



# Polttoliipeän jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus

Tuuliina Petrelius

Opinnäytetyö

Joulukuu 2023

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Sähkö- ja automaatiotekniikka

**Petrelius Tuuliina**

## **Polttoliipeän jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Joulukuu 2023**, 59 sivua

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Selluteollisuudessa käytetty polttoliipeä laittaa sen kierrossa olevat mittalaitteet koville, polttoliipeäkierron kovan paineen, korkean lämpötilan ja vahvan lipeän takia. Mittalaitteet ovat selluteollisuuden prosessin kannalta tärkeässä roolissa, sillä mittalaitteen rikkoutuessa voi koko tehtaan tuotanto pysähtyä. Polttoliipeäkierron mittalaitteet mittaavat kierrossa sen virtausta, lämpötilaa, painetta ja kuiva-ainepitoisuutta. Jokaisella näillä mittauksella on tärkeä rooli lipeän koostumuksen ja palamisen kannalta.

Toimeksiantaja työssä toimi Suomen Soodakattilayhdistys Ry. Opinnäytetyön tarve muodostui polttoliipeän jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuuden ja toimivuuden kartoittamisesta. Työssä pyrittiin kertomaan sellutehtaiden lipeälinjasta ja polttoliipeän kannalta tärkeistä prosessialueista. Näitä ymmärtämällä pystyttiin kartoittamaan polttoliipeäkierrossa käytettyjä mittalaitteita ja lipeäkierron olosuhteita. Työssä haluttiin kartoittaa myös mittalaitteiden kunnossapidon tarvetta.

Työ toteutettiin tutkimalla aiheesta saatavaa kirjallisuutta sekä verkkokyselyn ja haastatteluiden avulla. Kyselyjä suoritettiin 13 Suomen sellutehtaalle, joista vastauksia saatiin viideltä. Sellutehtailta kerättyä dataa käsiteltiin anonymisti ja näin ollen tutkimukseen osallistuneita tehtaita ei työssä mainita. Haastatteluita pidettiin jatkuvatoimisten mittalaitteiden toimittajille. Kerättyä dataa käytettiin työssä kartoittamaan, minäkalaisia mittalaitteita polttoliipeässä käytetään ja niiden ongelmia.

Tuloksena saatiin, että tämänhetkiset käytössä olevat mittalaitteet ovat toimivuudeltaan käytettäviä ja luotettavia. Luotettavuuteen ja tarkkuuteen kuitenkin mittalaitteissa halutaan panostaa tulevaisuudessa, sillä vuosien käyttökokemuksella laitteet ovat jo todettu käytettävyydeltään erinomaisiksi. Lipeäkierrossa kuiva-ainetta mittaava refraktometri luokitellaan tärkeimmäksi mittalaitteeksi polttoliipeäkiertoa tarkasteltaessa. Jokaisessa mittauslajin mittalaitteessa on omat ongelmansa, joihin on työssä pyritty löytämään ratkaisuja.

Polttoliipeäkierrossa käytetyt mittalaitteet ovat pääsääntöisesti toimivia ja luotettavia käytettävyydeltään, polttoliipeäkierron ääriolosuhteista huolimatta. Oikein suunniteltu ja rakennettu mittalaitte pystyy toimimaan polttoliipeäkierrossa ongelmitta.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Polttoliipeä, Mittauslaitteet, Mittaustekniikka, Kunnossapito

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Petrelius Tuuliina**

### **Reliability of continuously operating measuring devices for strong black liquor circulation**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2023, 59 pages.

Degree Programme in Electrical and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

#### **Abstract**

The strong black liquor used in the pulp industry puts a strain on the measuring devices in its circulation, due to the high pressure, high temperature, and strong black liquor of the liquor cycle. Measuring devices have an important role in the process of the pulp industry, because if a measuring device breaks, the entire mill's production can stop. The measuring devices for the liquor cycle measure its flow, temperature, pressure and solids content in the cycle. Each of these measurements plays an important role in the composition and combustion of the liquor.

The client for the work was The Finnish Recovery Boiler Committee. The need for the thesis consisted of mapping the reliability and functionality of continuous-function measuring devices for firing liquor. The work aimed to tell about the liquor line of pulp mills and the important process areas for fuel lye. By understanding these, it was possible to map the measuring devices used in the liquor cycle and the conditions of the liquor cycle. The work also wanted to map out the need for maintenance of the continuous devices.

The work was carried out by studying the available literature and by using an online survey and interviews. The survey was sent for at 13 Finnish pulp mills, of which answers were received from five. The data collected from the pulp mills was processed anonymously, and therefore the mills that participated in the research are not mentioned in the work. Interviews were held for suppliers of continuous measuring devices. Collected data was used in the work to map what kind of measuring devices are used in the strong black liquor and their problems.

The result was that the measuring devices currently in use are functional and reliable. However, we want to invest in reliability and accuracy in the measuring devices in the future, because the devices have already been found to be excellent in terms of usability through years of experience. In the liquor cycle, the refractometer that measures dry matter is classified as the most important measuring device when looking at the lye cycle. Each type of measuring device has its own problems, which have been tried to find solutions in the work. The measuring devices used in the liquor cycle are generally functional and reliable in their usability, despite the extreme conditions of the liquor cycle. A properly designed and built measuring device can work in the liquor cycle without any problems.

#### **Keywords/tags (subjects)**

Strong black liquor, Measuring devices, Measurement technique, Maintenance

#### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>5</b>
1.1	Työn tavoitteet ja toteutus .....	5
1.2	Toimeksiantaja .....	6
<b>2</b>	<b>Liipeälinja</b> .....	<b>6</b>
2.1.1	Liipeälinjan historia, nykyisyys ja tulevaisuus.....	8
2.2	Haihduuttamo .....	9
2.2.1	Nousevan kalvon haihdutin .....	10
2.2.2	Pakkokierto väkevoitin .....	11
2.2.3	Laskevan kalvon haihdutin .....	11
2.3	Soodakattila.....	12
2.3.1	Soodakattiloiden historia ja tulevaisuus.....	13
<b>3</b>	<b>Polttoliipeä</b> .....	<b>15</b>
3.1	Polttoliipeäjärjestelmä .....	15
<b>4</b>	<b>Mittaustavat ja mittalaitteet polttoliipeäkierrossa</b> .....	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Virtausmittaus</b> .....	<b>17</b>
5.1	Magneettinen määrämittari .....	17
5.1.1	Promag-virtausmittari.....	18
5.2	Ultraäänivirtausmittaus .....	19
5.3	Vertailussa magneettinen määrämittari ja ultraäänimittari.....	20
5.3.1	Magneettisen määrämittauksen hyödyt ja heikkoudet .....	20
5.3.2	Ultraäänimittauksen hyödyt ja heikkoudet .....	21
5.3.3	Yhteenveto magneettisen määrämittarista ja ultraäänimittauksista .....	22
<b>6</b>	<b>Lämpötilamittaus</b> .....	<b>22</b>
6.1	PT100-lämpötilamittaus.....	23
<b>7</b>	<b>Painemittaus</b> .....	<b>24</b>
7.1	Cerabar PMP55-Painelähetin .....	25
7.2	Rosemount paine-erolähetin .....	25
<b>8</b>	<b>Tiheys- ja kuiva-ainemittaukset</b> .....	<b>26</b>
8.1	Radiometrinen tiheysmittaus.....	27
8.2	Refraktometri .....	28
8.3	Radiometrinen tiheysmittaus vs. refraktometri .....	30

<b>9</b>	<b>Viskositeettimittaus.....</b>	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>Olosuhteet ja niiden muutokset polttoliipeäkierrossa .....</b>	<b>31</b>
<b>11</b>	<b>Kunnossapito.....</b>	<b>32</b>
11.1	Ennakkohuolto kunnossapidossa .....	34
11.2	Mittalaitteiden luotettavuus ja käytettävyys.....	35
11.3	Mittalaitteiden kunnossapito.....	36
11.3.1	Lämpötila-anturin kunnossapito.....	36
11.3.2	Virtausmittauksen kunnossapito .....	37
11.3.3	Kuiva-ainemittauksen kunnossapito .....	38
11.4	Turva-automaatio.....	40
<b>12</b>	<b>Tutkimus polttoliipeäkierrossa käytettävistä mittalaitteista .....</b>	<b>42</b>
12.1	Ongelmia mittalaitteissa .....	42
12.2	Tutkimustuloksia polttoliipeän jatkuvatoimisista mittalaitteista .....	43
12.2.1	Tutkimustuloksia painemittareista .....	43
12.2.2	Tutkimustuloksia virtausmittareista .....	43
12.2.3	Tutkimustuloksia lämpötila-anturista.....	44
12.2.4	Tutkimustuloksia radiometrisestä tiheysmittauksesta .....	44
12.2.5	Tutkimustuloksia refraktometreistä .....	45
12.3	Käytettävyys vs. luotettavuus .....	46
12.4	Huolto ja turvallisuus .....	47
12.5	Mittalaitteiden elinkaari.....	48
<b>13</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>48</b>
13.1	Opinnäytetyön luotettavuus .....	50
13.2	Eettisyys.....	50
	<b>Lähteet .....</b>	<b>51</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>54</b>
	Liite 1. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Forms-nettikyselyn kysymykset 1–3. ....	54
	Liite 2. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Forms-nettikyselyn kysymykset 4–7. ....	55
	Liite 3. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Forms-nettikyselyn kysymykset 8–12. ....	56
	Liite 4. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Forms-nettikyselyn kysymykset 13–17. ....	57
	Liite 5. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Forms-nettikyselyn kysymykset 18–21. ....	58

Liite 6. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Forms-nettikyselyn kysymykset 22–24. ....	59
--	----

## Kuviot

kuvio 1. Kemikaalikierto (KnowPulp, 2023). ....	7
kuvio 2. Haihduttamon havainnekuva mustalipeän käsittelystä (KnowPulp, 2023). ....	10
kuvio 3. Nousevan kalvon haihdutin (KnowPulp, 2023). ....	10
kuvio 4. Laskevan kalvon haihdutin lamellilla (KnowPulp, 2023). ....	11
kuvio 5. Putkimallinen laskevan kalvon haihdutin (KnowPulp, 2023). ....	11
kuvio 6. Yksilieriöisen soodakattilan rakenne (KnowPulp, 2023). ....	13
kuvio 7. Polttoliipeäjärjestelmä (KnowPulp, 2023.) ....	16
kuvio 8. Magneettinen määrämittari (Assured automation, N.d.) ....	18
kuvio 9. Proline Promag virtausmittari (Endress + Hauser, N.d.) ....	18
kuvio 10. Ultraäänivirtausmittarin asennus (REALPARS, N.d.) ....	19
kuvio 11. PT100-vastusanturi (WIKA, N.d.) ....	23
kuvio 12. PMP55 painemittari (Endress+Hauser, N.d.) ....	25
kuvio 13. Rosemount paine-erolähetin (Emerson, N.d.) ....	25
kuvio 14. Radiometrinen mittalaite (Kouvoautomation, N.d.) ....	27
kuvio 15. Radiometrisen mittalaitteen mittauseriaate (Vega, N.d.) ....	28
kuvio 16. Refraktometri (Process Refractometer For Concentration Measurement of Liquids, 2017.) ....	29
kuvio 17. Kunnossapito. ....	33
kuvio 18. Arviointikaavio laitteen kunnossapitoperiaatteen valitsemiseen. ....	34
kuvio 19. Käyttövarmuus. ....	36
kuvio 20. Refraktometriä pesujärjestelmän suositukset (VAISALA, 2019.) ....	39
kuvio 21. Refraktometrin huollon vähimmäis turvallisuusvaatimukset (VAISALA, 2019.) ....	39
kuvio 22. Refraktometrin ulosvetolaite ....	45

## Taulukot

taulukko 1. Soodakattilan käyttöarvojen kehitys vuodesta 1985-2017 (KnowPulp, 2023).....	14
--	----

# Termistö

AISI1316 = Ruostumaton teräs.

Duplex = Korroosiota estävä teräs.

Kaustisointi = Toiselta nimeltään valkolipeälaitos on yksi talteenoton kemikaalikierron osa, jonka tehtävänä on uudentaa viherlipeän sisältämät kemikaalit sekä valmistaa valkolipeää sellun kettoon.

Lauhde = Vesi, joka on höyrystynyt kerran ja kondensoitunut takaisin nestemäiseen muotoon.

Ligniini= Puun kasassa pitävä sidosaine.

Mustalipeä = Mustalipeä on lipeää, joka sisältää kaikki keitossa käytetyt kemikaalit sekä puusta irronneet orgaaniset aineet.

Pietsyresistiivinen = Sellainen, jonka ominaisvastus muuttuu mekaanisessa puristuksessa.

Suopa = Saippuoitunut puun pihka.

TAJ = Turva-automaatiojärjestelmä.

Valkolipeä = Sellun keitossa käytetty lipeä, joka on viherlipeän ja kalkin reagoimisena saatu suodos.

Viherlipeä = Soodakattilassa muodostuneen sulan sekä kaustisoinnissa tulevan heikkovalkolipeän seos.

# 1 Johdanto

Lipeälinjan polttolipeäkierrolla on tärkeä osa sulfaattisellutehtaiden tuotannossa. Sulfaattisellulosaan valmistuksessa syntynyt mustalipeä haihdutetaan haihduttamalla oikeaan kuiva-ainepitoisuuteen, josta se johdatetaan polttolipeäjärjestelmää hyödyntäen soodakattilalle kattilan tulipesään poltettavaksi. Tätä haihdutettua vahvaa mustalipeää kutsutaan polttolipeäksi. Polttolipeää käytetään soodakattilan tulipesän palamisen polttoaineena.

Sellutehtaiden polttolipeäkierto ja sen jatkuvatoimiset mittalaitteet ovat iso osa tehtaiden toiminnallisuutta. Mittalaitteet mittaavat polttolipeäkierron lipeän ominaisuuksia, virtausta, painetta ja lämpötilaa. Mittauksilla on tärkeä rooli lipeän koostumuksen ja palamisen kannalta. Polttolipeäkierron mittalaitteet toimivat ääriolosuhteissa kemiallisen lipeän, korkean paineen ja -lämpötilan alaisina. Mittalaitteen rikkoutuminen voi aiheuttaa soodakattilan tulipesän sammumisen ja näin ollen aiheuttaa tehtaaseen alasajon sekä pysähtymisen.

Polttolipeäkierron mittalaitteet ovat pääsääntöisesti toimivia ja luotettavia laitteita käytettävyydeltään polttolipeäkierron olosuhteista huolimatta. Oikein suunniteltu ja rakennettu mittalaite pystyy toimimaan huoltovapaasti ja luotettavasti polttolipeäkierrossa.

## 1.1 Työn tavoitteet ja toteutus

Toimeksiantajana työssä toimi Suomen Soodakattilayhdistys Ry. Opinnäytetyö liittyy tutkimus- ja kehitystyöhön, jossa pyritään kartoittamaan polttolipeäkierrossa olevien jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuutta ja toimivuutta. Työn alussa pyritään kertomaan sellutehtaiden lipeälinjasta, sen historiasta sekä polttolipeäkierron kannalta tärkeistä prosessialueista: haihduttamosta ja soodakattilasta. Näitä ymmärtämällä on työssä pystytty kartoittamaan polttolipeäkierrossa käytettäviä mittalaitteita, niiden ongelmia ja ongelmien ratkaisuja sekä lipeäkierron olosuhteita. Työssä on pyritty myös selvittämään mittalaitteiden kunnossapidon tarvetta sekä laitteiden turva-automaatiojärjestelmää.

Opinnäytetyön kolme päätavoitetta kuitenkin on tutkia polttolipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuutta, minkälaisia mittalaitteita polttolipeäkierrossa käytetään ja miten olosuhteet vaikuttavat mittalaitteisiin.



Opinnäytetyö on toteutettu kvalitatiivista eli laadullista tutkimusmenetelmää käyttäen, jossa kirjallisuudesta saatua tietoa tuettiin empiirisellä tiedonhankinnalla. Työn tarkoituksena on kartoittaa, kuvailla sekä arvioida polttolipeäkierrossa käytettäviä mittalaitteita. Työ on rajattu toimeksiantajan kanssa käsittelemään vain sellutehtaiden lipeälinjaa sekä polttolipeäkierrossa käytettäviä mittalaitteita. Työn nimi eli tehtävänanto itsessään antaa jo selvät rajaukset työlle. Työn tutkimustulosten aineisto on kerätty Suomen sellutehtailta nettikysymyslomakkeella, jatkuvatoimisten mittalaitteiden toimittajien haastatteluilla sekä aiheen erilaisia kirjallisuuksia hyödyntäen. Kaikki sellutehtailta saadut tutkimustulokset ovat opinnäytetyössä anonymisti esitettyjä, eikä näin ollen tutkimukseen osallistuneita tehtaita mainita työssä.

## 1.2 Toimeksiantaja

Suomen Soodakattilayhdistys Ry. toimi tämän opinnäytetyön toimeksiantajana. Yhdistys on selluteollisuuden yritysten ja sidosryhmien välinen järjestö, jonka tarkoituksena on edistää soodakattiloiden turvallisuutta, käyttövarmuutta, ympäristöystävällisyyttä ja prosessitehokkuutta. Suomen Soodakattilayhdistys Ry toimii aktiivisesti soodakattiloita koskevissa keskusteluissa ja pyrkii tuomaan jäseniensä tietouteen muiden maiden määräyksiä, säädöksiä ja suosituksia. Yhdistys pyrkii parantamaan soodakattiloiden asemaa yhteiskunnassa ja edistämään kestävää energia-alaa.

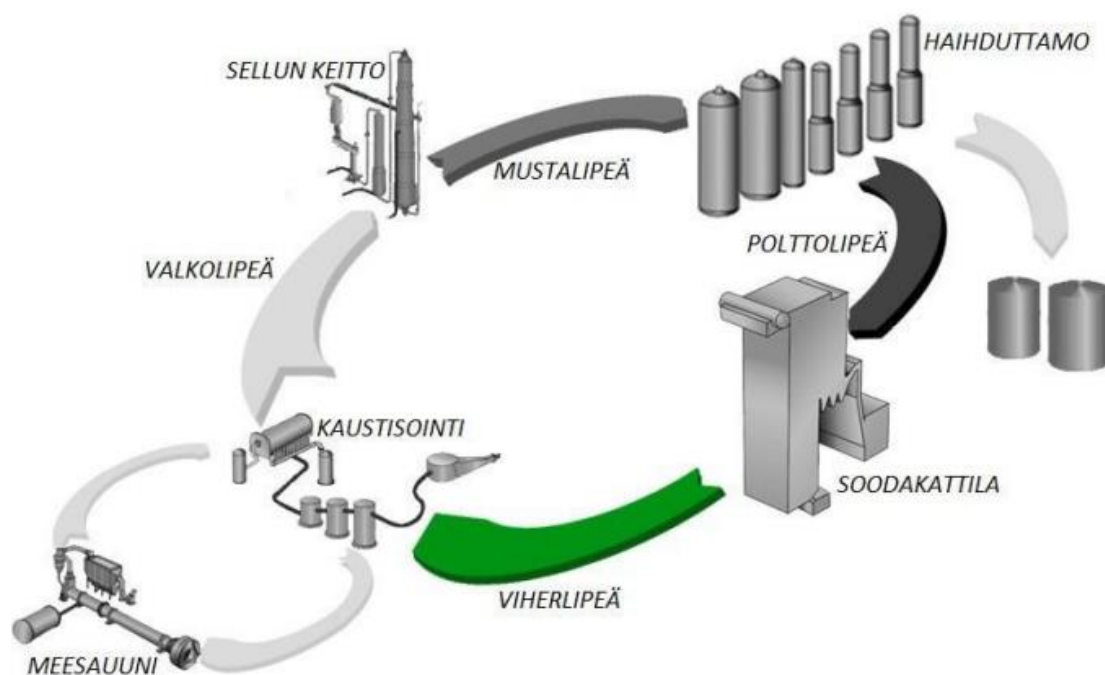
Suomen Soodakattilayhdistys Ry on perustettu vuonna 1964 ja se toimii yhteistyössä alan yritysten kanssa. Yhdistyksen jäseniä ovat esimerkiksi Andritz Oy, Metsä Fibre Oy, Stora Enso Oyj, UPM Oyj ja Valmet technologies Oy. Yhdistys järjestää säännöllisesti koulutustilaisuuksia, seminaareja ja tapahtumia, joilla se pyrkii jakamaan tietoa soodakattiloista ja niiden käytöstä. Suomen Soodakattilayhdistys Ry. ei toimi alan valvontaviranomaisena, vaan heidän foorumeidensa kautta on tarkoitus jakaa tietoa esiin tulleista soodakattilavaurioista sekä vaaratilanteista. (Suomen Soodakattilayhdistys Ry., N.d.)

