarmuus sisältää monia epävarmuuskomponentteja kuten systemaattisen virheen korjauksen epävarmuuden ja mittaustuloksen vaihtelun kohdearvon mittauksia toistettaessa. Mittausepävarmuus itsessään on mittauslaitteen tarkkuuden ja laadun mitta. Mittausepävarmuuteen sisältyy muun muassa seuraavat virheet:

- Epälineaarisuus eli lähtöviestin poikkeama ideaalisuorasta
- Hystereesi tarkoittaa mitattavan arvon nousu- ja laskusuunnan eroa mittaesarvosta
- Toistettavuus ilmaisee anturin kykyä pitää tarkkuutensa joka mittauksella
- Erotuskynnys eli mittaesarvon pienin muutos jolla anturin lähtöviesti muuttuu

Tarkkuus kehittyy jatkuvasti uusien mittauslaitteistojen saapuessa markkinoille. Laitteistot ovatkin jo niin kehittyneitä, että mittausepävarmuuden määrääkin jo mittauslaitteen oman epävarmuuden sijasta pääasiassa prosessiliitántä ja laitteiston kunnossapito.

Mittaustekniikassa tarkkuus on kvalitatiivinen käsite, jolla ei siis ole suureen luonnetta eikä siten arvoa. Yksittäisen mittauslaitteen tarkkuus on määritelty sen kykynä tuottaa virheettömiä tuloksia. Kvantitatiivisesti eli täsmällisesti laskiessa on asiaa käsiteltäessä käytettävä virheettömyyden kuvaamiseen mittaustuloksen epätäsmällisyyttä kuvaavia käsitteitä. Suhteellisen ja absoluuttisen mittausvirheen lisäksi puhutaan mittausepävarmuudesta ja sen eri komponenttien suuruuksista. Seuraavassa taulukossa on esitetty mittausvirheiden jaottelua. (Aumala, 1989)

Mittaustarkkuuden ilmaiseminen	
Epätarkkuus	
	Systemaattinen virhe
Mittausepävarmuus	
	Tuntematon systemaattinen virhe
	Satunnaisvirhe
Muutoksiin liittyvät virheet	
	Staattinen virhe
	Dynaaminen virhe
	Amplitudivirhe
	Ajastusvirhe, vaihevirhe
Aiheuttajan mukainen tarkastelu	
	Menetelmävirhe
	Havaitsemisvirhe
	Interpolointivirhe
	Menetelmän systemaattinen virhe
	Laitevirhe
	Ominaiskäyrän kuvaama virhe
	Vaikutussuureiden aiheuttama virhe

KUVIO 10. Mittausvirheiden jaottelu (Aumala, sivu 158, 1989)

4.10 Yleistä massanmittaamisesta

Mitattaessa voimaa on usein tavoitteena jonkin kappaleen punnitseminen. Mitattavan kappaleen massa saadaan kun mitataan siihen kohdistuvaa maan vetovoimaa. (Luotsinen, 1983)

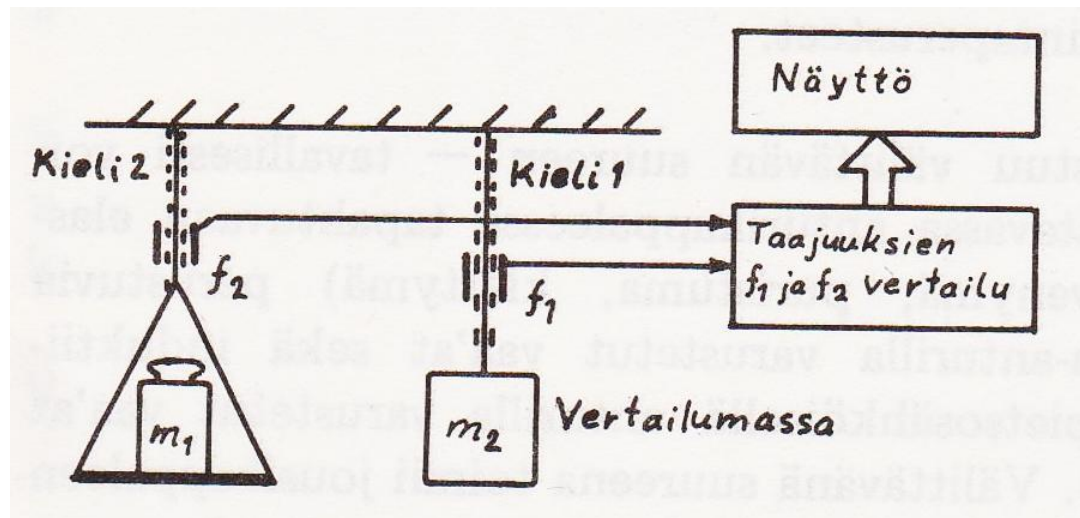
Massan mittaamisessa käytettävät mittausmenetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään: suoraan ja epäsuoraan. (Suomen säätöteknillinen seura / Martti Kari) Suorassa mittauksessa mitataan suoraan fysikaalista arvoa mittauskohteesta. Epäsuorassa mittauksessa mitattava arvo saadaan selville välittävän suureen avulla. Teollisuuden käytössä epäsuoramittaus on huomattavasti käytetympi. (Suomen säätöteknillinen seura, 1981)

Kun massan mittaus ei tapahdu suoraan massoja vertaamalla, massan sijasta tunnustellaan sen aiheuttamaa voimaa. Tässä opinnäytetyössä perehdytään siis pääasiallisesti erilaisiin keinoihin mitata massojen aiheuttamia voimia.

4.10.1 Suora massanmittaus

Suorassa mittauksessa verrataan tunnettua ja punnittavaa massaa. Perinteisten vertailevien vaakojen (kuten siirtopainovaa'an) lisäksi on olemassa myös sähkömekaanisia suoraan massanmittaukseen perustuvia vaakoja. (Suomen säätöteknillinen seura / Martti Kari, 1981)