## 2 Lipeälinja

Lipeälinjalla tarkoitetaan sellutehtaissa olevaa talteenottolinjaa, jossa suoritetaan sellunkeitossa käytettävien kemikaalien ja lämmön talteenotto. Linja koostuu haihduttamosta, soodakattilasta,

kaustisoinnista ja meesauunista. Lipeälinja jaetaan vielä erikseen kahteen osaprosessiin eli kemikaalikiertoon ja kalkkikiertoon. Sen pääasiallisena tehtävänä on ottaa talteen keittimestä saatu lipeä ja palauttaa se takaisin lipeäkierron avulla keittimelle.

Lipeäkierrossa sellumassan valmistuksessa käytettävä valkolipeä eli keittoliuos uudennetaan uudelleen käyttöä varten. Kierrossa on neljä osaprosessia: keitto, haihdutus, soodakattila ja kaustisointi. Lipeäkierto nimitystä käytetään siis silloin, kun puhutaan lipeän kokonaiskierrosta tehtaalla. (Mertakorpi, 2018.)



kuvio 1. Kemikaalikierto (KnowPulp, 2023).

Lipeälinjassa pyritään pitämään kemikaalikierto sellutehtailla mahdollisimman suljettuna eli kemikaalit pyritään kierrättämään mahdollisimman tehokkaasti. Kierrätysprosentti on korkea, sillä yli 95 prosenttia puuaineksesta pystytään käyttämään hyödyksi. Suurien alkali- ja raskasmetallipitoisuuksien vuoksi viherlipeäsakkaa päätyy prosentuaalisesti eniten prosessista kaatopaikalle. Mutta tulevaisuudessa tähänkin pyritään tuomaan muutoksia. Lipeälinjasta kaatopaikalle päätyy myös tuhkaa, vaikkakin osa tuhkasta pystytään hyödyntämään esimerkiksi metsälannoitteissa. (Melenen, 2017.)

### 2.1.1 Lipeälinjan historia, nykyisyys ja tulevaisuus

Suomen selluteollisuuden historiassa ja tänäkin päivänä talteenotto on ollut tärkeä osa sellun valmistusprosesseja. Talteenotto on kehittynyt vuosien mittaan vastaamaan ympäristövaatimuksia ja teollisuuden tarpeita. Suomessa selluteollisuus on ja on ollut yksi keskeisimmistä metsäteollisuuden osista.

Selluteollisuus Suomessa juontaa juurensa 1800-luvulle, jolloin sellua valmistettiin pienissä laitoksissa suurimmaksi osaksi käsityöläisten toimesta ja sen talteenotto oli varsin yksinkertaista. Suomen ensimmäinen puuta raaka-aineena käyttänyt sellutehdas aloitti toimintansa Valkeakoskella. Sellutehtaiden alkuaikoina kemikaalikierto rajoittui usein jätteiden polttamiseen, kuivaamiseen tai hylkäämiseen ympäristöön, mikä aiheutti suuria ympäristöongelmia. 1800-luvulla ja 1900-luvun alkupuolella teollisuuden kemialliset innovaatiot muuttivat tapaa, jolla sellua pystyttiin valmistamaan, sillä lipeä tuli tärkeäksi osaksi sellun valmistusprosessia. Lipeän käyttö auttoi puun kuitujen irrottamisessa ja puun käsittelyä selluksi. (Ammattilehti.fi, N.d.)

1900-luvun alkupuolella Suomi siirtyi selluteollisuudessa massatuotantoon. 1930-luvulla suunniteltiin ja otettiin käyttöön Suomen ensimmäinen soodakattila. Käyttöön otettiin kattilat ja savukaasujen puhdistusjärjestelmät, jotka mahdollistivat lämpöenergian talteenoton ja jätteiden vähenemisen. Samalla alettiin ottamaan käyttöön uusia teknologioita, kuten talteenoton suljettu lipeäkiertojärjestelmä. Suljettu järjestelmä mahdollisti selluntuotannossa tehokkaamman ja ympäristöystävällisen tuotannon. Suomen selluteollisuus koki suuria muutoksia sodanaikana, sillä sen piti pystyä vastaamaan sodanaikana syntyneitä tarpeita. Selluteollisuudessa korostui tarve tehoaaseen talteenottoon ja uusiokäyttöön, sillä raaka-aineita oli rajallisesti ja sulfaattisellun keitossa käytettävät natriumyhdisteet olivat kalliita. (Vakkilainen, 2005.)

1960-luvulta lähtien ympäristöasiat ovat olleet keskeisiä asioita selluntuotannossa. Sellutehtaat alkoivat panostamaan voimakkaasti päästöjen vähentämiseen ja jätteidenkäsittelyyn. Ympäristönormit ja lainsäädäntö ovat muuttaneet talteenottoa ympäristöystävällisempään suuntaan. Lipeälinjojen ympäristövaikutuksia on ajan myötä tarkasteltu kriittisesti. Päästöjen hallinta ja lipeän kierrätys ovat tulleet keskeisiksi kysymyksiksi tehtaissa.

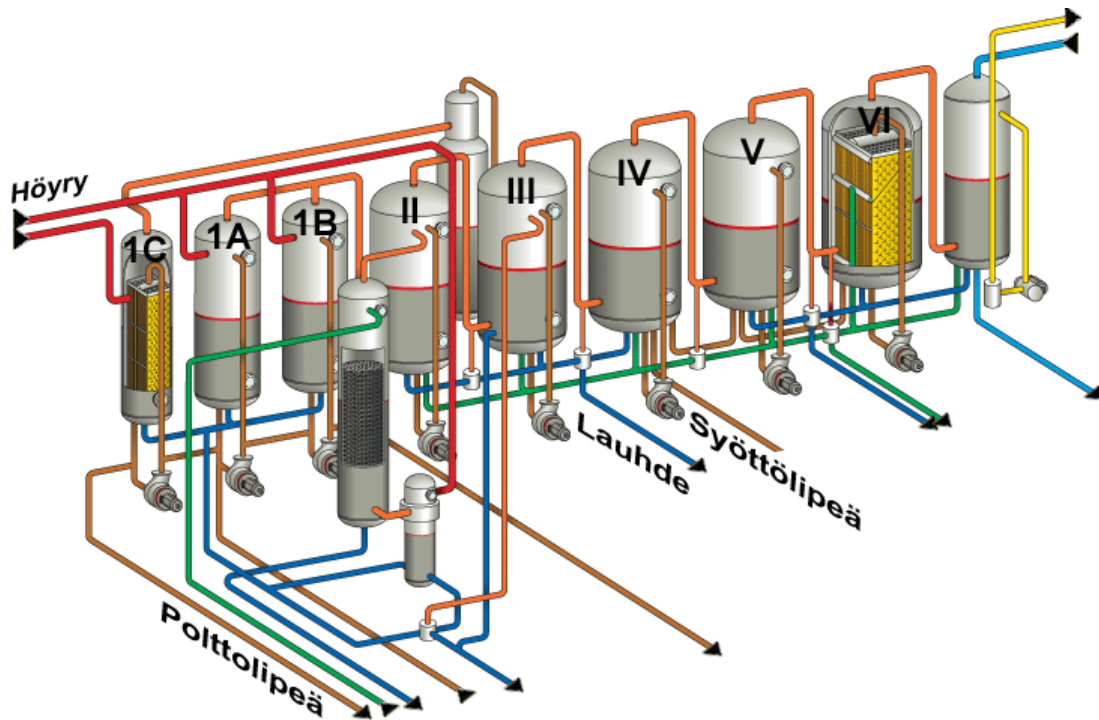
Nykyään tehtaat pyrkivät yhä enemmän kestävään kehitykseen ja kiertotalouteen, mikä koskee myös lipeälinjoja. Sellutehtaat pyrkivät etsimään tapoja, jolla saadaan mahdollisimman tehokkaasti hyödynnettyä raaka-aineita ja vähennettyä ympäristövaikutuksia. Nykyaikaiset lipeälinjat ovat täynnä automaatiota ja tietotekniikkaa, mikä lisää tehtaiden tehokkuutta ja vähentää prosessissa syntyviä ympäristövaikutuksia. Lipeälinjan kehitys on heijastunut ja heijastuu tulevaisuudessakin teollisuuden ja ympäristön vaatimuksiin. Suomalaiset sellutehtaat ovat edelläkävijöitä monissa ympäristöystävällisissä ja kestävässä toimintatavoissa.

## 2.2 Haihduttamo

Haihduttamo on ensimmäinen vaihe lipeälinjassa, jossa sellunkeitossa syntyneestä mustalipeästä poistetaan haihduttamalla vettä eli mustalipeän kuiva-ainepitoisuus pyritään saamaan mahdollisimman korkeaksi. Haihdutettua mustalipeää kutsutaan myös vahvamustalipeäksi. Haihdutettu mustalipeä sisältää suurimmaksi osaksi ligniiniä, joka on soodakattilan tärkein polttoaine. Vahvamustalipeän korkean kuiva-ainepitoisuuden lisäksi haihduttamon hyvä toiminta edellyttää myös sekundäärilauhteiden saamista ulos mahdollisimman puhtaana, sillä lauhhteita pystytään käyttämään uudelleen kaustisoinnissa ja valkaisuissa. Sivutuotteita mitä haihduttamalla syntyy mustalipeän vedenpoistossa ovat metanoli, tärpähti ja suopa. (KnowPulp, 2023.)

Haihdutushöyry on käytettävä taloudellisesti mahdollisimman hyödyllisesti, sillä höyrystä tuleva lämpöenergia edustaa selvästi suurinta kustannuserää haihdutuksessa. Tämän vuoksi nykyiset haihduttamot on monivaihehaihduttamoita (KnowPulp, 2023). Sulfaattisellutehtaiden haihduttamo koostuu tyypillisesti viidestä seitsemään sarjaan kytketystä vaiheesta. Haihduttamon haihdutin yksiköt ovat vastavirtakytkennässä eli kuumin höyry haihduttaa vahvinta mustalipeää. Lämpötilaa ja painetta alentamalla saadaan käytettyä höyry energiatehokkaasti hyödyksi haihduttamossa. (Mertakorpi, 2018.)

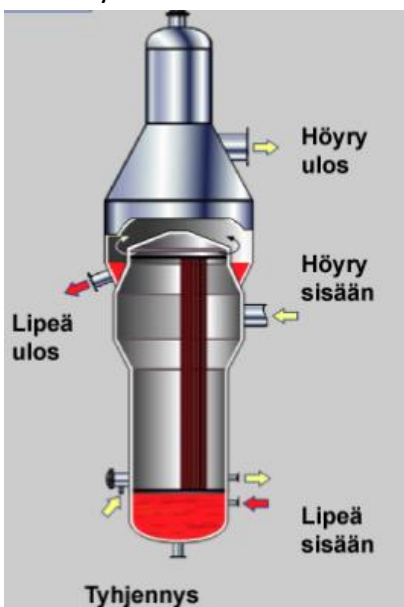
Haihdutuksen ja lauhdestrippauksen osilta on tärkeää, että mustalipeä, joka tulee pesimeltä haihduttamolle, olisi mahdollisimman kuituvapaata. Haihduttamolle tulevan lipeän kuitupitoisuus pitäisi olla alle 40 mg/l, jolloin välttyttäisiin kuitujen aiheuttamista ongelmista. Kuidut voivat aiheuttaa pisaranerottimien pintojen -, lämpöpintojen - ja lauhdestripperin pohjien likaantumisen ja tukkeutumisen, sekä lipeän jakolaitteiden tukkeutumisen. (KnowPulp, 2023.)



kuvio 2. Haihduttamon havainnekuva mustalipeän käsittelystä (KnowPulp, 2023).

### 2.2.1 Nousevan kalvon haihdutin

Sellutehtaiden vanhinta ja yleisesti käytössä olevaa haihdutin tekniikkaa ovat nousevan kalvon haihduttimet. Nousevan kalvon haihduttimissa lipeä syötetään haihduttimen pohjasta sisään, jolloin kiehuessa vapautuva höyry kuljettaa lipeän putkea pitkin ylös muodostaen lipeäkalvon putken sisäpinnalle. Nousevan kalvon haihduttimet vaativat toimiakseen tehollisesti suuren lämpötilaeron höyryn ja lipeän välille. Tällä haihduttimella korkein saavutettava kuiva-ainepitoisuus on käytännössä vain n. 60 %, koska lipeän nousua putkessa hidastaa sen korkea viskositeetti, jonka seurauksena lämmön siirto heikentyy oleellisesti. Koska kiertopumppua ei tarvita haihduttimessa, on sen yksinkertaisuuden lisäksi etuna haihduttimen alhainen sähkönkulutus. (KnowPulp, 2023.)



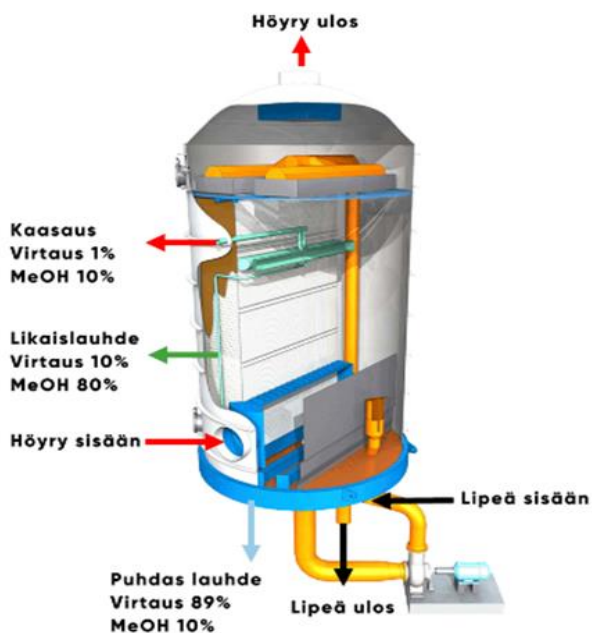
kuvio 3. Nousevan kalvon haihdutin (KnowPulp, 2023).

## 2.2.2 Pakkokiertoväkevöitin

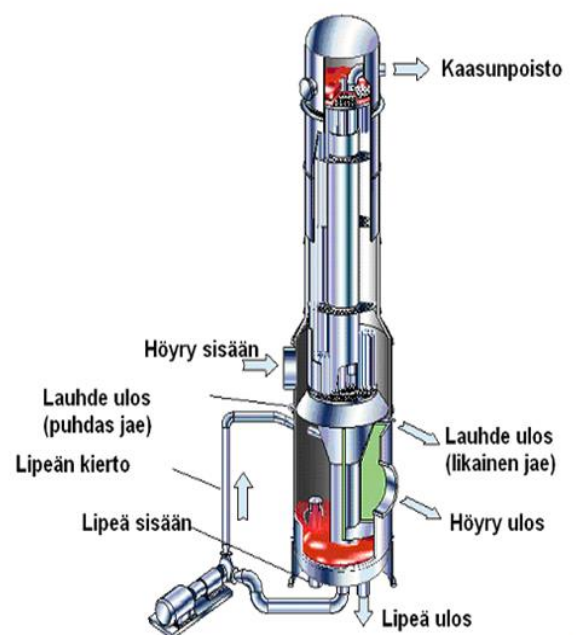
Aiemmin käytettiin pakkokierto väkevöintä, kun haluttiin mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta nostaa korkeammaksi kuin, mitä nousevan kalvon haihduttimilla saavutettiin. Väkevöittämissä kierrätetään todella suurta lipeämäärää putkilämmittimen läpi, jolloin lipeän lämpötila nousee 3–4 °C. Tämän jälkeen mustalipeä paisuu paisunta-astiassa ja pakkokierto väkevöittimeen syötetty lämpöenergia vapautuu höyrynä. Väkevöittämissä lipeä sijoittuu putken sisäpuolelle, kun taas lauhtuva höyry vaippaan. Toisin kuin nousevan kalvon haihduttimessa pakkokierto väkevöittimen suurin haittatekijä on sen korkea sähkön kulutus. (KnowPulp, 2023.)

## 2.2.3 Laskevan kalvon haihdutin

Laskevan kalvon haihduttimessa on voitu eliminoida nousevan kalvon haihduttimen haitat. Näillä haihduttimilla pystyttämään saavuttamaan lopuksi erittäin korkea mustalipeän kuiva-ainepitoisuus. Tämän lisäksi haihdutin, toimii tehokkaasti pienilläkin tehollisilla lämpötilaeroilla, mikä mahdollistaa hyvän osakuormasäädön. Näitä haihduttimia valmistetaan kahdella erilaisella rakenteella: putki- tai levylämpöpintaa käyttäviä haihduttimia. Laskevan kalvon haihduttimessa mustalipeä vaaluu lämpöpintaa pitkin, ohuena filminä alaspäin painovoiman vaikutuksesta haihdutin yksikön pohjalle. Samalla lipeä rupeaa kiehumään ja siitä höyrystyy vettä pois. (KnowPulp, 2023.)



kuvio 4. Laskevan kalvon haihdutin lamellilla (KnowPulp, 2023).



kuvio 5. Putkimallinen laskevan kalvon haihdutin (KnowPulp, 2023).

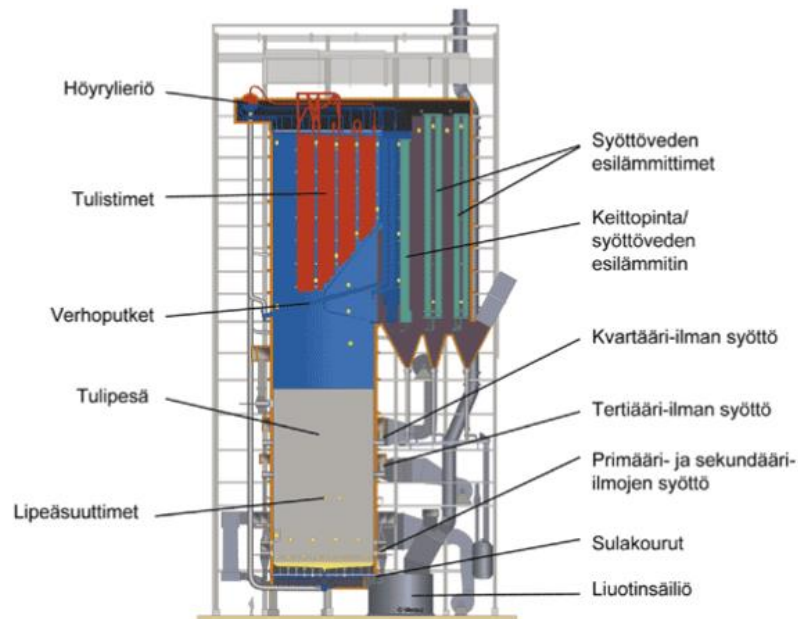
## 2.3 Soodakattila

Haihduuttamalla käsitelty mustalipeä johdatetaan eteenpäin poltettavaksi sen polttamiseen suunniteltuun kattilaan eli soodakattilaan. Lipeä ruiskutetaan noin kiehumislämpötilassaan soodakattilan tulipesään. Poltossa vapautuvat rikki ja natrium otetaan talteen jatkokäsittelyyn sopivina yhdisteinä: natriumkarbonaattina, -sulfaattina ja -sulfidina. Näin soodakattilan tulipesä toimii kemiallisena talteenotonreaktorina. (Poltto ja palaminen, 2002.) Soodakattilan sulakourujen kautta natriumsulfidia, -sulfaattia ja -karbonaattia sisältämä kemikaalisula, valuu soodakattilasta ulos. Kemikaalisula liuotetaan laihanvalkolipeään, jolloin siitä saadaan viherlipeää. Viherlipeä johdatetaan kaustistamoon prosessoitavaksi uudelleen käyttöön keittoa varten olevaan muotoon eli viherlipeästä tehdään valkolipeää. Viherlipeästä mitattu reduktioaste on soodakattilan toiminnan ja lipeälinjan yksi tärkeimmistä mittareista, jolla kuvataan natriumsulfaatin pelkistymistä natriumsulfidiksi. (Mertakorpi, 2018.)

Mustalipeän orgaanisen osan palamisen yhteydessä vapautuu myös lämpöenergiaa, joka käytetään höyryntuottamiseen tehtaan eri prosesseihin, tällöin soodakattila toimii siis myös höyrykattilana. Tämä soodakattilan kaksoisrooli tekee sen rakenteen varsin mutkikkaaksi ja käytön vaativammaksi kuin ns. normaaleja polttoaineita polttavien voimalaitoksien kattiloitten. Soodakattila on kallein yksittäinen prosessilaitte sellutehtaalla ja sen toimivuus on erittäin tärkeää tehtaan toiminnan kannalta. Tämä tarkoittaa sitä, että lähes poikkeuksetta, jos soodakattila on jouduttu ajamaan alas, on koko tehdas tuotannon alasajossa. (Hasanen, 2020.). Vaikka soodakattila on tehtaan kallein prosessilaitte, tuottaa se kuitenkin pääosan koko tehtaan energiantarpeesta sekä erottaa keitossa tulleet keittokemikaalit jatkokäsittelyä varten. Moderni ja hyvin toimiva soodakattila on savukaasupäästöiltään erittäin puhdas. (Poltto ja palaminen, 2002).

Soodakattilan tuotehöyryjen prosessiarvot on suunniteltu alhaisemmiksi kuin tavanomaisissa voimalaitoksissa. Tällä on haluttu saavuttaa korkeampi käytettävyys, vähentää tulistimien korroosiota ja käyttää halvempia putkimateriaaleja kattilassa. Vanhemmissa soodakattiloissa tyypillisesti höyryn arvot ovat 85 bar ja 480 °C, mutta laitoksen kasvaminen ja lipeän korkeammat kuiva-ainepitoisuudet ovat ohjanneet kattiloiden kehitystä kohti korkeampia höyryn paineita ja lämpötiloja. Nykyaikaisissa soodakattiloissa höyrylle saavutetaan jo yli 100 bar ja 500 °C arvot.

Soodakattilan rakenne muodostuu keittokemikaalien talteenottojärjestelmästä, kattilan vesi-höyrykierrosta, polttolipeä-, palamisilma- ja nuohousjärjestelmistä.



kuvio 6. Yksilieriöisen soodakattilan rakenne (KnowPulp, 2023).

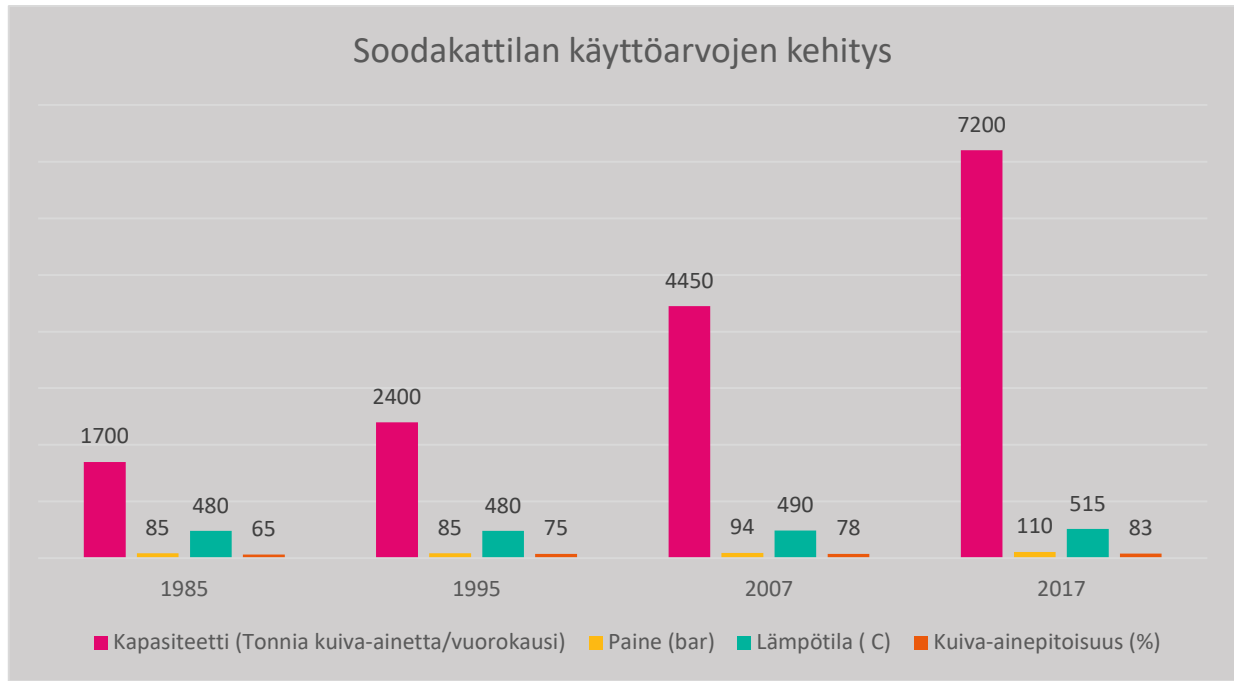
### 2.3.1 Soodakattiloiden historia ja tulevaisuus

Ensimmäisissä soodakattiloissa toimi ns. sulatusuuni kattilan tulipesänä, josta kemikaalisula virtasi liuotussäiliöön. Savukaasut uunista johdettiin kattilan uunin takana olevaan pyörivään uuniin, jonka toisesta päästä mustalipeä syötettiin sisään ja toisesta päästä lipeä valui kuohkeana kuiva-aineena sulatusuuniin. Pyörivän uunin jälkeen oli höyrykattila, jossa savukaasuista saatu lämpö käytettiin hyväksi. (KnowPulp, 2023.)

Vasta 1930-luvulla rakennettiin suomeen ensimmäiset nykyisen kaltaiset sulfaattilipeää polttavat Thomlinson-soodakattilat. Uusia kattiloiden valmistajia alkoi ilmaantua vasta 60-, 70- ja vielä 80-luvullakin. Vuosien saatossa olennaisin muutos soodakattiloissa on ollut kattiloiden yksikkökoon valtaisa kasvu, joka jatkuu edelleen. 1960-luvun alkupuolella kattiloiden kapasiteetti kuiva-aineen polttamisessa oli n. 800 tonnia vuorokaudessa, mikä nousi 1980-luvulla 2000 tonnin kuiva-ainepolton tasolle. Nykyään kattiloiden kapasiteetti voi olla jopa 7000–8000 tonnia kuiva-ainetta



vuorokaudessa. Suurimmat soodakattilat pystyvät yksinään käsittelemään yli miljoona tonnia sellua vuodessa tuottavan jättitehtaan lipeävirran. Soodakattilan tuotannon suuruus ilmaistaan mustalipeän kuiva-aineen vuorokautisena polttokapasiteettina, koska kysymyksessä on kemikaalien talteenottolaitos. (Poltto ja palaminen, 2002.)



taulukko 1. Soodakattilan käyttöarvojen kehitys vuodesta 1985-2017 (KnowPulp, 2023).

Soodakattilan kehitystä on vuosituhanen vaihteen jälkeen ohjannut soodakattilan hinta, kasvava koko, kuinka energiatehokkuutta saadaan parannettua ja tiukat päästövaatimukset. Rakenteellisesti suurin muutos on kuitenkin ollut soodakattilan siirtyminen kaksilieriöisestä kattilasta yksilieriöiseen. Lieriö muutoksella on onnistuttu helpottamaan vedenkierron hallintaa, rakenne on yksinkertaistunut ja halventunut, käytettävyys helpottunut ja käyttöturvallisuus parantunut. Nykyään lähes poikkeuksetta kaikki soodakattilat ovat yksilieriöisiä. (Hasanen, 2020.)

Soodakattilat eivät ole kokeneet suuria teknisiä muutoksia tekniikkansa osalta historiansa aikana tai niitä on hyvin vähän. Kuitenkin ulkoisesti yhteisiä yksityiskohtia modernilla soodakattilalla on vähän enää verraten vuosikymmenten takaisin laitoksiin. Lipeän korkeampi kuiva-ainepitoisuus on ollut yksi olennainen muutos, joka on mahdollistanut soodakattilan tulipesäprosessin kehittämisen monella tavalla tehokkaammaksi ja päästöjä vähemmän synnyttäväksi.

### 3 Polttolipeä

Polttolipeällä viitataan lipeään, jota käytetään kemiallisen prosessin aikana soodakattilassa. Polttolipeä on vahvamustalipeää, johon on sekoitettu soodakattilasta saatua tuhkaa. Haihduttamolta pumpataan vahvamustalipeä soodakattilan polttolipeäjärjestelmään. Polttolipeäjärjestelmään tavallisesti kuuluvat sekoitussäiliö, polttolipeäpumput, -esilämmittimet ja -ruiskut. Haihdutetun lipeän kuiva-ainepitoisuus tulee olla vähintään 58 % sularäjähdyksen vaaran vuoksi. Yleisesti soodakattilaan syötetyn lipeän kuiva-ainepitoisuus on vähintään 72 %, mutta tavoitearvona on 80–85 % kuiva-ainepitoisuus kattilan koon mukaan. (Vakkilainen, 2005.) Lipeän polttoon vaikuttavat useat fysikaaliset ominaisuudet, joista viskositeetti on käytännön kannalta tärkein. Yleisesti polttolipeä on erittäin viskoosinen neste.

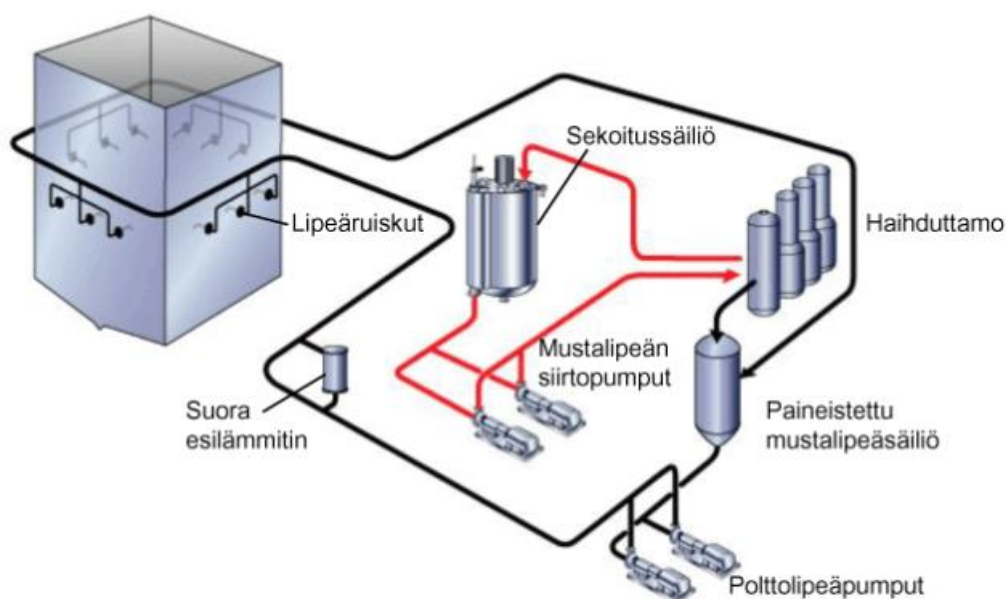
#### 3.1 Polttolipeäjärjestelmä

Vahvamustalipeä pumpataan haihduttamolta polttolipeän sekoitussäiliöön. Sekoitussäiliöön tuodaan lipeän lisäksi soodakattilan tuhka suppiloista ja sähkösuotimilta. Kuuma tuhka sekoitetaan vahvaan mustalipeään sekoituslaitteen avulla. Vahvamustalipeä, johon on sekoitettu ja lisätty soodakattilan tuhka, on polttolipeää. Sekoituksesta syntyy höyryjä, jotka syötetään soodakattilalle polttoon palamisilman mukana. Höyryjen poiston tarkoituksena on pitää alipaineessa sekoitussäiliö, jotta höyryt eivät kulkeutuisi tuhkan pudotusputkille. Sekoitussäiliöt on varusteltu ylikaato- ja tyhjennysputkilla. Sekoitussäiliöitä voi olla kaksi rinnan tai sarjaan kytkettyä säiliötä. Sekoitussäiliössä sekoitettu polttolipeä pumpataan takaisin haihduttamolle mustalipeän siirtopumppuja käyttäen, josta se jatkaa matkaansa soodakattilalle. (KnowPulp, 2023.)

Polttolipeän pumppaamisessa käytetyt polttolipeäpumput ovat tavallisesti haponkestävästä materiaalista valmistettuja erikoisvalmisteisia keskipakopumppuja. Pumppujen jälkeen järjestelmässä seuraavana putkistossa ovat polttolipeän esilämmittimet. Turvallisen ja energiataloudellisen pumppaamisen vuoksi olisi tärkeää, että polttolipeää säilytetään semmoisessa lämpötilassa, jossa sen viskositeetti on riittävän korkea. Tämä tarkoittaa sitä, että lipeä varastoidaan ruiskutuslämpötilaa matalammassa lämpötilassa. Polttolipeän on oltava kuitenkin yli 100 °C, että se voi virrata putkistoissa, sillä huoneenlämmössä olevaa polttolipeää ei voida kaataa tai edes pumpata sen jäähmettymisen vuoksi. Polttolipeän viskositeetti mitataan ennen kattilan lipeäruiskuja. (Poltto ja palaminen, 2002 & Kukka, 2019.)

Polttolipeän esilämmittimenä käytetään tavallisesti suoraa lämmitystä. Suorassa esilämmittimessä polttolipeän sekaan puhalletaan lipeän joukkoon suuttimilla 10–14 bar välipainehöyryä. Suoran esilämmittimen lisäksi lipeän lämpötilaa voidaan nostaa epäsuoralla esilämmityksellä. Epäsuorassa lämmittimessä lämpötilaa nostetaan 3–5 bar höyryllä. Tässä lämmitysmuodossa höyry ja lipeä ovat putkien eri puolilla lämmönvaihtimissa. Epäsuoraa esilämmittintä voidaan käyttää lipeän lämmitykseen vain, kun lipeän kuiva-ainepitoisuus on alle 75 %. Polttolipeän lämpötila on tärkeä säätösuure soodakattilan palamisen hallinnassa. (Vakkilainen, 2005.)

Esilämmityksen jälkeen polttolipeä pumpataan lipeäruiskujen kautta kattilan tulipesään. Kattila on tavallisesti varusteltu 12–20 lipeäruiskulla lusikkasuuttimineen. Lipeäruiskut tulisi olla mahdollisimman symmetrisesti sijoiteltuna kattilan seiniin, jotta keonhallinta ja palaminen olisi vakaata. Soodakattilan tulipesään ruiskutetaan polttolipeä kattilan kaikilta seiniltä. Ruiskut sijaitsevat noin 6–8 metrin korkeudella tulipesän pohjan yläpuolella. Tulipesään lipeän ruiskuttaessa sen lämpötila on noin 120–140 °C. Ruiskutuslämpötilalla on merkittävä vaikutus polttolipeän viskositeettiin, sillä se vaikuttaa pisaran muodostumiseen ja sen kokoon ruiskutuksessa sekä sitä kautta palamiseen. On tärkeää lipeän ruiskutuksessa välttää liian pienien pisaroiden muodostumista lusikkasuotimilla, koska sillä minimoidaan tulipesän yläosaan karkaavien pisaroiden määrää. Pisaroiden kokoon vaikuttavat useat tekijät esimerkiksi ruiskun lusikkasuotimen muoto ja koko sekä polttolipeän viskositeetti ja paine. Ruiskujen pisarakokoa voidaan säätää pitämällä polttolipeälinjojen paine vakiona ja säätämällä lipeän lämpötilaa. (KnowPulp, 2023 & Kukka, 2019.)



kuvio 7. Polttolipeäjärjestelmä (KnowPulp, 2023.)

## 4 Mittaustavat ja mittalaitteet polttolipeäkierrossa

Erilaisilla mittalaitteilla pystytään seuraamaan prosessia ja niiden antamalla tuloksilla ohjaamaan sitä. Laitteet mittaavat polttolipeän kiintoaineiden ominaisuuksia, virtausnopeutta, lämpötilaa ja painetta. Mittaukset ovat edellytyksiä laadun, tehtaan ja tuotannon tehokkaaseen hallintaa. Käytämällä automaatio- ja prosessimittauslaitteita tuotantoa voidaan hallita sekä pystytään ennakoimaan mahdollisten ongelmatilanteiden varalta.

Seuraavissa 5–9 pääluvuissa esitellään ja perehdytään polttolipeäkierrossa käytettäviin mittauksiin sekä niiden yleisimpiin mittalaitteisiin. Luvuissa käsiteltävät mittalaitteet ovat valikoituneet tutkitavaksi sellutehtaille tehdyn kyselyn kautta.