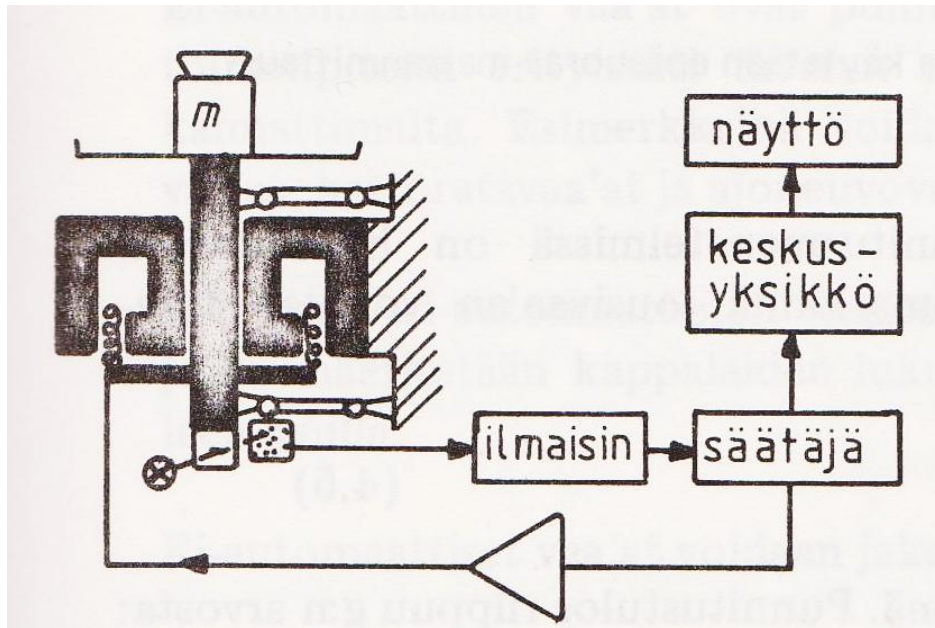
Voimatasapainoperiaatteella toimivat vaa'at ovat yleisempiä pneumaattisissa laitteistoissa. (Luotsinen, 1983)



KUVIO 11. Värähteleviin kieliin perustuva sähkömekaaninen vaaka. (Suomen säätöteknillinen seura, sivu 78, 1981)

4.10.2 Epäsuora massanmittaus

Epäsuora massanmittaus käyttää mittaamiseen välittävää suuretta, joka on tavallisimmin voima. Elastiseen muodonmuutokseen perustuvia ovat jousivaaka, venymäliuska-antureihin perustuvat vaa'at, induktiiviset, magentoelastisella ja pietsosähköisellä anturilla varustetut vaa'at. (Suomen säätöteknillinen seura / Martti Kari, 1981)



KUVIO 12. Sähkömagneettiseen voimavaikutukseen perustuva vaaka (Suomen säätöteknillinen seura, sivu 79, 1981)

4.10.3 Kiintoaineiden virtausmittaus

Tavallisesti teollisuudessa siirrettävät kiintoaineet ovat rakeisia, jauhemaisia tai murskeita. Siirtoon käytetään tavallisesti hihnakuljettimia tai muita mekaanisia menetelmiä kuten ruuvikuljettimia. Jauhemaiset kiintoaineet on mahdollista siirtää myös pneumaattisesti eli paineilman avulla. Rakeiset aineet ja murskeet voidaan siirtää valuttamalla alaviistoon olevan kourun avulla. (Luotsinen, 1983)

Massavirran mittaaminen eroaa massan mittauksesta siinä, että massavirran mittauksessa otetaan huomioon mitattavan materiaalin nopeus. Tämä onnistuu siten, että joko tiedetään tai mitataan kuljettimen tai kuljettimella liikkuvan materiaalin nopeus jolta massaa mitataan. (Soloman, 1999) Yhdistetyistä nopeus- ja massatiedoista saadaan laskettua massavirta kuljettimella.

5 PUNNITUSANTURIT JA -TEKNIIKAT

Teollisuudessa on käytössä monenlaisia mittausrullastoja massan- ja massavirran mittaukseen. Seuraavaksi käyn läpi tyypillisimpiä mittausrullastoja ja niiden toimintaa pääpiirteittäin. Arvioin myös eri tekniikoiden käytettävyyttä opinnäytetyön tilaajan kohteessa.

Normaalit punnitussanturit ovat usein riittävän tarkkoja massanmittauksiin. Yleisin syy niiden mittavirheeseen on ylikuorma.

5.1 Hihnavaa'at

Hihnavaaka mittaa kuljettimella kulkevan massan punnitsevan rullaston avulla. Hihnavaa'an toimintaperiaate on siis kuljettimella kulkevan materiaalin metripainon mittaaminen.

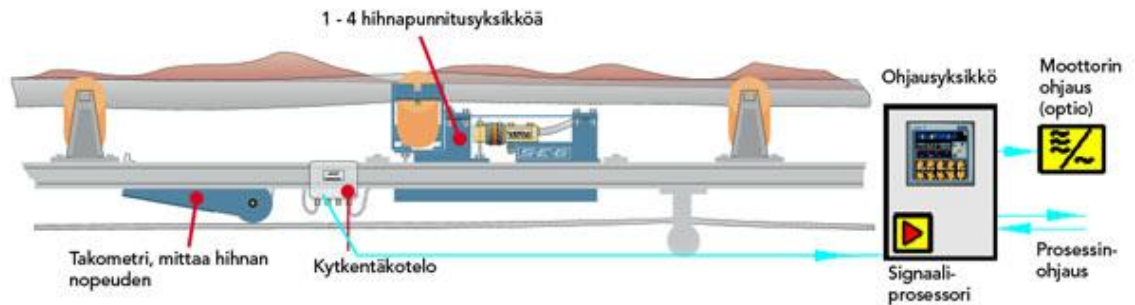
Vaaka rakennetaan jo olemassa olevaan kuljettimeen vaihtamalla yksi (tai useampi) rullasto punnitusrullastoksi. Punnitsevat rullastot asennetaan tarkasti samalle korkeudelle muiden rullasiltojen kanssa. Laitteisto mitoitetaan hihnan kuormien sekä leveyden ja kuljettimen rullaprofiilin mukaan yksilöllisesti mittaushohteeseen.

Yksinkertaisimmillaan punnitusrullasto voi olla kuljettimen alkuperäinen rullasto, joka on asennettu venymäliuskatyypisten punnituskennojen varaan.

Mittauksella saadaan selville sekä vaa'an läpi kulkeneen massan kokonaismäärä että hetkellinen massavirta. Massavirta kuljettimella saadaan yhdistäessä materiaalin tai kuljettimen nopeustieto voima-anturilta saatavaan massatietoon. Nopeustieto saadaan muuttuvanopeuksista kuljettimesta joko pulssianturilla tai takometrillä. Vakionopeuksisessa kuljettimessa voidaan saavuttaa riittävä tarkkuus massavirralla pelkällä punnituksella. (Luotsinen, 1983)

Yleisin käytössä oleva malli on yksirullahihnavaaka. Useampi rullaisella hihnavaa'alla saavutetaan suurempi tarkkuus kuin yksirullaisella hihnavaa'alla, perussääntönä voidaan arvioida virheen puolittuvan punnitsevien rullien määrän kaksinkertaistessa. Yksirullaisella hihnavaa'alla mittausrvirhe on noin 1-2 prosentin

luokkaa. Monirullaisella vaa'alla päästään jopa alle 0,5% tarkkuuteen. (Kouvo Automation, 2014)



KUVIO 13. Hihnavaa'an toimintaperiaate. (Sarlin, 2014)

Massavirta kuljettimella voidaan laskea seuraavasti:

$$\dot{m} = \frac{m}{l} \cdot v$$

jossa:

m=mitattavan materiaalin massa

l=mittauspituus

v=hihnan nopeus

5.1.1 Integroiva hihnavaaka

Toiminta perustuu materiaalivirran metripainon punnitsemiseen kuljetinhihnalla. Kerrottaessa tämä materiaalin kulkunopeudella saadaan massavirtauksen suuruus.

5.1.2 Annosteleva hihnavaaka

Erona integroivaan hihnavaakaan annostelevan hihnavaa'an mittaustietoja käytetään materiaalivirran pitämiseen vakiona. Prosessiautomaatioon liitetty mittauslaitteisto esimerkiksi mittaa metripainoa kuljettimelta ja tarpeen mukaan säätää syöttölaitetta materiaalivirran vakioimiseksi.

5.1.3 Radiometrinen mittaus

Radiometrinen mittaus perustuu gammasäteilyn absorptioon mitattavassa materiaalissa. Laitteisto koostuu säteilijästä, jossa säteilylähde on suojattu suljetun kuoren sisään, ilmaisimesta sekä sen elektroniikasta.

Säteilijä asennetaan esim. kuljettimen yläpuolelle materiaalin ylle ja ilmaisimen kuljettimen alapuolelle. Gammasäteilylähteen säteilyaukko on muotoiltu siten, että hihnan kulkusuunnassa on kapea keila joka on koko kuljetinhihnan levyinen. Säteilylähteen mittausteline toimii samalla sivusuunnan säteilysuojana. Mitattavan aineen vanan kuljettimella ei tarvitse olla koko kuljettimen hihnan levyinen, sillä säteily vaimenee reunoilla vain kuljetinhihnan vaikutuksesta eikä tämä aiheuta virhettä mittaustulokseen. (Luotsinen, 1983)

Ilmaisimen havaitsee gammasäteilyn absorptioon ja sironnan kuljettimella kulkevaan materiaaliin ja välittää tiedon eteenpäin muulle mittauselektronikalle (Halko ym, 1981). Mittauskohdan läpi kulkevan massan suuruuden vaihtelut näkyvät siis ilmaisimen havaitseman säteilyn määrän muutoksina. (Kouvo Automation 2014)

Ilmaisimia on eri tyyppisiä, nykyisin yleisin käytössä oleva on tuikelaskin, jossa oleva ilmaisimateriaali synnyttää valontuikahduksia absorpoidessaan gammasäteilyä. Tiettyssä ajassa laskettujen valontuikahdusten määrä on suoraan verrannollinen säteilyn intensiteettiin (Berthold). Toinen yleinen ilmaisintyyppi on geigerlaskuri. Sen huonoja puolia ovat heikko laskentatehokkuus (noin 1%, tuikeilmaisimissa noin 40%) ja tuikeilmaisimeen verrattuna lyhyt käyttöikä. Etuina geigerlaskurissa on halpa hankintahinta tuikelaskuriin nähden sekä yksinkertainen mittauselektronikka. (Halko ym, 1981)

Ilmaisimen selvittää siis mitattavan aineen tiheyden ja virtauspoikkipinnan alan kuljettimelta gammasäteilyn vaimentumisen avulla. Tuloksena mittalaitteista on suhde vaimentuneen säteilyn ja säteilyn välillä, josta itse massavirta päätellään. Kun lisäksi mitataan kuljettimen kulkunopeus, saadaan selville massavirta. (Luotsinen, 1983)
Laskennallisesti massavirta saadaan siis selville yhtälöllä:

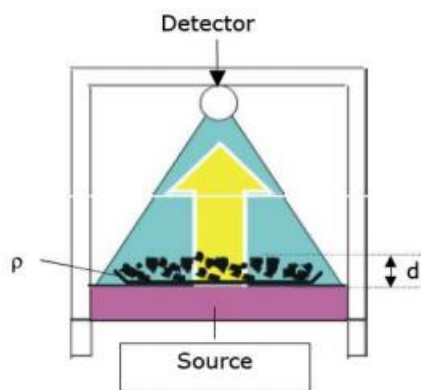
$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$$

jossa:

ρ = mitattavan aineen tiheys

A =mitattavan materiaalin poikki pinta-ala

v =kuljettimen nopeus



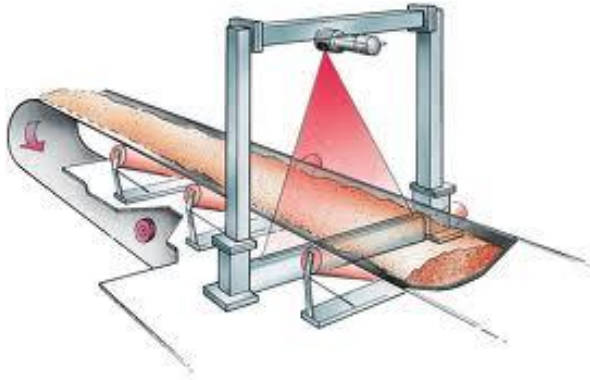
KUVIO 14. Radiometrisen mittauslaitteen toimintaperiaate. (Ihalainen, 2014)

Radiometristä mittausta käytetään varsinkin vaativissa olosuhteissa joissa muunlaisen mittaustekniikan käyttö on mahdotonta, esimerkiksi tulenaroissa ja räjähdysherkissä tiloissa. Mittaustapa soveltuu hyvin lähes minkälaiselle siirtolinjalle ja materiaalille tahansa. Etuna tekniikassa on muunmuassa se, että laitteistot eivät kosketa mitattavaa ainetta. Koskettamaton mittaus mahdollistaa käytön monenlaisissa kohteissa sekä estää mitattavan materiaalin kertymisen mittalaitteisiin, joka taas aiheuttaisi mittausrvirheitä. Mittaukseen ei myöskään vaikuta ympäristön olosuhteet kuten lämpötila, eivätkä muut ulkoiset tekijät kuten, hihnan kireys tai värinä. Menetelmä soveltuu myös suljettuihin kuljettimiin, kuten ruuvikuljettimiin eikä kuljettimen nousukulma vaikuta mittaustulokseen. (Luotsinen, 1983)

Laitteistot ovat erittäin luotettavia, koska niissä ei ole lainkaan liikkuvia osia eivätkä ne tämän vuoksi käytännössä juurikaan kulu ja huolto, sekä joissain tapauksissa myös jopa asennus onnistuvat muun laitteiston toimiessa. Säteilylähteessä käytetyn radioaktiivisen aineen puoliintumisaika on hyvin pitkä, jonka takia säteilylähdettä ei tarvitse vaihtaa usein. (Kouvo Automation, 2014) Ajan kuluessa radioaktiivisen aineen säteilynvoimakkuus laskee, joka joudutaan ottamaan huomioon kompensoinnissa jotta mittaustarkkuus säilyy. Mittaustapa soveltuu massavirroille 0-10 000 kg/h.