## 5 Virtausmittaus

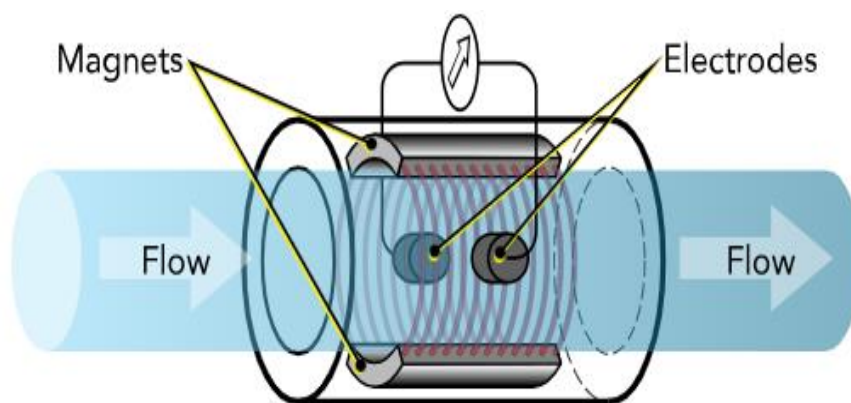
Prosesseissa aineet siirretään yleensä virtauksina. Turvallisuus, tasainen tuotelaatu ja prosessien optimointi ovat muutamia syitä, miksi virtausmittaus on polttolipeäkierron tarkkailussa tärkeää. Virtausmittausten käyttöalue on laajentunut viime vuosina merkittävästi, kun se on yhdistetty moderneihin kenttävyölajärjestelmiin ja automatisoituun prosessinohjaukseen. (Endress + Hauser, N.d.) Polttolipeäkierron virtausmittaria ei pystytä vaihtamaan tehtaan ollessa ajossa. Mittari on siis vaihdettava vuosihuoltoseisakissa tai kun tehdas on pysähtynyt. Jotta voidaan ymmärtää virtausantureiden toimintaa, on ymmärrettävä virtaavan aineen käyttäytyminen putkistossa.

### 5.1 Magneettinen määrämittari

Polttolipeäkierrossa virtausta mitataan pääsääntöisesti magneettisella määrämittarilla. Magneettinen määrämittari on laipallisen putken osana oleva laite, jossa magneetikenttä synnytetään magneetikäämillä. Mittauksessa käytettävä mittausputki on yleensä valmistettu epämagneettisesta teräsaineksesta, joka on sisäpuolelta eristävästi vuorattu. Polttolipeäkierrossa magneettisen virtausputken pitää olla kuumaa kestävästä materiaalista. Mittauskohde on vaativa ja useimmilla katiloilla käytetään duplex-materiaalista tehtyä suojakaulusta suojaamaan mittaria. (Härkönen, 2019.)

Magneettinen määrämittari on luotettava, helppo asentaa, se ei aiheuta painehäviötä, ei kerää likaa herkästi ja kestää hyvin korroosiota sekä happoja ja emäksiä. Magneettinen määrämittari on yleensä huoltovapaa mittalaite. Laitteen mittaus perustuu nesteen johtokykyyn, joten siihen ei vaikuta mitattavan aineen tiheys, viskositeetti, paine tai lämpötila. (Heinokoski, 2013.)

Suuren paineen ja korkean lämpötilan vuoksi magneettiputkien vuoraukset kuluvat ja saattavat rikkoa laitteen. Jotta mittari pystyttäisiin vaihtamaan tehtaan käynnissä olo aikaan, olisi putkisto kahdennettava eli virtaus pystyttäisiin ohjaamaan kulkevaksi toisen putkilinjan kautta huoltotöiden ajaksi. Virtausmittarin rikkoutuessa pystytään tehdasta ajamaan vielä kuitenkin painemittauksen ja käsisäädön avulla eli mittarin rikkoutuminen ei välttämättä aiheuta tehtaan alasajoa.



kuvio 8. Magneettinen määrämittari (Assured automation, N.d.)

### 5.1.1 Promag-virtausmittari

Promag virtausmittari on suunniteltu tarkkailemaan kaasujen ja nesteiden virtausta teollisuussovelluksien vaativissa olosuhteissa. Promag virtausmittarin toiminta perustuu elektromagneettisen induktion periaatteeseen, jossa mittarin ympärillä virtaava aine aiheuttaa magneettikentän muutoksen, josta voidaan mitata virtaustietoa. Virtausmittari tarjoaa korkean mittausluotettavuuden ja tarkkuuden. Promag laitteella pystytään tarkkailla



©Endress+Hauser

kuvio 9. Proline Promag virtausmittari (Endress + Hauser, N.d.)

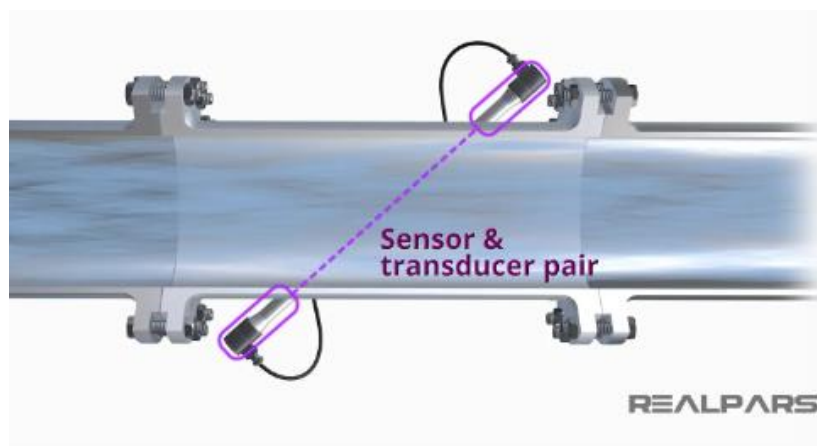
ja säätää prosessin virtaustietoja, mikä auttaa optimoimaan tuotannon tehokkuutta ja parantamaan tuotteiden laadunvalvontaa.

Mittalaite sisältää myös monia ominaisuuksia, kuten automaattisen itsetestauksen ja virheilmoitukset, jotka helpottavat käyttäjää havaitsemaan mahdolliset ongelmat ja ylläpitämään mittarin toimintaa. Promag virtausmittari pystytään liittämään myös eri väyläratkaisuihin, kuten Profibus, Foundation Fieldbus tai HART, mikä helpottaa mittalaitteen integrointia prosessi ohjausjärjestelmiin. (Endress+Hauser, N.d.)

## 5.2 Ultraäänivirtausmittaus

Ultraäänivirtausmittaus on menetelmä, jolla mitataan nesteen tai kaasun virtausta ultraäänen avulla. Tämä mittausmenetelmä perustuu Doppler-ilmiöön, joka tapahtuu, kun ultraääni heijastuu liikkuvasta kohteesta. Ultraäänivirtausmittarin mittaus perustuu samaan ilmiöön kuin nopeustutkat, joita käytetään liikenteen valvonnassa. Kun kohteeseen suunnattu ääni heijastuu takaisin, sen taajuus muuttuu. Mittaus menetelmän soveltaminen polttoliipeän virtausmittauksiin edellyttää, että lipeässä on sopivasti epähomogeenisuuksia eli kiintoainehiukkasia, sakkaa yms., sillä ultraäänen heijastumista ei tapahdu tasaisesta nesteestä.

Ultraäänivirtausmittarissa on yleensä kaksi anturia, jotka sijoitetaan virtauslinjaan vastakkaisille puolille, prosessiputken ulkopuolelle. Toinen antureista lähettää ultraäänisignaaleja, kun taas toinen vastaanottaa heijastuneet signaalit. Heijastuneiden signaalien taajuuden muutos antaa tietoa virtausnopeudesta. Mittalaitteella voidaan mitata luotettavasti nesteiden ja kaasujen virtausmäärä. Se ei ole riippuvainen sähköjohtavuudesta, paineesta, lämpötilasta tai viskositeetista. (Pihkala, 2004.)



kuvio 10. Ultraäänivirtausmittarin asennus (REALPARS, N.d.)

### 5.3 Vertailussa magneettinen määrämittari ja ultraäänimittari

Magneettinen määrämittari ja ultraäänivirtausmittari ovat kaksi täysin erilaista tekniikkaa mitata virtausnopeus. Molemmat ovat hyviä vaihtoehtoja polttoliipeän virtauksen mittaamiseen. Eroja magneettisella määrämittarilla ja ultraäänivirtausmittauksen välillä on:

1. Toimintaperiaate.
  - Magneettinen määrämittari käyttää magneettikenttiä sähköä johtavien nesteiden tai kaasujen mittaamiseen, kun taas ultraäänivirtausmittari hyödyntää ultraääntä virtauksen nopeuden laskemiseksi
2. Tarkkuus.
  - Sekä magneettinen määrämittari ja ultraäänivirtausmittarit ovat erittäin tarkkoja laitteita. Tarkkuus voi kuitenkin vaihdella olosuhteista ja sovelluksesta riippuen.
3. Sovellusalueet.
  - Magneettiset määrämittarit soveltuvat erityisesti nestemäisen virtauksen mittaukseen ja niitä käytetään laajalti teollisuudessa.
  - Ultraäänivirtausmittarit taas soveltuvat sekä nesteille että kaasuille ja niitä voidaan käyttää monenlaisissa sovelluksissa, oli kyseessä pieni tai suuri putki.
4. Asennustapa.
  - Magneettiset määrämittarit vaativat prosessiputken aukotuksen sillä se asennetaan putkilinjan sisälle.
  - Ultraäänimittarit asennetaan putken ulkopuolelle.

#### 5.3.1 Magneettisen määrämittauksen hyödyt ja heikkoudet

Magneettisia määrämittareita on käytetty polttoliipeän virtauksen mittauksessa jo vuosikymmenien ajan, ja ne ovat vakiinnuttaneet paikkansa polttoliipeän virtauksen mittauksessa. Magneettisten määrämittausten hyötyjä on mm.

1. Tarkkuus
  - Magneettiset määrämittarit tarjoavat erittäin tarkkoja mittauksia virtaavaan aineen virtauksesta ja niiden mittausvirhe on hyvin pieni, mikä tekee niistä luotettavia mittausvälineitä.
  - Mittaustulokseen ei vaikuta aineen tiheys, viskositeetti, paine tai lämpötila.
2. Ei vaikuta mitattavaan aineeseen
  - Laite ei vaikuta mitattavan aineen ominaisuuksiin tai koostumukseen.
3. Soveltuu laajaan käyttöön
  - Soveltuu teollisuusalojen eri prosesseihin
4. Luotettavuus
  - Mittalaitteet ovat erittäin luotettavia mittauksissaan, jonka vuoksi mittalaitteita on käytetty polttoliipeän virtauksen mittauksissa vuosikymmeniä. Niiden avulla voidaan saavuttaa pitkäaikaisia mittausnopeuksia ja tarkkuutta, jolloin voidaan tehdä tarkkoja mittaus suorituksia.
5. Kustannustehokkuus
  - Mittalaitteet eivät aiheuta suurta painehäviötä virtaavaan aineeseen, mikä tekee siitä energia tehokkaan vaihtoehdon.
  - Huoltovapaa

Magneettinen määrämittari on pääsääntöisesti luotettava virtausmittari, mutta siinäkin on omat ongelmansa, esimerkiksi mittalaitteiden vuorausten kuluminen. Vaikka mittalaite on rakennettu kestävästä materiaalista kestämaan polttolipeän ääriolosuhteet, laitteiston vuoraukset kuluvat, joista aiheutuu mittatulosten heittelemistä. Magneettiset määrämittarit voivat olla myös herkkiä ulkoisille ympäristötekijöille esimerkiksi ulkoisille magneettisille kentille ja sähköisille häiriöille, jotka voivat johtaa epätarkkoihin mittauksiin tai mittarin toiminta häiriöön. Virheellisiin mittaustuloksiin voivat vaikuttaa myös, ettei virtauksen putki ole täynnä, virtauksessa esiintyy kuplia tai kavitointia, virtauksen ominaisuuden ovat muuttuneet tai mittauksen elektrodit ovat oikosulussa. (Heinokoski, 2013.)

### 5.3.2 Ultraäänimittauksen hyödyt ja heikkoudet

Ultraäänivirtausmittaus tarjoaa monia hyötyjä verrattuna perinteisiin virtausmittausmenetelmiin.

Ultraäänivirtausmittauksen hyötyjä ovat:

1. Ultraäänimittauksissa ei ole liikkuvia osia
  - Laitteen sensorit eivät sisällä liikkuvia osia. Mittauslaitteistot ovat vähemmän alttiita vaurioille ja kulumiselle, mikä pitkällä aikavälillä luo säästöjä huoltokustannuksissa.
2. Laitteen korkea taajuus
  - Virtausmittarit tarjoavat pääsääntöisesti erittäin tarkkoja mittauksia, joiden virhemarginaali on yleensä hyvin pieni. Toisaalta ultraäänimittaus on vielä hyvin harvinaista polttolipeän virtauksen mittauksissa, joten polttolipeän virtausmittauksien tarkkuuden virhemarginaalista ei ole varsinaista dataa.
3. Soveltuvuus
  - Ultraäänisensorit on todettu soveltuviksi mittaamaan erilaisia nesteitä, öljyjä, kaasuja ja kemikaaleja.
4. Mittaus ei häiritse virtausta
  - Ultraäänianturit eivät häiritse virtausta mitattavassa aineessa, sillä ne eivät ole kosketuksissa mitattavan aineen kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että mittauksia voidaan tehdä ilman, että prosessin toimintaa häiritään tai virtauksen ominaisuudet muuttuvat.
5. Mittalaitteen helppo asennus ja käyttöönotto
  - Mittarit ovat yleensä helppoja asentaa ja käyttöönottaa. Usein mittarit pystytään asentamaan olemassa olevaan putkistoon ilman suuria muutostöitä ja mittarit voidaan helposti integroida prosessinohjausjärjestelmään.

Hyötyjen lisäksi mittalaitteissa on omat haittansa. Suurimmat haasteet ultraäänimittareissa on kustannukselliset syyt. Ultraäänimittaus laitteineen voi olla kallis investointi vanhan magneetti määrämittarin tilalle ja se vaatii ammattitaitoisen henkilökunnan koulutusta ja tiedon ylläpitoa, sillä ultraäänivirtausmittarit ovat kehittyneitä mekaanisiin virtausmittauksiin verrattuna (Sino-Inst, N.d).



### 5.3.3 Yhteenveto magneettisen määrämittarista ja ultraäänimittauksista

Molemmissa mittaus tavoissa on hyvin samankaltaisia hyötyjä. Ultraäänivirtausmittausta on käytetty vasta hyvin vähän aikaan, jonka vuoksi sen suurimpia heikkouksia ei ole vielä keretty kartoittaa polttoliipejärjestelmää mitatessa. Magneettinen määrämittari on taas ollut vuosikymmeniä teollisuusaloilla käytössä, jonka vuoksi sen hyötyjä ja heikkouksia on kertynyt laajemmin.

Magneettista määrämittaria ja ultraääni mittausta vertaillen suurimpina eroina on niiden erilaiset mittaus- ja asennustavat. Ultraäänimittauksen hyötynä verrattuna magneettiseen määrämittariin on sen prosessiputken ulkopuolelle sijoitettu asennustapa, jonka seurauksena mittalaite ei ole kosketuksessa polttoliipeään millään tavalla, eikä näin ollen mittalaitteen osat vaurioidu tai kulu lipeään kosketuksesta. Lisäksi prosessiputkien seinämiin voi muodostua lipeäkerros, joka voi rajoittaa polttoliipeän virtausta pienentäen putken poikkipinta-alaa. Tässä tilanteessa magneettisen määrämittarin tulokset voivat näyttää virheellistä tulosta sen asennus- ja toimintatavan vuoksi. Ultraäänimittauksen tarkkuuteen ei vaikuta putkien seinämiin muodostunut lipeäkerros.

Ultraäänimittaus on vielä harvinainen mittaus tapa polttoliipeän virtauksen mittauksessa, jonka vuoksi sen hyödyistä, heikkouksista ja toiminnallisuudesta ei ole vielä saatu tarpeeksi dataa. Tulevaisuudessa uusissa tehtaissa kuitenkin voidaan nähdä enemmän ultraäänimittaukseen perustuvia virtausmittareita magneettisen määrämittareiden sijaan. (Ruosaari, 11/2023.) On tärkeää huomata, että molemmilla mittarityypeillä on omat vahvuutensa ja sopivuutensa erilaisiin sovelluksiin.

## 6 Lämpötilamittaus

Lämpötilan mittaus on tärkeä osa polttoliipeän seuranta prosessia, sillä prosessissa oleva aine on alttiina lämpötilan vaikutukselle. Lämpötilalla on vaikutusta aineen fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin ja vaikuttaa mm. aineen reaktionopeuteen, laatuun, energian kulutukseen ja ympäristöpäästöihin. (Pihkala, 2004). Polttoliipeän lämpötila on oltava oikea n. 100–130 °C astetta. Liian matala lämpötila voi tukkeuttaa putkistot, joissa polttoliipeä kulkee sekä liian korkea lämpötila voi saada polttoliipeän kiehumaan, jolloin se muodostaa tyhjiön putkiin eli lipeä ei pääse virtaamaan. Tässä tapauksessa soodakattila pysähtyy. Oikealla lämpötilalla vaikutetaan myös lipeäruiskujen piisaran muodostumiseen ja sitä kautta tulipesässä tapahtuvaan palamiseen. (Vakkilainen, 2005.)

Lämpötilaa voidaan mitata usealla eri tekniikalla. Lämpötilamittauksissa käytetään lämpötilaa mittaavia antureita. Vaikka tekniikka on kehittynyt vuosikymmenien aikana, on lämpötilamittauksissa käytetyt anturit pysyneet melko samanlaisina. Anturien muutokset ovat olleet pieniä ja muutokset ovat koskeneet lähinnä valmistustekniikkaa. Lämpötila-anturit ovat vastusantureita ja termoelementtejä, joita käytetään eri teollisuuden alojen tarpeisiin. Lämpötila-anturit koostuvat mittaelementistä sekä liitäntä- ja asennusosista.

Polttoliipeän lämpötilan mittauksessa käytetään pääsääntöisesti vastusanturisia lämpötilamittareita. Vastuslämpömittareissa mitataan metallin sähköistä resistanssia, joka on riippuvainen lämpötilasta eli vastuslämpömittarin mittauseriaate perustuu vastuksen resistanssin muuttumiseen. Antureina käytetään mittauksissa metalli- ja puolimetallivastuksia. (Pihkala, 2004.)

## 6.1 PT100-lämpötilamittaus

PT100-anturi on lämpötila-anturi, millä yleisimmin mitataan polttoliipeän lämpötilaa. PT100-anturi pohjautuu vastusmittausperiaatteeseen. Kyseinen lämpötila-anturi on tehty platinasta, koska platinan resistanssi lämpötilassa 0 °C on 100 ohmia. Siitä tulee anturin nimitys PT100. Lämpötilan noustessa lämpötila-anturin vastus kasvaa platinan positiivisen lämpökertoimen vuoksi. PT100-lämpötila-anturi antaa todella hyvän ja vakaan mittaustuloksen verrattuna muihin lämpötila mittaumenetelmiin. PT100-anturi soveltuu polttoliipeän lämpötilan mittaamiseen liipeän lämpötilan vuoksi. Jos polttoliipeän lämpötila olisi yli 500 asetetta, ei PT100-anturia kannattaisi käyttää, vaan parempi vaihto ehto olisi silloin termoelementti.