Radiometriset mittalaitteistot ovat kuitenkin suhteellisen kalliita ja vaativat erinäisiä lupajärjestelyitä asennuksen sekä käytön suhteen. (Säteilyturvakeskus 2014)

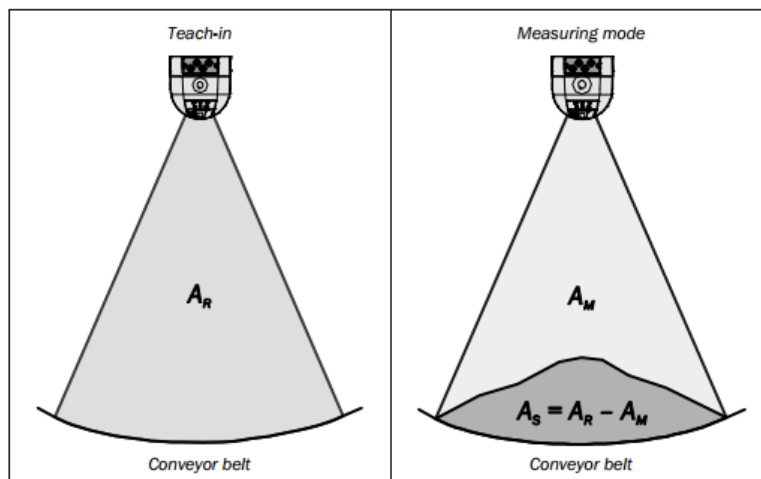
Tämän opinnäytetyön tapauksessa säteilyn absorptioon perustuva mittaus olisi yksi soveltuvista ratkaisuista hyvän sovellettavuuden vuoksi.



KUVIO 15. Radiometrinen mittauslaite (berthold.com)

5.1.4 Optinen mittaus laser-tekniikalla

Markkinoille on hiljattain tullut laser-tekniikkaan pohjautuvia mittauslaitteistoja massavirtojen mittaukseen. Mittaus perustuu kuljettimella kulkevan mitattavan materiaalin 2D-profiilin hahmotukseen. Profiili muodostetaan laservalon kulkuajan ja monikaikuarvion perusteella. Yhdistettäessä 2D-profiili hinnan kulkunopeuteen saadaan massavirta kuljettimella.



KUVIO 16. Mittausperiaate Bulkscan LMS511-mittalaitteelle (Auser.fi, 2015)

Edellisessä kuviossa 16 on esitetty Bulkscan LMS511-mittalaitteen mittausperiaate. Aluksi mittalaitteen annetaan skannata tyhjää kuljetinhihnaa. Kun kuljettimella kulkee materiaalia, näkee mittalaite pienemmän alan. Vähennettäessä tyhjältä hihnalta mitatusta referenssialasta uusi käytönaikainen pienempi ala saadaan kulkevan materiaalin poikkipinta-ala. Massavirran päättelemiseksi laite tarvitsee vielä tiedon mitattavan materiaalin tiheydestä sekä kuljettimen nopeudesta, jotka syötetään laitteeseen kiinteinä arvoina tai saadaan laitteen tietoon muita mittalaitteita käyttämällä (Auser.fi, 2015).



KUVIO 17. Bulkscan LMS511 lasermittalaite massavirtojen mittaukseen (Auser.fi, 2015)

Kuviossa 17 esitetyllä mittalaitteella voidaan massavirtojen ja virtaustilavuuksien lisäksi tarkkailla myös monia muita asioita kuljettimeen ja kuljetettavaan materiaaliin liittyen kosketuksettomasti. Mittalaite kykenee havaitsemaan hihnan luistamisen, epätasaisen kuorman hihnalla sekä väärään kulkuasennon. Hihnan tarkkailulla voidaan saada säästöjä aikaan huoltokustannusten osalta.

Laitteisto kykenee mittaamaan myös kuljetettavan materiaalin korkeuden hihnalla, tällä voidaan estää esimerkiksi muun laitteiston kannalta liian korkean kasan kuljettaminen eteenpäin.

5.2 Venymäliuska-anturit

Venymäliuska-antureiden toiminta perustuu langan muodonmuutoksessa tapahtuvaan resistanssin muutokseen, jonka aiheuttaa mitattava kuorma. Voiman vaikuttaessa

liuskan vastuslanka venyy, jonka seurauksena langan poikkipinta-ala pienenee aiheuttaen resistanssin kasvun. Venymäliuska siis muuntaa pienen venymän tai kutistuman resistanssimuutokseksi. Liuskoissa on johdinta useita kierroksia joten kuormitettuna resistanssinmuutos suhteessa kuormitukseen moninkertaistuu. Anturi on rakenteeltaan kalvo, jossa on tyypillisesti noin 0.025mm paksuista lankaa. Resistanssi on

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

jossa:

ρ = vastuslangan ominaisresistanssi

l = langanpituus

A = langan poikkipinta-ala.

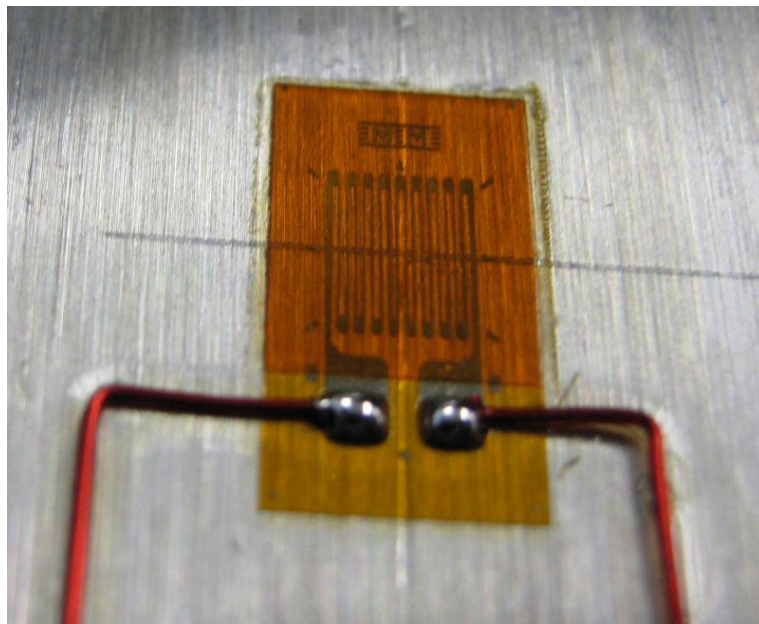
Anturi voidaan valmistaa höyrystämällä vastusliuska ohuen metallikalvon päälle. Muita keinoja on mm. fotoetsaaminen. Venymäliuska liimataan kohtaan josta venymää tai kutistumaa halutaan mitata. Yleensä liuskoista rakennetaan kahden tai neljän liuskan yhdistelmiä yhteen mittaukseen. Liima-aineena yleensä käytetään epoksiliima joka samalla toimii sähköeristeenä pinnan ja kalvon välissä. (Luotsinen, 1983) Valmistustavasta riippuen myös liuskan alusta voi toimia eristeenä. (Halko ym, 1981)

Venymäliuskoja on kahta päätyyppiä: metallivastusvenymäliuska sekä puolijohdeliuska. Venymäliuska-antureiden herkkyys määritellään venymäkertoimen avulla. Metallilangasta valmistetuilla venymäantureilla venymäkerroin on noin kaksi, kun puolijohdeliuskalla se voi olla jopa noin sadan luokkaa. (Aumala, 1989)

Puolijohdeliuskalla eli pietsoresistiivisellä anturilla saavutetaan huomattavasti suurempi herkkyys metallivastusvenymäliuskaan nähden koska sen resistanssinmuutokset ovat suurempia johtuen liuskassa olevan pihhin syntyvän jännityksen eikä niinkään mekaanisen venymän vaikutuksesta kuten metallivastusvenymäliuskalla. Lisäksi piikalvo on metallikalvoa parempi jousto-ominaisuuksiltaan. Mittausepäätarkkuus on $\pm 0,2...1\%$ luokkaa, eli pietsoresistiivisillä antureilla päästään erittäin hyviin lineaarisuus- ja hystereesiarvoihin. (Luotsinen,

1983) Pietsoresistiivisen venymäliuskan resistanssi muuttuu voimakkaasti lämmön vaikutuksesta, joka on otettava huomioon lähettimessä.

Metallivastusvenymäliuskojen käyttö antureissa alkaa olla väistyvää tekniikkaa kaiken muun kuin voiman mittausten osalta. Tavallisimmat metallivastusvenymäliuskojen valmistusmateriaalit ovat kupari-nikkeliseokset sekä nikkeli-kromiseokset, myös platinaseoksia (volfram) ja nikkeli-rautaseoksia käytetään. (Halko ym, 1998)

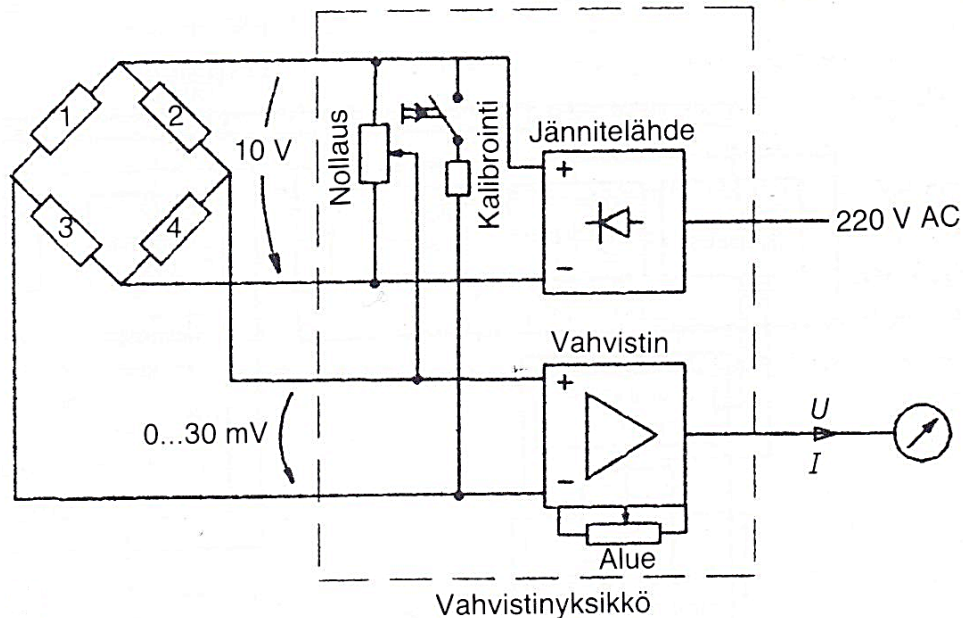


KUVIO 18. Venymäliuska-anturi liimattuna metallipinnalle
(continuummechanics.org, 2015)

Venymäliuskan resistanssi muuttuu sen joko supistuessa tai venyessä kuormituksen voimasta. Resistanssin muutos liuskassa on suoraan lineaarinen kuormitukseen nähden. Tavallisesti käytetään lukumääräisesti neljää tai neljän moninkertoja venymäliuskoja. Kuormitus saadaan selville esimerkiksi jännitteenmuutoksena kun venymäliuskat on kytketty jännitteenjakajaksi tai esimerkiksi Wheatstonen siltakytkentään, ja venymäliuskoja syöttävä jännite tunnetaan. Tämä on tarpeellista koska resistanssin muutos kuormitetussa venymäliuska on suhteellisesti hyvin pieni, joten myös sillasta saatava jännite on myös hyvin pieni, vain muutamia millivolteja. (Luotsinen, 1983)

Jännitteenmuutos prosessoidaan eteenpäin punnitusviestiksi vahvistamalla ja muuntamalla se digitaaliseksi A/D-muuntimella. Samalla voidaan kompensoida

häiriöiden ja muiden vaikutussuureiden kuten lämmön aiheuttamia muutoksia resistanssiin. Kompensointiin voidaan käyttää lämpötilariippuvaisia johtimia ja vastuksia. (Aumala, 1989)



KUVIO 19. Venymäliuskalähtetimen esimerkkikaavio (Halko, sivu 68, 1998).

Käytettäessä venymäliuskoja hihnavaa'an punnitusantureina voidaan takogeneraattorilta saatava nopeuteen verrannollista jännitettä käyttää venymäliuskasillan syöttöjännitteenä. Tällöin sillasta saatava jännite on verrannollinen voiman ja nopeuden tuloon, eli siis massavirtaan. (Luotsinen, 1983)

Venymäliuska-antureita käytetään vaakatekniikassa paljolti. Tekniikka soveltuu hyvin laajalle skaalalle erilaisiin punnitustehtäviin 5 kg jopa 200 tkg asti. Venymäliuskaa on käytetty teollisuudessa pitkään materiaalien ja rakenteiden kuormitukseen sekä väsymiseen liittyvissä mittaussovelluksissa. Suurin osa paineantureista sekä monet vaakasovellukset kuten kauppojen hedelmävaat on toteutettu venymäliuskoilla. Liuska-antureiden suuren herkkyyden vuoksi niiden käyttö erilaisissa sovelluksissa on jatkuvan tutkimus- ja tuotekehitystyön kohteena.