Lämpötila-anturiin syötetään vakio virtaa esimerkiksi 1...3 mA ja resistanssin muutos mitataan jännitehäviön muutoksena. Anturin yhteyteen suojausputken kytkinkoteloon tai erilliseen kytkentäkoteloon, pystytään asentamaan lämpötilalähetin, joka muuntaa lämpötilasta riippuvaisen vastuksen sähköiseksi 4...20 mA standardiviestiksi. Standardiviesti pystytään johtamaan osoitinlaitteelle tai tietokoneelle.

Teollisuudessa käytetyistä ja rakennetuista PT100-antureista on pyritty tekemään tärinän- ja äärimmäisiin olosuhteisiin kestäviä antureita.

Standardi IEC 60751 luokittelee pitkälti PT100-antureiden ominaisuudet. (Heinokoski, 2013.)



kuvio 11. PT100-vastusanturi (WIKA, N.d.)

Polttolipeässä käytetyt lämpötila-anturit on asennettu suojataskuun, joka suojaa haastavissa olosuhteissa vastusanturia. Polttolipeän korkea kuiva-ainepitoisuus on muuttanut vastusanturin käyttöä siten tehtailla, että suojataskumateriaali mihin anturi asennetaan, on materiaaaliltaan duplex. Duplex-materiaaliin siirryttiin tehtailla, kun polttolipeän kuiva-ainepitoisuus nousi yli 73 %.

## 7 Painemittaus

Prosessissa yksi yleisimmistä mittausparametreista on painemittaus ja siihen tarkoitettu painemittari. Paineen mittaaminen on välttämätöntä prosessin hallinnassa. Painemittari on mittari, joka on liitetty paineen mittauspisteeseen putkessa tai järjestelmässä, jonka painetta halutaan mitata. Paineen mittaukseen tarkoitettu mittalaite auttaa seuraamaan ja valvomaan paineen muutoksia, joten sen tarkkuus on kriittistä ja sen kalibrointi on suositeltavaa. Mittalaite auttaa mittaamaan painetta yksiköissä, kuten PSI, kPa tai bar. Suomessa polttolipeässä yleisin mittayksikkö, jota käytetään paineen mittauksessa, on bar. (Hydrauliikkakauppa, N.d)

Painetta voidaan mitata paine-erona, absoluuttisena- tai suhteellisena paineena. Paine-eromittauksessa verrataan painetta johonkin toiseen prosessissa esiintyvään paineeseen. Absoluuttisen paineen vertailupaineena on absoluuttinen nollapaine eli painetta verrataan täydelliseen tyhjiöön. Suhteellisessa painemittauksessa mitataan painetta verraten ympäröivään ilmanpaineeseen. Paine voi kuitenkin olla staattista-, dynaamista- tai hydrostaattista painetta. Polttolipeästä mitattu paine on staattista- ja dynaamista painetta. (Pihkala, 2004.)

Polttolipeän kokonaisvirtausen mittauksessa usein painemittaus linjat on kahdennettu. Mittaus tehdään tavallisesti sivulta käsin laippaliitännällä yhteellä DN80. Laippaliitännällä tarkoitetaan paineen välitintä, jota käytetään silloin, kun prosessiaine on liian syövyttävää, kuumaa tai jäykkää vieväksi impulssiputkea pitkin lähettimelle, jonka vuoksi lähetintä ei voida asentaa suoraan prosessiin. (KnowPulp, 2023.) Polttolipeän korkean lämpötilan vuoksi lähettimet on usein suojattu joko kupillaarivälintä tai jäähdytinkaulaa käyttäen. Korkeaa kuiva-ainetta ajavilla tehtailla käytetään painelähettimen kalvomateriaalina duplexia. Toisena kalvomateriaalina on käytetty AISI316, jota pystytään käyttämään vielä pienemmillä kuiva-ainepitoisuuksilla olevissa kattiloissa. Duplex on kuitenkin yleisimmin käytetty materiaali sen kestävyuden vuoksi.

Suomen sellutehtaille tehdyssä kyselyssä ilmeni, että kaksi yleisintä paineen tarkkailuun tarkoitettua mittalaitetta tehtailla ovat Cerabar PMP55 ja Rosemount paine-erolähetimet.

### 7.1 Cerabar PMP55-Painelähetin

Cerabar PMP55 on digitaalinen painelähetin täysin hitsatulla kalvotiivisteeellä kaasujen tai nesteiden mittauksiin. PMP55 painelähetintä käytetään tyypillisesti prosessi- ja hygieniasovelluksissa paineen, pinnan korkeuden, tilavuuden tai massan mittaamiseen. Panielähetin soveltuu korkeisiin paineisiin ja äärimmäisiin prosessilämpötiloihin  $-70$ – $+400$  °C. PMP55 Quick Setup ja säädettävä mittausalue mahdollistavat käyttäjälle helpon käyttöönoton, jotka vähentävät tehtaiden kustannuksia ja säästävät niiltä aikaa. PMP55 painelähetin on älykäs ja luotettava painelähetin, jossa on pietsoresistiivinen mittauskenno ja metallihitsattu prosessikalvo ja kalvotiiviste.



kuvio 12. PMP55 painemittari  
(Endress+Hauser, N.d.)

Panielähettimen Cebar PMP55 etuja on suuri valikoima siihen soveltuvia erilaisia prosessiliitäntöjä ja kalvomateriaaleja. Se soveltuu esimerkiksi 4–20 mA HART-, Profibus PA- ja Foundation Fieldbus- kenttäväyliin ja sen käyttöönotosta on tehty helppoa. Panielähetin on sertifioitu IEC 61508:n ja IEC 61511:n mukaisesti. (Endress+Hauser. N.d.)

### 7.2 Rosemount paine-erolähetin

Rosemount paine-erolähetin on Rosemountin valmistama mittauslaite, joka mittaa prosessien painetta. Paine-erolähetin on erityisesti suunniteltu vaativiin teollisiin ympäristöihin. Lähettimellä on tarkka ja luotettava suorituskyky ja se kykenee vastaamaan nopeasti ja tarkasti paineenmuutoksiin prosessissa. Laitteen suunnittelu mahdollistaa sen toiminnan myös erittäin korkeissa tai matalissa lämpötiloissa.



kuvio 13. Rosemount paine-erolähetin (Emerson, N.d.)

Rosemount paine-erolähettimellä pystytään mittaamaan painetta eri mittayksiköissä kuten, psi, bar tai Pascal, joista bar on

yleisin suomessa käytetty mittayksikkö. Paine-erolähetin pystyy lähettämään saamansa mittausdatan sähköisesti eteenpäin, mikä mahdollistaa tiedon keräämisen ja tarkastelun etäältä, mikä helpottaa prosessin valvontaa ja tehostaa sen toimintaa. (Emerson, N.d.)

Rosemount paine-erolähtetimen etuja on:

1. Lähettimen korkea suorituskyky.
  - Rosemountin paine-erolähtetimet ovat tunnettuja erinomaisesta suorituskyvystään. Lähettimet ovat tarkkoja ja luotettavia mittauksia laajalla painealueella. Tämä mahdollistaa tarkkojen prosessien valvonnan ja ohjauksen.
2. Laitteiden luotettavuus.
  - Laite on suunniteltu kestäväksi vaativissa olosuhteissa. Ne ovat luotettavia ja kestäviä, mikä vähentää laitteiden vikoja ja minimoi niiden huoltotarvetta. Tämä vähentää tehtaiden käyttökatkoja ja säästää aikaa sekä kustannuksia.
3. Paine-erottimien innovatiiviset teknologiat.
  - Rosemountin paine-erolähtetimet sisältävät usein uusimpia saatavia teknologioita, kuten älykkäät anturit ja langattomat kommunikaatio mahdollisuudet. Näiden ominaisuuksien avulla laitteiden käyttäjät voivat helposti seurata ja hallita painetta mistä tahansa ja optimoida prosessien suorituskykyä.
4. Laitteen helppo käyttöönotto ja käyttö.
  - Paine-erolähtetimet on suunniteltu helppoon käyttöön ja käyttöönottoon. Lähettimissä on käyttäjä ystävälliset näytöt ja intuitiiviset käyttöliittymät, jotka helpottavat laitteen asennusta, konfigurointia ja päivittämistä.
5. Paine-erolähtetimen laaja sovellusalue
  - Laitteet soveltuvat moniin teollisuusalan eri sovelluksiin.

## 8 Tiheys- ja kuiva-ainemittaukset

Tiheyden mittauksessa harvoin ollaan kiinnostuneita tiheydestä itsestään. Sen avulla yleensä halutaan päästä selville aineen pitoisuuksista tai sen seossuhteesta. Lämpötilalla pystytään muuttamaan aineen tiheyspitoisuutta esim. tiheys muuttuu lämpölaajentumisen vaikutuksesta. Paineella ei ole juurikaan vaikutusta aineen tiheyteen, joten sitä ei tarvitse ottaa huomioon tiheysmittauksissa. (Pihkala, 2004.)

Kuiva-ainemittauksien myötä tiheysmittausten ja -mittareiden määrä polttolipeäkierrossa on vähentynyt tai jopa poistunut käytöstä. Yleisin paikka missä tiheysmittausta vielä käytetään polttolipeäkierrossa, on soodakattilan tuhkan tiheyden mittaamiseen. Tuhkan tiheys mitataan ennen vahvamustalipeään sekoittamista. Radiometrinen tiheyden mittaaminen on yleisin tapa tiheyden

mittaamiseen ja se luokitellaan ns. erikoisinstrumentiksi. Tiheyttä pystymään mittaamaan myös refraktometrillä. Käytettävät tiheys mittalaitteet huolletaan vuosihuoltoseisokissa, mutta niiden vaihtaminen onnistuu tehtaan käynnissä olo aikanaikin.

Kuiva-aine on liuenneen ja kiinteän aineen massa, joka jää jäljelle, kun nestettä haihdutetaan. Kuiva-ainemittaus on tärkein mittaus polttoliipeäkierrossa. Mittaus suoritetaan valon taittumiseen perustuvalla tiheysmittarilla eli refraktometrillä. Refraktometrit ovat vuosien mittaan syrjäyttäneet radiometriset mittalaitteet. Kuiva-aineen mittaus on tärkeää soodakattilan toiminnan kannalta, sillä polttoliipeän liian matala kuiva-ainepitoisuus voi aiheuttaa sularäjähdyksen. Polttoliipeän kuiva-aine pitoisuus on 70–85 % tehtaan tuotannon mukaan.

### 8.1 Radiometrinen tiheysmittaus

Radiometrisessä tiheyden mittauksessa mittaus perustuu gammasäteilyn vaimenemiseen mitattavassa väliaineessa. Mittalaitteisto muodostuu säteilijäosasta, tuikelaskijailmaisimesta, lähettimestä ja prosessiputkikohtaisista kiinnitysosista. Tuikelaskurin kompensointi poistaa lämpötilamuutosten ja komponenttien vanhenemisen vaikutukset. Säteilylähde sekä tuikelaskuri asennetaan eristetyn prosessiputken tai säiliön ulkopuolelle kiinnitysosien avulla tai ulkopuolisella tuennalla, näin eliminoidaan väliaineen, lämpötilan ja värinän vaikutus mittaukseen. Likaantuvassa prosessissa voidaan käyttää erillistä mittauputkea. (Pihkala, 2004 & Kouvoautomation, N.d.)

Koboltti 60 ja Cesium 137 ovat tyypillisimpiä gammasäteilylähteitä, joita käytetään radiometrisessä tiheysmittauksessa. Radiometrinen tiheysmittaus on ideaalinen mittaustapa syövyttäviin, kuluttaviin tai korkean lämpötilan omaaviin kohteisiin sen koskemattoman mittaustavan vuoksi. Mittaus tapa vaatii säteilysuojan. Säteilysuoja muodostuu lyijyllä täytetystä valurauta kotelosta, josta säteily pääsee ulos vain kapeana kiilana haluttuun mitattavaan kohteeseen. Säteilysuojaukko on suljettavissa ja lukittavissa.



kuvio 14. Radiometrinen mittalaite  
(Kouvoautomation, N.d.)

Radiometriset mittalaitteet ovat aina luvan varaisia säteilyn ja turvallisuutensa vuoksi. Kun radiometristä mittausta käytetään, on laitteessa oltava säteilyvaara -merkki ja sen suojauksessa kilpi varoittamassa säteilystä. Radiometrisessä mittalaitteissa käytettävän radioaktiivisen gammasäteilyn vuoksi on turvallisuuteen aina kiinnitettävä erityistä huomiota. Yleisin radiometrinen tiheysmittari mitä käytetään, on VEGA, mutta käytöstä tehtailta löytyy myös mm. Gammapilot FMG50.



kuvio 15. Radiometrisen  
mittalaitteen mittausperiaate  
(Vega, N.d.)

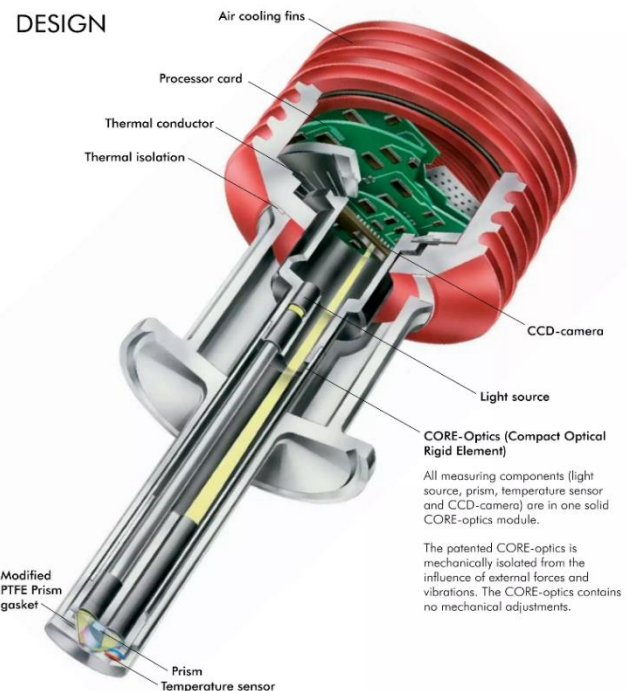
## 8.2 Refraktometri

Prosessissa käytettävät refraktometrit mittaavat pitoisuutta prosessin aikana. Polttoliipeäkierrrossa refraktometrejä käytetään lipeän kuiva-aineen mittaamiseen. Refraktometri on valon taittumiseen perustuva tiheysmittari. Mittaus itsessään perustuu nesteen taitekertoimeen ja refraktometriin mittaustulos on tarkka ja luotettava. Prosessissa oleva refraktometri mittaa jatkuvatoimisesti nesteen taitekertoimen. Taitekertoimella pystytään määrittämään laskennallisesti haluttu suure esim.

tiheys, liuennon aineen pitoisuus eli kuiva-ainepitoisuus tai kemikaalin pitoisuus. Aineen taitekerroin on sen fyysinen ominaisuus, joka on riippuvainen pitoisuudesta. Taitekerrointa voidaan ajatella valon kykyä taipua nesteen pinnasta. (Pihkala, 2004 & VAISALA, N.d.)

Polttoliipeä kierrossa olevat kuplat, epäpuhtaudet tai aineen väri ei vaikuta refraktometrin mittaukseen tai tuloksiin. Refraktometri on kestävä mittalaite, joka on suunniteltu erityisen vaativiin olosuhteisiin, mutta sitä pystytään käyttämään hygieenisen rakenteensa ansiosta myös elintarvikealalla ja erittäin puhtaat olosuhteet vaativille aloille. Mittalaitteen tarjoamia hyötyjä on myös sen täysin digitaalinen järjestelmä. Refraktometreissä ei ole signaalin ryömintää ja säännölliselle uudelleen kalibroinnille ei ole tarvetta. Prosessirefraktometreissä on kolmeperuskomponenttia: Prisma, digitaalinen kamera ja valonlähde. (Kontram, N.d.)

Refraktometrin mittausrakenteen muodostaa rajapinnan mittalaitteen ja polttoliipeän välille. Mitattavan aineen valon taitekertoimen täytyy olla pienempi kuin refraktometrin prisman. Valon heijastumista ei tapahdu, jos aineen taitekerroin on suurempi. Prisma valmistetaan kemiallisesti ja mekaanisesti kestävästä aineesta. Yleisimmät käytössä olevat refraktometriprismat on valmistettu spinellistä, mutta niitä on pikkuhiljaa alettu vaihtamaan safiirilasilla varusteltuihin refraktometreihin. Safiirilasi on kestävämpää materiaalia verrattuna spinelliin. Safiirilasisia refraktometrejä on käytetty vasta niin vähän aikaa, ettei varsinaista dataa ole saatu vielä niiden paremmasta kestävydestä spinelliin verrattuna. Safiirin saatavuus on myös parempi tällä hetkellä, mikä vaikuttaa mittalaitteiden toimitukseen. (Montonen, 11/2023.)



kuvio 16. Refraktometri (Process Refractometer For Concentration Measurement of Liquids, 2017.)



Refraktometrin tärkeä ominaisuus on myös sen varusteltu painepesujärjestelmä, joka varmistaa laitteen prisman pysymisen puhtaana. Polttoliipeäkierrrossa käytettyjen refraktometrien pesujärjestelmä toimii puhtaalla höyryllä. Pesujärjestelmä on tärkeä osa mittalaitteen prosessia, koska sillä saadaan eliminoitua musta- ja polttoliipeän kerrostumien muodostuminen ja, että laite voisi toimia moitteettomasti.

### 8.3 Radiometrinen tiheysmittaus vs. refraktometri

Radiometrinen tiheysmittaus ja kuiva-ainetta mittaava refraktometri ovat kaksi täysin erilaista menetelmää, joita käytetään tiheyden mittaamiseen. Radiometrisen mittauksen ja refraktometrin tärkeimmät erot ovat:

1. Mittaus periaate
  - Radiometrinen tiheysmittaus perustuu säteilyn fysikaaliseen tai kemialliseen ilmiöön tai säteilyn läpäisyyn aineen läpi. Mittauksessa käytetään säteilylähdettä ja säteilyanturia, jotka mittaavat aineen läpi kulkevan säteilyn intensiteettiä.
  - Refraktometrin mittaus puolestaan perustuu aineen kykyyn taittaa valoa ja mittauksessa käytetään prismaalinssijärjestelmää havaitsemaan valon taittumisen kulma.
2. Soveltavuus
  - Radiometrinen tiheysmittari soveltuu nestemäisten- ja kiinteiden aineiden tiheyksien mittaamiseen.
  - Refraktometrin taas on erityisen hyvä menetelmä nestemäisten aineiden tiheyksien mittaamiseen
3. Mittausalue
  - Radiometrinen pystyy mittaamaan hyvin suuria ja pieniä tiheyksiä, kun taas refraktometri on enemmän keskittyneempi mittaamaan ns. keskikokoisia tiheyksiä
4. Mittaustarkkuus
  - Radiometrisen tiheysmittarin mittaus on yleensä tarkempi mittausmenetelmä kuin refraktometrin. Radiometrinen mittaus antaa suoraan lukeman aineen tiheydestä, kun taas refraktometri mittaa valon taittumista ja vaatii lisämuunnoksia tiheyden laskemiseksi.
5. Kustannukset
  - Refraktometrit ovat yleensä edullisempia hankkia kuin radiometriset mittalaitteet.
  - Radiometristen mittalaitteiden hankinta ja asennus vaativat viranomaisen luvan.