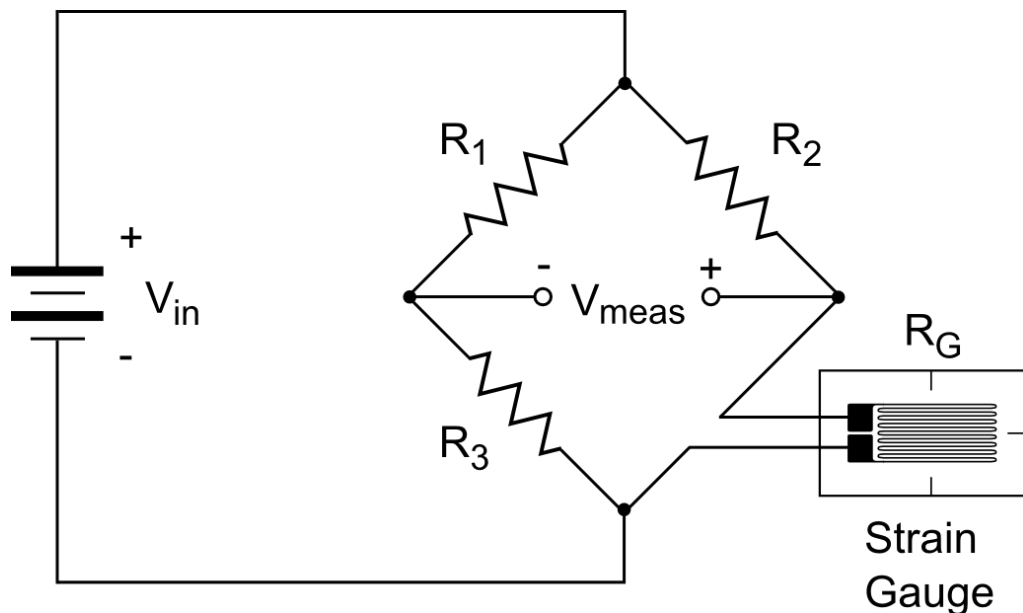
Anturit soveltuvat käytettäväksi lähes missä lämpötilassa tahansa. Etuina tekniikassa ovat myös laaja sovellettavuus, yksinkertainen toiminta, anturin pieni koko, hinta, nopeus, laajan kalibroinnin mahdollisuus. Huonoina puolina mainittakoon anturin

resistanssin muuttuminen lämpötilanvaikutuksesta, joka voidaan kuitenkin poistaa mittaustuloksesta sopivalla kompensoinnilla.

5.2.1 Wheatstonen silta

Mitattaessa resistanssia tai sen muutosta käytetään tavallisimmin Wheatstonen siltakytkentää. Muutos mitattavassa resistanssissa on venymäliuska-anturin kokonaisresistanssiin nähden hyvin pieni joten siltakytkentä on pakollinen. Kytkentä on kaksihaarainen piiri, jossa kummassakin haarassa on kaksi vastusta. Siltakytkennän mitattavista resistansseista yksi tai useampi muuttuu, jolloin muutos voidaan tulkita mittaustuloksena.

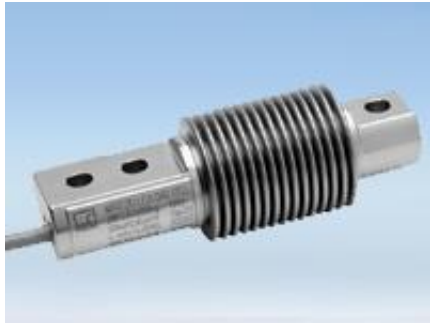
Antureissa käytetään yleisimmin ns. vinoa siltaa, josta mitataan epätasapainojännite. Alkutilanteessa kaikki vastukset ovat yhtä suuria, tällä saavutetaan suurin herkkyys. Silta on myös sitä herkempi mitä useampi vastus siinä on muuttuva. Kun mitattava suure vaikuttaa anturiin, yhden tai useamman haaran resistanssi muuttuu venymäliuskojen geometrian muuttuessa. (Halko ym, 1998)



KUVIO 20. Wheatstonen silta. Yksi tai kaikki vastuksista voidaan korvataa venymäliuskalla, kuvassa ¼-osasilta. (Continuummechanics.com, 2014)

5.2.2 Taivutusanturit

Venymäliuskat asennetaan palkin pintaan ylä- ja alapuolelle. Palkin taipuessa ylempi venymäliuska venyy ja alempi vastaavasti supistuu voiman suunnan mukaan. Taivutuspalkkianturia käytetään puristusvoiman mittaamiseen, prosessivaa'oissa ja vakausmääräykset täyttävissä vaa'oissa. (Luotsinen, 1983)



KUVIO 21. Taivutuspalkkianturi (lahtipresicion.com)

5.2.3 Leikkausvoima-anturit

Taivutuspalkkianturilla voidaan taipuman sijasta mitata leikkausjännitystä. Leikkausvoima-anturissa venymäliuskat asennetaan palkin sivuille 45° asteen kulmaan palkin kulmiin nähden. Voiman vaikutuskohdalla ei ole yhtä suurta merkitystä kuin taipumiseen perustuvissa palkeissa. (Luotsinen, 1983)



KUVIO 22. Leikkausvoima-anturi (finnvaaka.fi, 2014)

5.2.4 Rengasanturit

Rengasanturissa neljä venymäliuskaa on kiinnitetty ympyränmuotoisen renkaan anturin sisä- ja ulkoreunoille. Voiman vaikutuksesta ympyränmuotoinen rengas soikenee ja ulkopuolella olevat venymäliuskat venyvät ja sisäpuolella olevat kutistuvat. Rengasanturia voi käyttää sekä puristuksen että vedon mittaamiseen. Yleisiä käyttökohteita rengasantureille ovat autovaa'at, siilopunnitukset ja säiliöt. (Luotsinen, 1983)



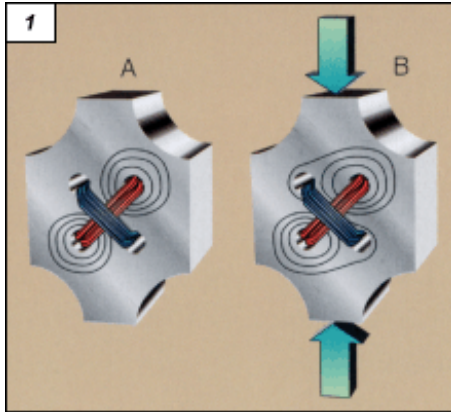
KUVIO 23. Rengasanturi puristusvoiman mittaukseen (finnvaaka.fi, 2014)

5.3 Pressduktori

Pressduktori eli magnetoelastinen voima-anturi on magnetoelastisesta materiaalista valmistettu punnitusanturi, johon epähomogeeninen mekaaninen kuormitus saa aikaan magneettisten ominaisuuksien muutoksia, joita tunnustellaan käämiparilla. (Aumala, 1989) Ensiökäämiin syötetään virtaa, mitattavan voiman aiheuttama jännitys vaikeuttaa magneettivuon kulkua pystysuorassa suunnassa ja vuo ohjautuu kulkemaan toisiokäämiin lävitse aiheuttaen siihen pienen jännitteen, joka voidaan mitata. Menetelmä soveltuu hyvin erittäin suurien voimien mittaamiseen.

Alla esitetystä kuvasta on havainnollistettu pressduktorin toimintaa; kohdassa A on kuormittamaton normaalitila jossa magneettivuo ei ohjautu toisiokäämiin kautta ja kohdassa B on mallinnettu kuormitetun anturin magneettikentän muutosta jolloin

magneettivuo ylettyy toisiokäämiin ja näkyy toisiojännitteenä. Mitattava toisiojännite on suoraan verrannollinen mitattavan voiman suuruuteen. (Luotsinen, 1983)



KUVIO 24. Pressduktorin toimintaperiaate (odbornecasopisy.cz, 2015)

6 EHDOTUKSET MITTALAITTEISTOIHIN

Aiheena opinnäytetyössäni oli selvittää massavirran mittauskeinoja kahteen hyvin erilaiseen kuljettimeen. Arvioin eri tekniikoiden käytettävyyttä kummassakin kuljettimessa erikseen ja arvioin myös mahdollisuutta toteuttaa kummatkin mittaukset samalla mittaustekniikalla mittaustietojen keräämisen helpottamiseksi sekä järjestelemän yksinkertaistamisen vuoksi. Suhteutan eri tekniikat laitteiston mittaustarkkuuteen.

Kuten aiemmin tässä työssä mainitsin jätän käsittelemättä tekniikat joiden takia nykyisiin prosessissa käytettäviin kuljettimiin tai muihin laitteisiin jouduttaisiin tekemään tarpeettoman suuria ja kalliita muutostöitä. Eli pääasiallisesti ehdotan tekniikoita jotka voitaisiin asentaa suoraan jo käytössä oleviin kuljettimiin joista massavirtaa halutaan mitata.

6.1 Valmiit kaupalliset ratkaisut

Radioaktiivinen mittaus olisi muihin keinoihin nähden monilta osin erittäin hyvä keino mitata massavirtaa molemmista kuljettimista. Mittalaitteet voitaisiin asentaa jo käytössä oleviin kuljettimiin ilman muutoksia. Ainoastaan laitteiston hinta ja tarpeet erinäisille luvulle käytön ja hankinnan suhteen vaikeuttavat tämän tekniikan helppoa soveltamista nykyisiin laitteistoihin. Vaikka laitteisto toiminta perustuu säteilyyn, on tekniikka käytössä monissa elintarvikkeita käsittelevässä prosessissa yleisesti teollisuudessa.

Yksi vaihtoehto olisi tilata toimiva mittatilaustyönä tehty mittauslaitteisto alan yritykseltä kumpaankin kuljettimeen erikseen. Näihin kohteisiin sopivimmat mittauslaitteistot olisivat yksirullahihnavaa'at. Yksirullaisella hihnavaa'alla saavutettaisiin riittävä tarkkuus ja laitteisto olisi sopiva raemaiselle mitattavalle materiaalille ja kävisi yhteen koko prosessin luonteeseen hyvin.

Ongelma hihnavaakojen käytölle on ainoastaan nykyiset kuljettimet ja niiden sopivuus käytettäväksi punnituslaitteistojen kanssa.

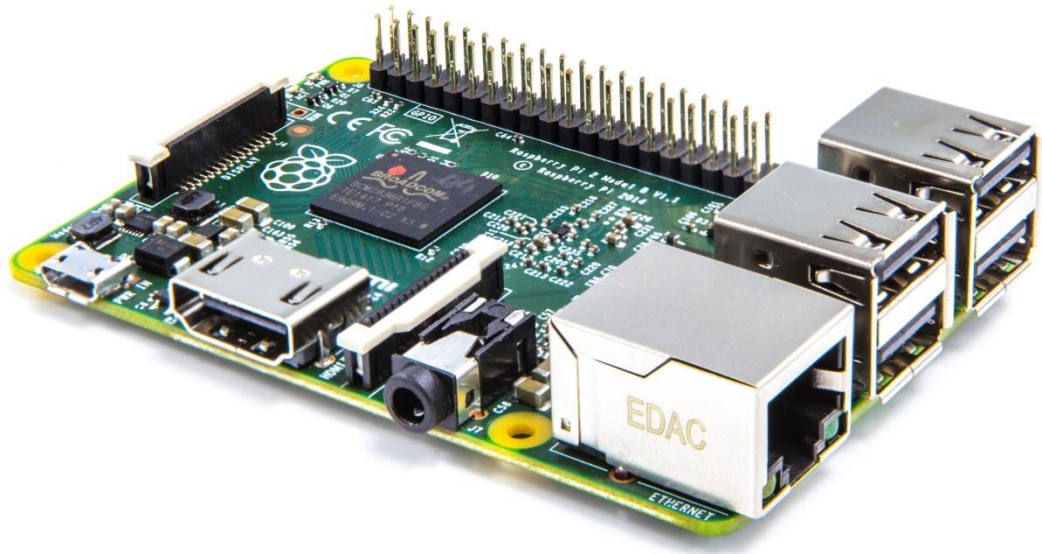
Kuorintalaitteeseen syöttävän kuljettimen hihnan alla ei ole tukirullastoja vaan hihna makaa kuljettimen metallisen rungon päällä. Tämä voitaisiin mahdollisesti ratkaista asentamalla hihnan alle rullastoja, joista yksi olisi punnitseva rullahihnavaaka. Toinen vaihtoehto olisi korvata koko vanha kuljetin uudella kuljettimella jossa olisi hihnavaaka valmiina.

Kuorintalaitteen jälkeiset kuljettimet joista massaa voitaisiin mitata rullahihnavaa'alla ovat myös haasteelliset. Kuviossa2 näkyvän kuljettimen nousukulma on liian suuri hihnavaaka-käyttöön. Mittaus täytyisi siis suorittaa muusta kohtaa, tai eri tekniikalla.

6.2 Itserakennettu mittalaitteisto

Punnituslaitteisto olisi teoriassa mahdollista myös rakentaa osittain itse käyttämällä valmista päätelaitetta tai päätelaitteen tilalla normaalia tietokonetta, jossa olisi signaalinkäsittelyyn soveltuva laite, tai ohjelmisto jolla tulokset saataisiin selkokieleiseksi ja mittalaitteena kappaletavarana saatavia venymäliuskoja. Venymäliuskojen avulla massoja voitaisiin mitata kuljettimien tukipylväistä tai kuljettimen hihnasta esimerkiksi liukupalan tai punnitusrullan avulla. Etuna itserakennetussa laitteistossa olisi halpa hankintahinta valmiisiin ratkaisuihin verrattuna.

Eräs hyvä vaihtoehto omarakenteisen laitteiston päätelaitteeksi olisi Raspberry Pi-alusta, johon on suhteellisen helppo ja edullinen rakentaa omia sovellutuksia sekä ohjelmistojen että fyysisen mittalaitteiston kannalta. Alustalle on saatavissa valmiita lisäosia ulkopuolisten laitteiden liittämiseksi.



Kuvio 25. Raspberry Pi (vadelmapii.com, 2015)

Vaikeuksia itserakennetun laitteiston kanssa tulee pääasiassa kalibroinnin osalta. Varsinkin kuljettimen tärinä aiheuttaa sekä nopeita että jatkuvia virheitä mittaussignaaliin. Mitattaessa kuormitusta kaikista kuljetinta kannattelevista tukipylväistä yhtäaikaan saattaa venymäliuskoihin kohdistuvan kuormituksen epätasaisuus aiheuttaa ongelmia. Kuormitus venymäliuskoissa saattaa näkyä myös liian epätasaisena luotettavan mittaustuloksen saamiseksi mikäli kuljetin on vinossa tai kalteva.