Radiometrisiä tiheysmittareita käytettiin ennen refraktometrien tuloa markkinoille tehtaiden polttoliipeän kuiva-aineantiheyden mittaamiseen. Radiometriset mittalaitteet ovat sen jälkeen vähitellen hävinneet polttoliipeän kuiva-aine mittauksista. Vaikka radiometriset tiheysmittarit ovat tarkkoja, on niiden suurimpana ongelmana refraktometreihin verrattuna se, että ne ovat aina luvan varaisia laitteita ja laitteiden kanssa työskentelevät tarvitsevat säteilyturvakoulutuksia ja säteilylaitteiden kanssa ja läheisyydessä työskentely ei ole turvallista. Refraktometrit ovat luotettavia,

tarkkoja, turvallisia ja huoltovapaita laitteita, jonka vuoksi ne ovat lunastaneet paikkansa polttoli-  
peän kuiva-ainemittauksissa. Molemmat menetelmät ovat kuitenkin hyviä valintoja tiettyihin so-  
velluksiin ja ovat yleisesti käytössä laboratorioissa ja teollisuudessa tiheyden mittaamiseen. Valinta  
menetelmän välillä riippuu tarpeesta tarkkuuteen, mittausalueeseen ja budjettiin.

## 9 Viskositeettimittaus

Viskositeetti kuvaa nesteen sisäistä kitkaa tietyssä lämpötilassa. Viskositeetin mittaus on harvina-  
nen mittaus polttoliipeäkierrossa. Polttoliipeän viskositeetti vaikuttaa esimerkiksi lipeän pisaran  
muodostumiseen, muotoon ja kokoon. Myös lipeän koostumus ja mahdollinen esikäsitteily vaikut-  
tavat sen viskositeettiin. Polttoliipeän viskositeetti riippuu voimakkaasti sen lämpötilasta kuin myös  
lipeän kuiva-ainepitoisuudesta. Polttoliipeän viskositeettisuudesta huolimatta, viskositeettimittaus  
ei ole pakollinen mittaus polttoliipeäkierrossa. Viskositeetti pystytään selvittämään ilman mittaria  
myös laskennallisesti esimerkiksi, kun tiedetään nopeus, tiheys tai voima. Näistä suureista on tie-  
dettävä vähintään kaksi, että viskositeetti voidaan laskea. (Pihkala, 2004.)

Viskositeettimittaus pystytään suorittamaan esimerkiksi ViscoScopen mittausantureilla. Anturit  
ovat suunniteltu tarkoiksi, luotettaviksi ja huoltovapaiksi. Antureihin pystytään integroimaan omi-  
naisuus, mikä mittaa prosessin lämpötilaa samanaikaisesti viskositeetin kanssa.

## 10 Olosuhteet ja niiden muutokset polttoliipeäkierrossa

Polttoliipeäkierron olosuhteet ovat erittäin äärimmäiset mittalaitteille. Polttoliipeä itsessään on  
erittäin vahvaa ja syövyttävää ainetta. Lipeälinja on pidettävä myös korkeassa ja oikeassa lämpöti-  
lassa toimiakseen ja estääkseen lipeän jähmettymisen ja näin ollen putkistojen tukkeutumisen  
sekä estääkseen lipeän kiehumisen. Korkean lämpötilan ja syövyttävän lipeän lisäksi polttoliipeä-  
kierrossa olevien mittalaitteiden on kestettävä linjan korkeaa painetta. Olosuhteiden vuoksi mitta-  
laitteita suunniteltaessa on otettava huomioon ainakin seuraavat: mihin mittalaite on suunniteltu,  
laitteen lämpötila- ja painekestoisuus sekä materiaali.

Mittalaitteiden materiaali on oltava sopiva ja tarpeeksi kestävä polttoliipeänkierrossa. Hyvänä ja  
kestävänä materiaalina on todettu olevan duplex. Oikean mittalaitteen valitsemisessa täytyy ottaa  
huomioon, että se on kykeneväinen kestäämään häiriötilanteet esim. tehtaan alas ajon, josta voi

muodostua mitattavaan linjaan alipainetta. Väärin suoritettu tehtaan alas ajo voi alipaineen takia rikkoa mittalaitteen. (Ruosaari, 11/2023.)

Olosuhteiden vuoksi on myös tärkeää suunnitella pesujärjestelmä laitteille, jotka tarvitsevat sitä oikein toimiakseen. Pesujärjestelmässä käytetään polttolipeäkierrossa pesutapana höyryä polttolipeän rakenteen vuoksi. Lipeässä oleva suopa on suurin mittalaitteiden likaantumista aiheuttava syy mustalipeäkierron alkuvaiheessa.

## 11 Kunnossapito

Kunnossapidon tarkoituksena on ylläpitää ja palauttaa koneen tai yksikön toiminta sellaiseksi, että se pystyy suorittamaan sille suunnitellut ja vaaditut toiminnot. Tällaisia toimintoja ovat laitteiden elinjakson aikainen kunnan ja kustannusten hallinta sekä hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet. Hallinnollisilla toiminnoilla tarkoitetaan mm. dokumentointia, lainsäädännön vaatimia merkintöjä, turvallisuuden kirjaamisia yms. (Heinokoski, 2013.) Kunnossapito voidaan jakaa suunniteltuun kunnossapitoon tai häiriökorjaukseen.

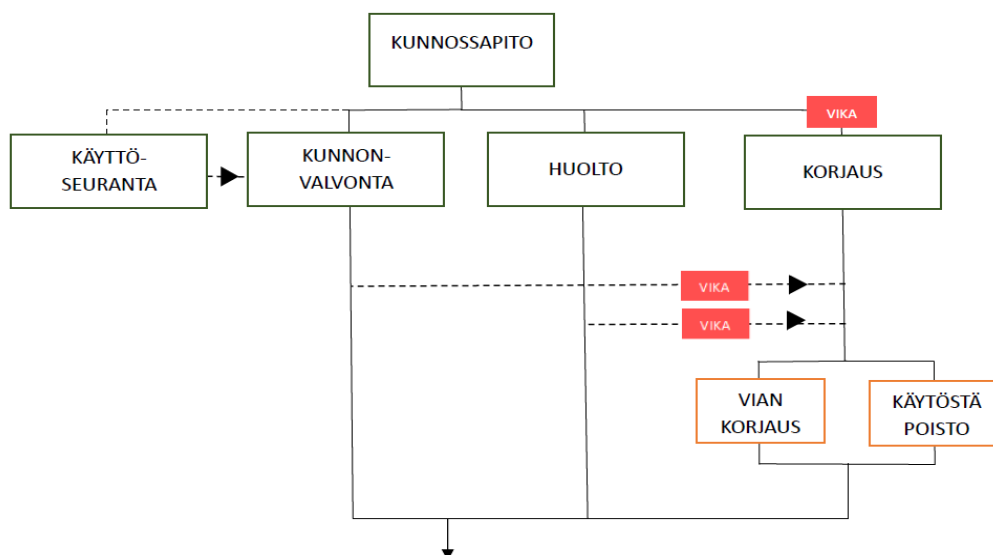
Kunnossapidon tarve yrityksille syntyy esimerkiksi seuraavista tekijöistä:

- Kohteen merkitys tuotannossa
  - Käytettävillä mittalaitteilla on kriittinen merkitys tuotannon toimivuuden kannalta.
- Ympäristöolot, -vaikutus ja sen merkittävyys
- Työ-, prosessi- ja henkilöturvallisuus
  - Tuotannon ja yrityksen toiminta on luotettavampaa, kun tapaturmia ja ilmapäästöjä tapahtuu vähemmän.
- Lainsäädäntö ja viranomaistenvaatimukset
  - Käytettävillä radioaktiivisilla mittalaitteilla ja sähkölaitteilla on oltava huoltosuunnitelma ja niiden toimintaa on seurattava. Jos mittalaitteille tehdään huolto- tai korjaustoimenpiteitä, on ne kirjattava ylös.
- Käyttöolot
  - Käyttöolosuhteet: Paine, lämpötila, virtaus ja puhtaus yms.
  - Kuormitus ja käyttöaika
- Vahingoittuminen
  - Mittalaitteet saattavat kuormittua liikaa.
- Laatuvaatimukset ja taso
  - Pyritään hyvään laatuun niin toiminnassa kuin tuotteessakin. Kunnossapidon on oltava säännöllistä tuotteen laatuun vaikuttavien laitteiden, mittareiden ja säätölaitteiden osalta.

Yllä esitettyssä listauksessa polttolipeän mittalaitteet täyttävät kunnossapito tarpeen. Polttolipeässä käytettyjen mittalaitteiden kunnossapito toimet ovat tärkeitä tehtaan toiminnan ja tuotannon kannalta. Suunnitellussa kunnossapidossa tärkeää on mittalaitteiden ennakoiva ja ehkäisevä kunnossapito. Mittalaitteille tehdään kunnonvalvontaan eli laitteiden toimintaa seurataan, että ne toimivat ja tuottavat haluttua dataa. Polttolipeälinjasta pystytään ottamaan myös näytteitä laboratorioon varmistaakseen esimerkiksi kuiva-aine mittareiden luotettavuuden. (Heinokoski, 2013.)

Häiriötilanteissa tai laitteen rikkoutuessa mittalaitteet pystytään vaihtamaan tehtaan käynnissä oloaikana uuteen, pois lukien polttolipeän virtausmittaus. Lain määräyksen vuoksi suurin osa polttolipeässä käytetyistä mittalaitteista on kahdennettu eli mittalaitteita on 2–3 kpl linjassa, esimerkiksi 3 kuiva-ainemittaria, 2 lämpötila-anturia, 2 painemittaria yms. Kahdennuksen avulla pystytään vertailemaan mittalaitteiden tuloksia vastaavako ne toisiaan ja lisäksi kahdennuksen vuoksi mittalaitteita pystytään vaihtamaan tehtaan ajonaikana ja tehdas ei pysähdy yhden laitteen rikkoutuessa. Koska virtausmittausta ei pystytä huoltamaan ja vaihtamaan tehtaan käynnissä oloaikana, sen rikkoutuessa tuotantoa pystytään vielä kuitenkin ajamaan ja hallitsemaan paine- tai lämpötilamittauksilla sekä käsiajolla.

Polttolipeässä käytetyt mittalaitteet huolletaan tai niiden kunto tarkistetaan vähintään kerran vuoteen, yleensä vuosihuolto seisakissa. Suurimmassa osassa tehtaissa painelähtetimet vaihdetaan uusiin joka vuosi. Muuten mittalaitteiden kunto tarkastetaan, laitteet kalibroidaan ja turva-automaatiojärjestelmään kuuluvat mittalaitteet testataan toimivuudeltaan. Oikealla kunnossapidolla ja oikeita mittalaitteita käyttämällä, mittalaitteen elinkaari ikä voi olla jopa 5-15vuotta. (Heinokoski, 2013.)

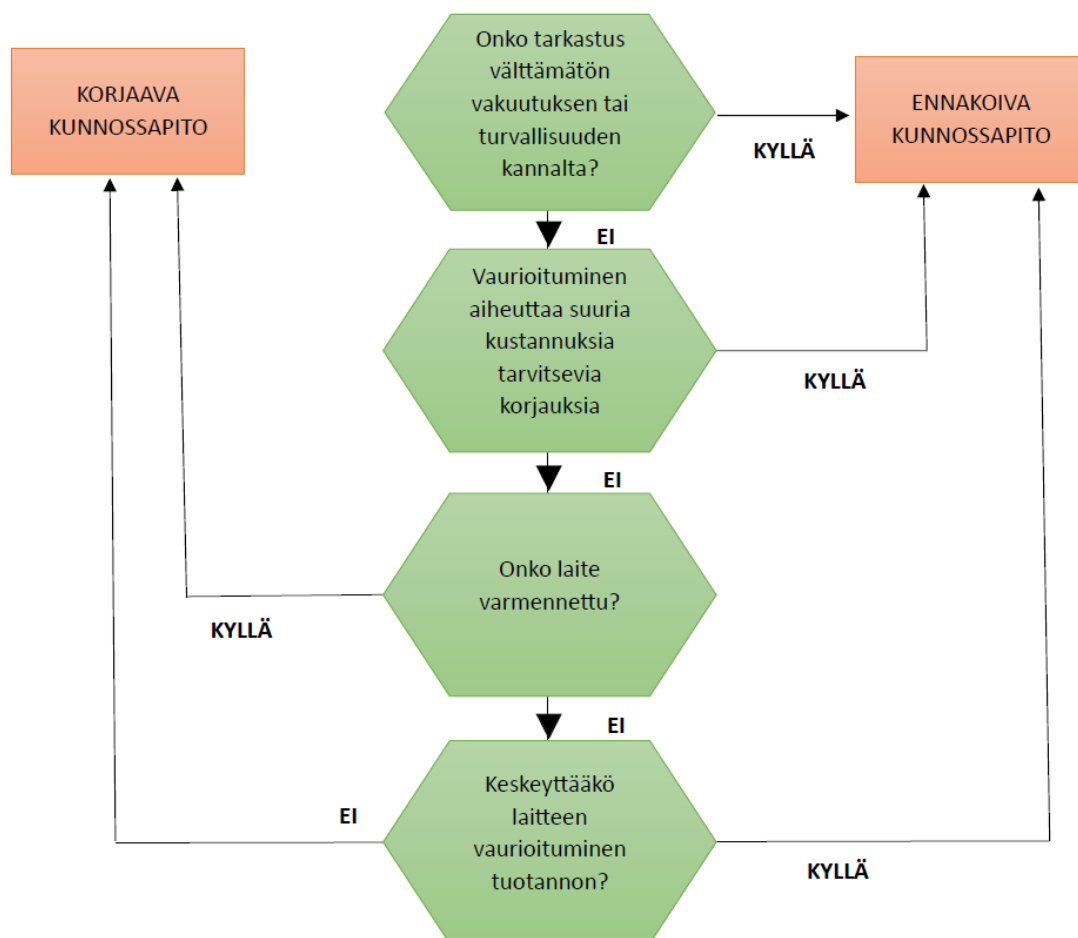


kuvio 17. Kunnossapito.

## 11.1 Ennakkohuolto kunnossapidossa

Kaikki ne toimet, joilla pyritään ennen vikaa ylläpitämään koneen tai -laitteen kuntoa tai palauttamaan se sellaiseen kuntoon, johon se on suunniteltu, on ennakkohuoltoa. Ennakoivan kunnossapidon tehtävät perustuvat toistuviin analyyseihin tai ennusteisiin ja kohteen toimintakunnon kannalta merkittäviin heikkenemistä kuvaaviin muutoksiin. Tavoitteena ennakkohuollossa on laitteiston käytettävyyden parantaminen. On tärkeää määritellä kunnossapidon huoltohetket niin, että laitteiden huolto ei tapahdu liian aikaisin eikä liian myöhään eli pyritään löytämään laitteiden huollolle sopiva ajoitus.

Ennakkohuollon perusteet perustuvat yrityksen kunnossapitostrategiaan ja sen on pyrittävä olemaan osa kunnossapidon päivittäisiä toimia. Ennakkohuollon perusteita voivat olla viranomaisten määräykset ja tuotannolle tärkeät eli kriittiset laitteet. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimiset mittalaitteet kuuluvat tuotannolle tärkeisiin laitteisiin.



kuvio 18. Arviointikaavio laitteen kunnossapitoperiaatteen valitsemiseen.

## 11.2 Mittalaitteiden luotettavuus ja käytettävyys

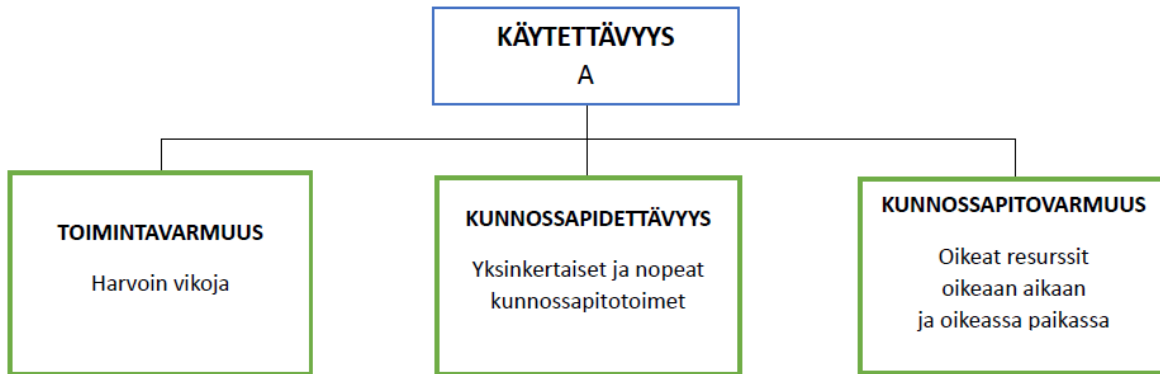
Kunnossapidon tarkoituksena on parantaa laitteiden luotettavuutta pitämällä yllä mahdollisimman hyvää käytettävyttä. Mittauslaitteiden on toimittava luotettavasti ja niiden antamat tulokset eivät saa ylittää suurimpia sallittuja virheitä, mitä laitetyypin ominaisuuksiin ja käyttötarkoituksiin on määritelty. Mittalaitteen luotettavasta toiminnasta ja lain vaatimuksista vastaa toiminnanharjoittaja eli laitteen valmistaja, valtuutettu edusta, maahantuoja tai jakelija. Toiminnanharjoittaja vastaa siitä, että mittalaitte soveltuu sille haluttuun käyttötarkoitukseen ja -ympäristöön ja sen luotettavuus varmennetaan määräaikoina sekä aina tarvittaessa. (Mittauslaitelaki, 2023.) Mittausten luotettavuutta saadaan ylläpidettyä ennakoivalla kunnossapidolla ja mittalaitteiden säännöllisellä kalibroinnilla.

Mittalaitteen käytettävyys kertoo, kuinka varmasti laite toimii, kun otetaan huomioon sen seisonta-aika. Käytettävyydellä pidetään yllä laitteiden ja järjestelmien korkeaa käytettävyttä ja käyttöastetta. Laitteiden käytettävyyteen vaikuttaa toimintavarmuus, kunnossapidettävyyys ja kunnossapitovarmuus. Käytettävyyttä voi olla hetkellinen-, aikaperusteinen- tai tuotannon määrään perustuva käytännöllisyys. (SFS- EN 13306:2017). Toimintavarmuudella pidetään yllä laitteiden alhaista vikatasoa ja vähennetään vikoja. Kunnossapidettävyydellä tuotetaan yksinkertaisia ja nopeita kunnossapitotoimenpiteitä laitteille ja kunnossapitovarmuus varmistaa, että toimitetaan oikeat resurssit oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan. (Heinokoski, 2013.)

Mittalaitteiden luotettavuutta ja käytettävyttä molempia tarvitaan mittalaitteiden toiminnassa. Luotettavuutta ja käytettävyttä voidaan kuvata yhdellä sanalla: käyttövarmuus. Käyttövarmuus tarkoittaa kykyä toimia vaadittaessa halutulla tavalla. Se on tärkein tuotantotehokkuuden osatekijä kunnossapidon kannalta.

Mittalaitteiden käyttövarmuutta pystytään tarkastelemaan erilaisilla testeillä ja näytteidenotolla. Polttolipeästä otetaan näyte, joka toimitetaan laboratorioon tutkittavaksi. Laboratorioon toimitetusta näytteestä pystytään tutkimaan esimerkiksi polttolipeän kuiva-ainepitoisuus. Kuiva-ainepitoisuus näytettä tutkimalla pystytään varmistamaan refraktometrien toimivuus. Muiden

polttoliipeäkierrossa käytettyjen mittalaitteiden (paine-, lämpö-, virtausmittaus) toimivuus ja luotettavuus todetaan kalibroinnilla tai turva-automaatiotesteillä vuosihuolto seisakissa. (Heinokoski, 2013.)



kuvio 19. Käyttövarmuus.

### 11.3 Mittalaitteiden kunnossapito

Jaksotettu kunnossapito on parasvaihtoehto mittalaitteiden huoltoon. Jaksotetun kunnossapidon tulee sisältää kuntoon perustuvan-, korjaavan- ja käyttäjäkunnossapidot. Jaksotetulla kunnossapidolla mahdollistetaan kustannustehokkuus, laiterikkojen minimointi ja huollon ennakointi. (SFS-EN 13306:2017)

#### 11.3.1 Lämpötila-anturin kunnossapito

Lämpötila anturit ovat pääsääntöisesti sähköisesti sekä mekaanisesti erittäin luotettavia laitteita. Niiden huoltotarve on vähäinen. Lämpötilaa mitataan yleensä vastuksen muutokseen perustuvalla anturilla. Vastuksen muutos on kalibroitu lämpötila-asteikolle. (Heinokoski, 2013.)

Lämpötila-antureiden huollossa ja asennuksessa tulee ottaa huomioon seuraavat asiat:

- Anturin ja mittarin tulee olla sopivia yhteen ja prosessin oloihin.
  - Anturielementtien tulee kestää hyvin polttoliipeäkierrosta tulevaa mekaanista rasitusta.
  - Paine- ja lämpötilakestoisuuden on oltava oikea.

- Anturi tulee asentaa prosessikohteeseen oikein.
  - Väärin asennettu laite antaa virheellisen tuloksen ja voi mahdollisesti rikkoutua.
  - Anturi tulee olla helposti ja turvallisesti irrotettavissa huoltotoimenpiteitä varten (kalibrointi, tarkastus, rikkoutuneen laitteen vaihtaminen uuteen).
- Anturit tulee pitää puhtaina.
  - Polttolipeäkierrrossa anturi on asennettu suojataskuun. Suojan ja suojaputken tulee olla ehjiä ja vuotamattomia. Lämmönsiirtoa parantavaa ainetta suositellaan anturin ja suojaputken väliin. Lämmön siirtyminen prosessista anturiin täytyy olla hyvä, suojauksista huolimatta.
  - Eristystä tulee välttää. Eristys heikentää oikean lämpötilan saantia anturille.
- Anturin kytkentäkotelon luo on päästävä helposti ja turvallisesti.
- Kaapelitiivisteet tulee olla ehjet
  - Anturin johdotuksessa tulee käyttää joko vahvavirta- tai instrumenttikaapeleita. Kaapeleiden tulee olla mieluiten suojattuja sekä parikierrettyjä.
  - Johtimien poikkipinta-ala täytyy olla riittävä
  - Johdotukset on vietävä erillään vahvavirtajohtimista, sillä niistä voi indusoida häiriötä anturien mittaussiirtoon ja näin ollen antaa vääriä tuloksia.

### 11.3.2 Virtausmittauksen kunnossapito

Virtausmittareiden korjaaminen ja kunnossapito on melko vaikeaa, koska niiden irrottaminen kohteesta vaatii tavallisesti tuotannon keskeytyksen. Mittareita pystytään kuitenkin huoltamaan ja vaihtamaan tehtaan käynnissä oloaikaan, jos on tehty ns. ohituslinja. Ohituslinjan avulla pystytään virtaus ohjaamaan toista reittiä pitkin pääsemään määränpäähänsä. Ohituslinjat ovat kuitenkin harvinaisia, niiden tuomien lisäkustannuksien vuoksi. Vaihdeettavan virtausmittarin putkisto on tyhjennettävä ja suljettu venttiilien avulla, jolloin korjaus toimenpiteet pystytään suorittamaan turvallisesti turvaohjeita noudattaen tehdasta pysäyttämättä. Virtausmittausten huollossa täytyy ottaa huomioon, että mittareiden varaosat ovat melko kalliita ja niiden toimitusajat ovat pitkiä. (Heinokoski, 2013 & Pihkala, 2004.)

Kalibroitu ja oikein huollettu virtausmittari on usein huoltovapaa ja luotettava. Virtausmittari pystyy toimimaan ilman korjaustoimenpiteitä pitkiäkin aikoja. Polttolipeän syövyttävyyden vuoksi mittarit saattavat kuitenkin kokea vuorausten kulumista virtauksesta. Sen vuoksi on tärkeää ennakkohoitoa suunnitellessa ottaa huomioon mittalaitteisiin vaikuttavia ulkoisia seikkoja.

Polttolipeäkierrrossa olevien virtausmittareiden tyypillisiä ongelmia voivat olla:



- Asennuspaikan valinta
  - Polttoliipeätä voi muodostua kaasukuplia, jotka häiritsevät mittausta ja mittaria. Ratkaisuna kuplien poistoon on ennen mittausta tai mittauksen sijoittaminen sellaiseen kohtaan, missä painetta on riittävästi vähentääkseen kaasun vaikutuksia.
  - tuotteen sakkautuvuus. Polttoliipeän täytyy olla tietyn lämpöistä pystyäkseen virtaamaan.
  - Huollettavuus. On otettava huomioon mittalaitteiden luokse päästävyys ja putkiston tyhjennys. Lisäksi mittaria ei tavallisesti pysty huoltamaan tehtaan käynnissä oloaikana.
  - Mittari on sijoitettu niin, että tarvittavia suoria osuuksia ei ole riittävästi ennen mittalaitetta tai sen jälkeen. Jos suoria osuuksia ei ole riittävästi ennen mittalaitetta tai sen jälkeen virtausmittari ei näytä oikeaa virtaustulosta.
- Mittarin aukko kasvaa umpeen.
  - Yleinen ongelma magneettisessa virtausmittauksessa.
- Magneettisen määrämittarin käytön estää polttoliipeässä puuttuva johtokyky.
- Mittaustapojen tarkkuus, toistuvuus ja mitta-alueet.
- Asennuksesta aiheutuneet virheet.
  - Maadoitusta ei ole tehty oikein.
  - Mittalaitteen väärä asento.
  - Liian lyhyet suorien putkien osuudet.

Virtausmittauksien tarkkuuksiin vaikuttavat useat tekijät. Polttoliipeäkierrossa tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä on mm. kaasukuplat, putkiston vajaatäyttö, mittarin likaantuminen, tuotannon pysähtyminen, joka saa magneettiset virtausmittaukset näyttämään täysin väärin linjan tyhjentyessä. Vertailumittarista on hyötyä virtausmittauksia tarkasteltaessa. Ne lisäävät mittatulosten tarkkuutta, mutta aiheuttavat lisäkustannuksia yrityksille. Virtausmittareiden luotettavuutta pystytään parantamaan hyvällä kunnossapidolla ja ottamalla huomioon mittalaitteiden asennuksessa ja korjauksessa ulkoiset tekijät ja mittalaitteiden asennusohjeistukset. (Heinokoski, 2013.)

### 11.3.3 Kuiva-ainemittauksen kunnossapito

Selluteollisuudessa on välttämätöntä, että refraktometrit asennetaan niin, että niissä on pesu- ja ulosvetojärjestelmät. Pesujärjestelmät pystytään toteuttamaan vesi- tai höyrypesulla. Höyrypesu on pesujärjestelmä, mitä polttoliipeäkierrossa käytetään. Refraktometrien automaatti pesuille on olemassa suositukset. Suosituksia on olemassa pesun välille ja sen pituudelle sekä käytettäville höyrynpaineille. Pesuja pystytään tekemään myös käsinohjauksella laitteen luona. Pesun tarkoituksena on pitää puhtaana refraktometrin prisma, mikä suorittaa kuiva-ainemittauksen. Puhdas prisma on tae luotettavalle mittaukselle. Jos epäillä mittalaitteen olevan vikaantunut, ensimmäi-

nen toimenpide on yleensä lisäpesujen tekeminen laitteelle. Prisman kuntoa ja pesujen onnistumista pystytään tarkkailemaan refraktometrin lähettimeltä optisen kuvan ja laatuparametrien kautta. Samalta näytöltä voidaan seurata laitteen huollon tarvetta. Vaikka pesut olisivat suositelluissa rajoissa, voivat ne olla prismojen ja toisinaan laitteen mittapäätä kuluttavia. Sen vuoksi höyryn puhtaus ja pesujärjestelmän oikein asennus on tärkeässä roolissa mittalaitteiden kestävyteen. (Montonen, 11/2023.).

#### Recommended steam prism wash settings

CONC % value	Minimum above process pressure	Maximum above process pressure	Wash time	Recovery	Interval
10-30 %	2 bar (30 psi)	4 bar (60 psi)	2-3 s	20 s	120-360 min
30-60 %	3 bar (45 psi)	6 bar (90 psi)	3 s	20 s	20-60 min
60-90 %	4 bar (60 psi)	8 bar (120 psi)	3-5 s	20 s	15-25 min

kuvio 20. Refraktometriin pesujärjestelmän suositukset (VAISALA, 2019.)

Refraktometrit ovat pitkäikäisiä mittalaitteita. Joskus kuitenkin mittalaitteet voivat vaatia vaihtoa noin parinvuoden välein riippuen mittakohteesta mittalaitteiden kulumisen vuoksi. Tämän vuoksi on tärkeää, että refraktometreillä on ulosvetojärjestelmä suunniteltu. Ulosvetojärjestelmän vuoksi mittalaitteet pystytään vaihtamaan tehtaan käynnissä oloaikana. Tämä vaatii kuitenkin sen, että kyseisessä linjassa on ainakin yksi tai useampi refraktometri ehjänä toiminnassa. Useampi rikkiäinen mittalaite pysäyttää soodakattilan ja sitä myötä koko tehtaan tuotannon.



kuvio 21. Refraktometrin huollon vähimmäis turvallisuusvaatimukset (VAISALA, 2019.)

## 11.4 Turva-automaatio

Turva-automaatiojärjestelmiä käytetään prosessi-, kemian ja energiateollisuudessa. Poikkeuksetta lähes kaikki polttolipeäkierron käytetyt mittalaitteet kuuluvat turva-automaatiojärjestelmän piiriin lukuun ottamatta lämpötilamittauksia. Odottamattoman tapahtuman tai tapahtumasarjan vuoksi on kehitelty turva-automaatiojärjestelmä, jonka tärkein tehtävä on tuotantolaitoksen, koneiden ja laitteiden sekä ihmisten suojaaminen. Odottamattoman tilanteen sattuessa turva-automaatiojärjestelmä pysäyttää prosessin nopeasti ja hallitusti. Tärkeää on, että turva-automaatio toimii erillisenä järjestelmänä, mikä ei ole riippuvainen prosessilaitoksen automaatio-ohjausjärjestelmästä.

Selluteollisuuden prosessin ohjausjärjestelmässä voi olla erilaisia automaattisia hälytyksiä, lukituk-  
sia tai suojaustoimintoja. Kyseisiä toimia ei kuitenkaan katsota turva-automaatioksi, mutta ovat osa tuotannon riskienhallintaprosessia. Turva-automaatio riskienhallintakeinona on vasta sitten, kun muut keinot on käytetty. Prosessiteollisuudessa ja erityisesti polttolipeäkierron turva-automaatiota koskee erilaiset säädöskohdat mm. Kemikaaliturvallisuuslaki 390/2005 10§, Panielaki 1144/2016 5§ ja Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012 50§. Erityisesti valtioneuvoston asettama säädös edellyttää, että prosessissa on järjestelmä, joka havaitsee riittävän ajoissa sekä estää tai rajoittaa tapahtuman seuraukset mahdollisimman vähäisiksi. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa, 2022.)

Polttolipeäkierron yleisimmät mittalaitteet, mitkä ovat turva-automaatio piirissä on kuiva-ainetta mittaavat refraktometrit ja paineensäätöventtiilit sekä usein myös virtausmittarit kuuluvat siihen. Lainsäädännön vuoksi esimerkiksi refraktometrejä on oltava kaksi tai useampi linjassa. Tämä mahdollistaa refraktometrienvaihdon tehtaan käynnissä olo aikana. Turva-automaatiojärjestelmä sallii toisen laitteista olevan epäkunnossa, mutta toisen on toimittava moitteettomasti. Mittalaitteiden samanaikainen vioittuminen laukaisee turva-automaatiojärjestelmän päälle, mikä pysäyttää polttolipeän syötön.

Turva-automaatiojärjestelmä kuuluu kahdeksan askeleen elinkaarivaiheeseen:

0. Suunnittelu ja hankinta

- Turva-automaatiota suunniteltaessa on suunnittelu yhdistettävä laitoksen muun suunnittelun kanssa, ottaen huomioon vaadittavat säädökset, standardit ja muut tekniset spesifikaatiot.
  - Turvallisuussuunnitelma turva-automaatiosta.
  - Polttoliipeä on vahvaa kemikaalia, jonka vuoksi lupahakemus Tukesille.
1. Vaarojen tunnistaminen ja riskien arviointi
    - Turva-automaation toteuttavat turvatoiminnot on tunnistettu.
    - Riskianalyysi tekemällä ja sen avulla varaudutaan ja tunnistetaan onnettomuuden riskit.
  2. Riskinvähennystoimenpiteiden kohdentaminen
    - Turva-automaatio edellytetään, kun riskin pienentäminen on enemmän kuin kymmenkertainen.
    - Suojakerrokset eivät saa vikaantua samasta syystä ja olla riippuvaisia toisistaan.
  3. Turvatoimintojen turvallisuusvaatimukset ja vaatimusten määrittely
    - Turvatoiminnot on kuvattava yksityiskohtaisesti ja toiminto on voitava kohdentaa tunnistettuun onnettomuus- tai häiriötapahtumaan.
  4. Toteutus
    - Toteutetaan suunnitellut vaatimukset määrittelyvaiheen mukaisesti. Laitteet ja ohjelmistot yhdistetään osaksi turva-automaatiojärjestelmää.
    - Käyttö- ja kunnossapidonkäytännöt suunnitellaan.
  5. Asennus, testaaminen ja käyttöönotto
    - Turva-automaatio järjestelmät tulee testata aina ennen käyttöönottoa ja sen toiminnallinen arviointi on suoritettava loppuun asti ennen sen käyttöönottoa.
    - Mitta- ja muut kenttälaitteet on merkittävä niin, että ne ovat tunnistettavissa kentällä ja dokumentaatiosta tai tietokannasta (laitemanuaalit).
  6. Käyttö ja ylläpito
    - Tuotannossa operaattoreiden on ymmärrettävä turva-automaation toiminta ja millaisia vaaroja varten se on suunniteltu. Ohjeet hälytys-, vika- ja ohitustilanteisiin.
    - Ylläpidetään turvatoimintojen eheystaso operointikäytänteillä sekä säännöllisillä testauksilla ja tarkastuksilla. Järjestelmää seurataan ja mitataan.
  7. Muutosten hallinta
    - Tarvitaan jos muutetaan turvatoimintoa, laitetyyppi vaihtuu ja muutoksissa liittyen lukitusarvoihin, testaustapoihin ja niiden aikatauluihin. Muutoksen hallintaa tarvitaan myös prosessiolosuhteiden muuttuessa.
  8. Käytöstä poisto
    - On arvioitava millaisia laitteen käytöstä poiston vaikutukset ovat.
    - On varmistettava jäljelle jäävän turva-automaation toiminnallisuus.
- (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa, 2022.)

Prosessin ja laitosten turvallisen ja keskeyttämättömän toiminnan varmistaa luotettavasti toimiva turva-automaatio. Painelaitteiden lakisääteiset tarkastukset ja arviointi on tehtävä aina ennen painelaitteen käyttöönottoa. Nämä tehtävät kuuluvat turva-automaation toiminnan arviointiin. Turvallisuuteen liittyvien laitteiden ja järjestelmien suunnitteluiden ja toteutuksien oikeat työmenetelmät ja käyttö varmistetaan suunnittelu- ja toteutusprosessien arvioinnilla. Polttoliipeässä käytetyt mittalaitteet, jotka ovat turva-automaatio piirissä testataan aina vähintään vuosihuolto seisakin aikaan. (KIWA, N.d.)

## 12 Tutkimus polttoliipeäkierrossa käytettävistä mittalaitteista

Tutkimuksia polttoliipeän jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuudesta suoritettiin Suomen sellutehtaille ja laitteiden toimittajille, niin nettilomakekyselyn muodossa kuin suorina haastatteluiluina. Kyselyn ja haastatteluiden tarkoituksena oli kartoittaa tämänhetkistä tilannetta polttoliipeän jatkuvatoimisista mittalaitteista. Kyselyissä ja haastatteluissa pyrittiin selvittämään, minkälaisia mittalaitteita polttoliipeäkierrossa käytetään, niiden luotettavuutta, mahdollisia ongelmia ja laitteiden kunnossapidollisia kysymyksiä. Tutkimuksessa käytetty kysely löytyy opinnäytetyön liitteinä.

Tutkimuksia varten otettiin yhteyttä 13 eri sellutehtaaseen, joista kyselyyn vastasi viisi tehdasta. Näiden viiden tehtaan lisäksi polttoliipeän jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuudesta materiaalia kerättiin tehdaskäynnillä haastatteleamalla tehtaan tuotannon- ja kunnossapidon henkilöstöä. Polttoliipeän jatkuvatoimisista mittalaitteista haastatteluja tehtiin myös kolmelle mittalaitteiden toimittajalle: Endress + Hauser, Kontram ja KouvoAutomation. Toimittajien kanssa käydyt haastattelut suoritettiin Teams-ympäristössä.

Tutkimuksilla haluttiin kartoittaa tämänhetkinen tilanne polttoliipeän mittalaitteista, mutta samalla tietoutta kerättiin myös mittalaitteiden historiasta. Laitteiden toimittajilta saatiin kerättyä myös laajempaa tietoutta käytettävistä mittalaitteista esimerkiksi minkälaisia ovat yleisimmät ongelmat, kun laite saapuu heille korjautettavaksi ja mahdolliset ongelmien ratkaisut.

### 12.1 Ongelmia mittalaitteissa

Haastatteluissa sellutehtaille ja toimilaitteen toimittajille, ilmeni muutamia ongelmia polttoliipeässä käytetyissä mittalaitteissa, vaikka pääsääntöisesti polttoliipeäkierrossa käytetyt jatkuvatoimiset mittalaitteet ovat luotettavia ja huoltovapaita. Polttoliipeän ääriolosuhteissa toimivilla mittalaitteilla on erilaisia ongelmia esimerkiksi painelähettimien kalvojen kuluminen ja rikkoutuminen, magneettisen määrävirtausmittauksen vuorauksen kuluminen, lämpötila-anturin rikkoutuminen tärinästä, refraktometrien prisman kuluminen. Mittalaitteet voivat myös vaurioitua polttoliipeän lämpötilasta, linjan paineesta ja jatkuvasta liipeäkosketuksesta. Tämä tosin on harvinaista, sillä mittalaitteet on suunniteltu toimimaan polttoliipeäkierron kuumassa ja kemikaalisessa ympäristössä.