Kalibrointi ja kompensointi olisi itserakennetussa laitteistossa helpoin toteuttaa päätelaitteena toimivan tietokoneen ohjelmistolla, jolla mittaustulokset esitetään. Riittävän tarkkaan mittaustulokseen pääseminen olisi ainakin teoriassa mahdollista.

Sikäli kun kummankin kuljettimen hinnan nopeus on käyttötilanteessa riittävän vakio, ei reaaliaikaista nopeusmittausta tarvittaisi lainkaan ja näin säästyttäisiin hinnan nopeuden mittaavalta anturilta kokonaan. Kuljettimien moottorikäytöissä ei ole taajuusmuuttajaa tai muuta nopeussäätöä joten ainoastaan mitattavan materiaalin kuormitus saattaa aiheuttaa hinnan nopeuteen vähäisiä muutoksia, nämä muutokset ovat kuitenkin niin pieniä ettei mittaustulokseen luultavasti aiheutuisi tästä virhettä. Kuljettimiin olisi tarpeellista kuitenkin asentaa tunnistimet joilla nähtäisiin onko kuljetin käynnissä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOKSET

Opinnäytetyön aiheena oli tarkastella teoreettisesti massavirran mittauskeinoja kahdessa erilaisessa kuljettimessa. Tarkoituksena oli löytää keinot materiaalin massavirtojen mittaamiseen prosessiin syöttävästä ja prosessista lähtevästä kuljettimesta, jotta prosessissa syntyvää hävikkiä voitaisiin tarkkailla ja tätä kautta saada prosessin säätöjen kautta pienennettyä. Toimenpiteillä siis tähdättäisiin parempaan kannattavuuteen sekä samalla hävikin minimoimiseen.

Lopputuloksena opinnäytetyölle voin todeta ettei käyttökohteisiin kannata pelkästään mittalaitteistojen kannalta hankkia kokonaan uusia kalliita kuljettimia. Kohteen kannalta tarpeeksi tarkkaan mittaustulokseen voitaisiin päästä huomattavasti halvemmilla ratkaisuilla, kuten edellä mainitut itserakennetut laitteistot. Mikäli kohteeseen aiottaisiin tulevaisuudessa vaihtaa prosessin käytössä olevat kuljettimet, voitaisiin tilalle harkita kuljettimia joissa on valmiit mittalaitteistot.

Aiheeseen perehdyin alan kirjallisuuden sekä internet-lähteiden avulla. Varsinkin kirjalliset, suomenkieliset lähteet olivat hyvin kattavia ja antoivat paljon hyödyllistä tietoa aiheeseen liittyen.

Tehdessäni opinnäytetyötä opin paljon uutta asiaa mittaustekniikasta ja antureista yleensä. Aihe oli työn aloitusvaiheessa itselleni lähes tuntematon, eli työ ei ollut helpoimmasta päästä. Varsinkin venymäliuskojen monipuolisista käyttömahdollisuuksista ja helposta soveltuvuudesta erilaisiin mittauskohteisiin tuli opittua paljon.

LÄHTEET

Aerocon Systems. Eri laitteistoja ja niiden valinta. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

http://www.aeroconsystems.com/electronics/load_cell_primer.pdf

Luettu 7.6.2014

Anturitekniikka. Pdf-dokumentti. Oy Rastor Ab. Saatavissa:

http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/rastor_anturitekniikka.pdf

Luettu 10.10.2014

Anturitekniikka. Pdf-dokumentti. Oy Rastor Ab. Saatavissa:

http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka3_54_84.pdf

Luettu 20.10.2014

Aumala Olli. Otatieto 1989. Mittaustekniikan perusteet.

Auser Oy. Bulkscan-mittalaitteen toiminta. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

http://www.auser.fi/data/attachments/Bulkscan%20LMS511_2013-09-04_12-38-45.pdf

Luettu 25.2.2015

Auser Oy. Bulkscan-mittalaitteen tuote-esite. Saatavissa:

<http://www.auser.fi/data/attachments/Bulkscan%20LMS511%20tuote-esite.pdf>

Luettu 25.2.2015

Continuum Mechanics. Venymäliuska-antureiden toiminta. Www-sivusto. Saatavissa:

<http://www.continuummechanics.org/cm/straingauges.html>

Luettu 14.3.2015

Elektroniset mittaukset, Petri Kärhä. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.2010/Luento1_2006.pdf

Luettu 20.4.2015

Halko, P., Härkönen, S., Lähteenmäki, I., Välimaa, T., Teollisuuden mittaustekniikka, perusmittauksia. 1998 Opetushallitus, Oy Edita Ab.

Honkanen. Tietoa antureista. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE_A%20N%20T%20U%20R%20I%20T.pdf Luettu 20.10.2014

Kotirannan Vihannesjaloste Oy. Www-sivusto. <http://www.vihannesjaloste.fi/> Luettu 20.3.2014

Kouvo Automation. Hihnavaa'an esite. Pdf-dokumentti.

http://www.kouvo.fi/esitteet/Vaaka_W4800.pdf

Luettu 22.3.2014

Leikkausvoima-antureiden teknisiä tietoja. Ag-Me Oy. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.finvaaka.fi/download/pdf/915/DATASHEET-BM-CFS.pdf>

Luettu 9.9.2014

Osmo Luotsinen. Prosessisuureiden anturit. 1983 Insinööritieto Oy.

Suomen säätöteknillinen seura. 1981. Punnitukset ja voiman mittaukset. Suomen automaatioseura ry.

S-E-G:n hihnavaa'at. Sarlin Oy Ab. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.sarlin.com/loader.aspx?id=90aed8ff-fb2b-4df8-bf5f-b1df685b1e21>

Luettu 7.5.2014

Solomon Sabrie. 1999. Sensors Handbook. McGraw-Hill Handbooks.

Säteilyturvakeskus. Www-dokumentti. SÄTEILYN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA JA TUTKIMUKSESSA. Seppo Väisälä, Helinä Korpela, Mauri Kaituri. Saatavissa:

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja3_files/12222632510021004/default/kirja3_4.pdf

Luettu 21.3.2014

Tampereen teknillinen yliopisto, Heimo Ihalainen. Mittaustekniikka. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

http://www.mit.tut.fi/staff/Ihalainen/web/Mittaustekniikan_alue_TTYMIT_HI.pdf

Luettu 22.11.2014

Venymäliuskojen sovellutuksia, Oulun yliopisto. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.oulu.fi/teknokas/tehtavakortit/venymaliuska.pdf>

Luettu 21.4.2015

Virtausmittausmenetelmiä, Ari Kukkonen, Akutek Oy. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/4_1_2_04.pdf

Luettu 4.5.2014