## 12.2 Tutkimustuloksia polttoliipeän jatkuvatoimisista mittalaitteista

Sellutehtaille tehdyssä kyselyssä ja laitteentoimittajia haastateltaessa, pyrittiin kartoittamaan, minkälaisia mittalaitteita polttoliipeässä käytetään. Tutkimustuloksia saatiin paine-, virtaus-, lämpötila, tiheys- ja kuiva-ainemittauksista. Vuonna 2005 Soodakattila Ry:n tehdyssä tutkimuksessa selviää, että osalla sellutehtailla on ollut käytössä viskositeettimittaus. Kyseistä mittausta ei ole käytössä tutkimukseen vastanneilla tehtailla, joten tutkimuksissa ei ole saatu dataa viskositeettimittauksien ja mittalaitteiden osalta.

### 12.2.1 Tutkimustuloksia painemittareista

Painemittauksia suoritetaan tehtailla kalvallisilla paine-erolähetimillä. Haastatteluihin vastanneilla yleisin käytetty mittalaite on PMP55 tai Rosemount. Mittaus tehdään sivulta laippayhteellä DN80. Sellutehtaita haastateltaessa selvisi, että yleisin syy miksi painemittaus vikaantuu polttoliipeälinjassa, on painemittarin kalvojen rikkoutuminen. Painemittari pystytään vaihtamaan tehtaan käynnissä oloaikana, mutta sen rikkoutuminen yksinään ei välttämättä vaikuta lipeän syöttämiseen tai tehtaan käynnissä olemiseen. Paineanturin erottamiseksi on haastatteluihin vastanneilla tehtailla erotusventtiili tai laitetoimittajalta saatu erotusratkaisu, joka mahdollistaa anturin vaihtamisen. Turva-automaatiopiiriin kuuluvat painemittarit tarkastetaan kerranvuodessa vuosihuoltoseisokissa TAJ-testeissä.

### 12.2.2 Tutkimustuloksia virtausmittareista

Kaikilla kyselyyn vastanneilla tehtailla virtausmittaus suoritetaan magneettisella määrämittarilla. Kokonaisvirtauksen mittauksen lisäksi tehtailla on seinäkohtaisia virtausmittauksia. Polttoliipeän virtausmittauksen mittauskohde on vaativa, jonka vuoksi on tärkeää, että magneettisen virtausputken materiaali on kuumaa- ja lipeää kestävä. Magneettisten määrämittareiden yleisin ongelma on, ettei elektrodit ja putkien vuoraukset kestä, mutta myös lipeän kerrostuminen mittariin aiheuttaa mittaustuloksien heikkenemistä. Lisäksi magneettiset virtausmittarit voivat rikkoutua väärin suoritetusta tehtaan alasajosta. Virtausmittareita ei pystytä huoltamaan ja vaihtamaan tehtaalla käynnissä oloaikana. Virtausmittauksen rikkoutuessa polttoliipeää pystytään kuitenkin ajamaan vielä painemittarin ja käsiajon avulla.

Laitteen toimittajaa haastateltaessa selvisi, että tulevaisuudessa magneettiset määrittärit voitaisiin korvata ultraäänimittarittareilla. Tällä hetkellä magneettisilla määrittäreilla on hieman parempi lämpötilan kestävyys, mutta tulevaisuudessa ultraäänimittareita pyritään kehittämään korkeampiin lämpötiloihin kestäviksi. Ultraäänimittareita käyttämällä pystyttäisiin vähentämään putkistojen vuorausten kulumista, sillä mittari asennettaisiin putken ulkopintaan eli putkistoissa ei olisi kuluvia osia mittareiden kohdalla. (Ruosaari, 11/2023.)

### **12.2.3 Tutkimustuloksia lämpötila-anturista**

Lämpötilamittaus mitataan suoran esilämmittimen jälkeen ennen lipeä rengasta. Mittaus suoritetaan kaikilla kyselyyn vastanneilla PT100 vastusanturilla. Kyselyssä selviää, että yleisesti lämpötilamittauksia on 2kpl linjassa. Toisessa mittarissa on säätöominaisuus ja toisessa pelkkämittaus. Mittausanturi on asennettuna suojataskuun, jonka materiaalina on duplex. Lämpötila-anturi on pääsääntöisesti luotettava mittalaite mutta rikkoutuessaan helposti vaihdettavissa uuteen. Yleisin syy rikkoutumiselle lämpötila-anturille polttoliipeäkierron haastatteluiden mukaan on tärinä, mikä rikkoo mittalaitteen vastuksen.

Lämpötilan mittaaminen polttoliipeäkierron on tärkeää, sillä lipeän on oltava oikean lämpöistä virrataksaan. Liian korkean tai matalan lämpötilan omaava lipeä saa pahimmassa tapauksessa soodakattilan pysähtymään. Tämän vuoksi on erityisen tärkeää pitää lämpötila-anturit toimivina ja polttoliipeän lämpötila oikeassa lämpötilassa.

### **12.2.4 Tutkimustuloksia radiometrisestä tiheysmittauksesta**

Radiometriset tiheysmittarit ovat erikoisinstrumenteiksi luokiteltuja mittalaitteita, jotka olivat varsin yleisiä vanhoilla tehtailla ennen refraktometrimittauksia. Tutkimuksissa selviää, ettei polttoliipeäkierron käytetä enää radiometrisiä tiheysmittareita tai jos käytetään, on ne harvinaisia. Haastatelluissa saaduissa materiaaleissa selviää, että refraktometrit ovat vieneet radiometrinen tiheysmittareiden paikan polttoliipeälinjassa. Radiometrisiä mittalaitteita kuitenkin käytetään vielä mustaliipeään sekoitettavan tuhkan tiheyden mittaamiseen tai joillakin tehtailla mittareita voi vielä löytyä polttoliipeälinjasta ennen polttoliipeän pumppaamista ruiskutettavaksi. Radiometrisiä mittalaitteita löytyy vielä tehtaalla muissa prosesseissa esimerkiksi viherliipeän mittauksessa ja massateh-

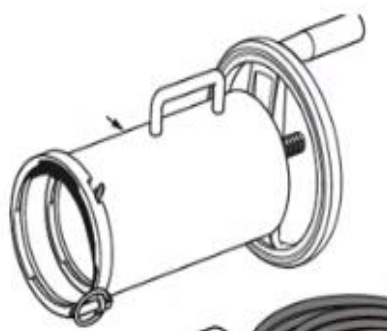
taalla. Radiometriin mittalaitteisiin tarvitaan aina viranomaisen lupa ja säteilylaitteiden huoltokoulutus, minkä vuoksi ne ovat vähentyneet tai hävinneet kokonaan polttolipeäkierron tiheyden mittauksista.

### 12.2.5 Tutkimustuloksia refraktometreistä

Haastatteluissa eniten tietoutta polttolipeän jatkuvatoimisista mittalaitteista tuli kuiva-ainetta mittaavista refraktometreistä, sillä refraktometrit mielletään polttolipeän mittalaitteista kaikista tärkeimmiksi ja kriittisimmiksi laitteiksi. Refraktometrit itsessään ovat erittäin luotettavia ja huoltovapaita laitteita, mutta polttolipeäkierron äärimmäiset olosuhteet voivat vaikuttaa negatiivisesti refraktometreihin. Yleisin syy refraktometrin huoltoon on sen vioittunut prisma.

Refraktometrejä on oltava aina vähintään 2kpl linjassa. Refraktometrit ovat yleisesti turva-automaatiojärjestelmän piirissä olevia mittalaitteita. Mittalaitteet pystytään huoltamaan tehtaan käynnissä oloaikana mutta toisen mittalaitteen on oltava huoltotilanteessa toimivassa kunnossa. Mittalaitteet huolletaan ns. ulosvetojärjestelmällä, joka on välttämätön selluteollisuudessa.

Ulosvetojärjestelmä on refraktometrin vaihtamiseen tarkoitettu laite, jolla refraktometri saadaan vaihdettua tehtaan käynnissä oloaikana turvallisesti. Kuviossa 22. on esitetty refraktometrin ulosvetojärjestelmälaite. Refraktometri on oltava aina kunnossa tehtaan käynnissä pysyäkseen. Mittalaitteen oikeanlaiseen toimivuuteen vaikuttavat sen oikea asennus, pesujärjestelmä, ympäristö ja ulkoiset tekijät.



kuvio 22. Refraktometrin  
ulosvetolaite



Prisman vioittuminen on suurin ongelma polttoliipeäkierron refraktometreissä. Vastakysymyksiä haastatteluissa tehtailta tuli aiheeseen liittyen, että voisiko prisman kulumisen johtua höyrystä tai liian kovasta paineesta. Tutkimuksissa prisman kulumista ilmenee tehtailla, joissa pesujärjestelmä on 10–12 bar paineella noin 10–15 minuutin välein. Tehtailla, joissa pesujärjestelmä on pidemmällä aikavälillä ei prisman kulumista ilmene juuri ollenkaan.

Tutkitusti eniten prisman kulumista tapahtuu heikkomustalipeässä, jossa kuiva-aineen pitoisuus on n. 20 % eli haihduttamossa prosessin alkupäässä mutta ongelmaa on ilmennyt muissakin polttoliipeäkierron mittalaitteissa. Laitteentoimittajan kanssa käydyssä keskustelussa mittalaitteen prisman materiaalia on muutettu kestävämpään materiaaliin eli safiirilasiin. Safiirilasin kestävydestä ei ole saatu tarpeeksi dataa vielä sen vähä aikaisen käytön vuoksi. Tuloksia on kuitenkin saatu safiirilasin vaihdoksen jälkeen siitä, että refraktometrien prismojen pesut on vähentynyt safiirilasin päivityksen jälkeen. Pesujen vähentyessä kulumisen hidastuu ja huoltovälit pitenevät. Safiirilasisen refraktometrin saatavuus on myös parempi, mikä lisää luotettavuutta mittausten ylläpitoon. (Montonen, 11/2023.)

Laitteentoimittaja myös painotti, että pesujärjestelmän toteutus ja höyryn laatu vaikuttavat suuresti prisman kulumiseen. Prisman puhdistukseen käytetty höyry on oltava puhdasta höyryä ilman epäpuhtauksia. Pesujärjestelmässä on noudatettava suositeltuja rajoja ja pidettävä huolta pesulinjasta eli sen eristyksistä, lauhteenpoistosta ja sen syntymisen estosta sekä suodattimia olisi hyvä olla mahdollisten putkien seinämistä tulevan ja muun lian nappaamiseen, sillä epäpuhtaudet kulluttavat myös prismaa. Prisma ja joskus myös mittapää voivat vaatia vaihtoa polttoliipeäkierrossa noin parin vuoden välein. Refraktometrit ovat ainoita mittalaitteita polttoliipeän jatkuvatoimisista mittalaitteista, jotka lähetetään huoltoon rikkoutuessaan.

### **12.3 Käytettävyys vs. luotettavuus**

Sellutehtaille tehdyssä kyselyssä selvisi, että mittalaitteiden luotettavuutta pidetään tärkeämpänä ominaisuutena kuin käytettävyttä, vaikka molemmat ominaisuudet ovat tärkeitä laitteiden toimimisen kannalta. Luotettavuutta pidetään tärkeämpänä ominaisuutena sen vuoksi, että halutaan luottaa mittalaitteiden tuottamiin mittaustuloksiin. Laboratorio tuloksia vertailemalla voidaan

luottaa mittalaitteiden tuottamaan dataan. Mittalaitteiden on oltava tarkkoja, sillä niiden tuottavan luotettavan datan avulla pystytään säätämään polttoprosessia oikeaan suuntaan. Kun mitta-laite ja sen antamat tulokset ovat tarkkoja, pystytään välttämään prosessiongelmiä.

Kyselyssä tuloksia tuli myös käytettävyyden kannalta. Kyseisessä tehtaassa käytettävyys oli etusijalla luotettavuuden sijaan, sillä polttoaineen syötössä ei tarvita ehdottoman tarkkoja säätöjä ja mittaustuloksiin oltiin tyytyväisiä, jos ne olivat toistuvia ilman suurempia heittoja. Luotettavuuden ja käytettävyyden tärkeyttä mietittiin myös eri mittalaitteiden kohdilla. On tärkeää, että kuiva-ainepitoisuuksia mittaavat refraktometrit toimivat luotettavasti ja moitteettomasti, kun taas lämpötilaa mittaava anturi toimii käytettävyyden veroisesti eli tuloksen ei tarvitse olla tarkka vaan toistuva ilman suurempia muutoksia ja anturin oltava toimiva mittaustulosten saamiseksi.

Haastattelussa osa haastateltavista halusi painottaa, että ennen mittalaitteita tehtiin käytettävyyttä ajatellen, jolloin se oli tärkeämpi ominaisuus kuin luotettavuus. Ajan mittaan mittalaitteet eivät ole paljoa muuttuneet, joten niiden käyttövarmuus on taattu eli nykyään panostetaan laitteiden luotettavuuteen sillä mittalaitteiden toimiva käytettävyys, on varmistettu vuosikymmenien ajan.

## **12.4 Huolto ja turvallisuus**

Kaikkia polttolipeän mittalaitteita ei pystytä huoltamaan tai vaihtamaan tehtaan käynnissä oloaikana esimerkiksi virtausmittaria. Vaikka tehdas olisi pysähdyksissä tai mittalaitteet huollettaisiin tehtaan käynnissä oloaikana, on turvallisuuteen panostettava ja ohjeistuksia noudatettava. Laitteita huoltaessa ja käytettäessä on aina turvallisuuteen kiinnitettävä huomiota. Kohteita ei saa huoltaa ennen kuin kohde on tehty huoltoturvalliseksi. Ennen kohteen huoltamista on tehtävä henkilökohtainen vaarojenarviointi ja saatava työlupa kohteen kunnostamiseen.

Haastateltavat halusivat painottaa että, polttolipeäkierron mittalaitteita huoltaessa on aina kiinnitettävä huomiota suojavaatetukseen, sillä prosessiputkissa kulkee kuumaa höyryä ja syövyttävää lipeää. Mittalaitteita huoltaessa on noudatettava valmistajan turvallisuus- ja käyttöohjeita, joiden noudattaminen on aina käyttäjän vastuulla. Linjasta pois otettuja tai vaihdettuja mittalaitteita ei huollateta, vaan ne vaihdetaan uusiin, poikkeuksena refraktometrit. Refraktometrit lähetetään laitteen toimittajalle kunnostukseen, josta ne palautetaan takaisin tehtaalle.

Mittalaitteiden huoltaminen tehtaan käynnissä oloaikana ei ole ideaalitalanne ja niitä ei huolleta muuta kuin laite on rikkoutumassa tai on jo rikki. Mittalaitteiden huoltaminen pystytään kuitenkin hoitamaan turvallisesti.

## 12.5 Mittalaitteiden elinkaari

Jotta mittalaite voisi toimia halutulla tavalla, on sen oltava polttolipeäkiertoon oikeanlainen. Vääränlaisen ja väärin asennetun mittalaitteen elinkaari ei ole pitkä. Sellutehtaille esitettyssä kyselyssä pyrittiin selvittämään kuinka tehtaot varmistavat, että polttolipeäkierrossa käytetyt mittalaitteet toimivat halutulla ja vaadittavalla tavalla ja kuinka pitkä niiden elinkaari usein on.

Tehtaiden vastaukset ovat yhtenäisiä siinä, että ennakkohuollolla ja kunnossapidolla on suuri vaikutus mittalaitteiden elinikään. Kyselyyn vastanneista yksi tehdas on kuitenkin ilmoittanut, että laitteiden elinkaaren pituuteen ei ole tarvinnut panostaa, sillä mittaukset ovat toimineet aina hyvin.

Painelähtimet vaihdetaan uusiin joka vuosihuoltoseisakissa. Muut mittalaitteet tarkastetaan vähintään kerran vuoteen ja tarvittaessa vaihdetaan uusiin. Mittalaitteiden elinikä voi kuitenkin olla polttolipeäkierrossa parhaimmillaan 3–10 vuotta riippuen mittalaitteesta. (Montonen & Ruosaari, 11/2023).

Polttolipeäkierrossa olevat mittaukset ovat kahdennettuja eli niiden antamaa dataa voidaan verrata keskenään, minkä avulla pystytään päättelemään myös, jos mittalaite on rikkoutumassa tai tarkkuus heittelee. Jatkuvatoimisten mittausten tuloksia verrataan myös laboratorioanalyysiin tietyin väliajoin eli laitteiden elinkaari varmistetaan mittaustulosten oikeellisuudella sekä tarkastuksilla ja huolloilla.

## 13 Pohdinta

Työn tavoitteena oli tutkia polttolipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuutta, toiminnallisuutta, minkälaisia mittalaitteita polttolipeäkierrossa käytetään ja miten olosuhteet vaikuttavat mittalaitteisiin. Tavoitteiden lisäksi toimeksiantaja halusi, että työssä voitaisiin kartoittaa

mittalaitteiden kunnossapitoa ja turva-automaatiota sekä kartoittaa uusia mahdollisia mittalaitteita polttolipeäkiertoon. Tuloksena tavoitteisiin saatiin, että polttolipeäkierrossa on tärkeää mitata lipeän virtausta, lämpötilaa, painetta ja ominaisuuksia esim. kuiva-ainepitoisuutta. Näistä mittauksista kuiva-ainepitoisuudenmittaus koettiin kaikista tärkeimmäksi mittaukseksi polttolipeäkierrossa.

Kyselyn tuloksien ja haastatteluiden perusteella voidaan todeta, että polttolipeäkierrossa käytetyt mittalaitteet ovat pääsääntöisesti erinomaisen käyttövarmuuden omaavia laitteita. Mittalaitteen suunnittelu- ja rakennusvaiheessa on tärkeää ottaa huomioon mittalaitteen käyttötarkoitus ja missä olosuhteissa laite tulee toimimaan. Laitteen tärkeimmät ominaisuudet polttolipeäkierrossa toimiakseen on sen lämpötila- ja painekestoisuus sekä materiaalin on pystyttävä kestämään lipeän ominaisuudet.

Työssä onnistuttiin vastaamaan asetettuihin tavoitteisiin. Opinnäytetyön tuloksena syntyi käsitys polttolipeäkierrossa käytettävistä mittalaitteista, niiden luotettavuudesta, kunnossapidon tarpeista sekä laitteiden turva-automaatiojärjestelmästä. Työssä onnistuttiin kartoittamaan myös uutta mittaustapaa polttolipeäkierron virtausmittauksen magneettisen määrämittarin tilalle.

Työn alussa haasteita oli löytää kirjallisuutta opinnäytetyön aiheesta. Aiheen kirjallisuus painottui alkuun vanhoihin opinnäytetöihin ja KnowPulpiin. Polttolipeä termillä kirjallisuutta aiheesta ei löydy juurilainkaan, vaan oli osattava etsiä aiheeseen tietoutta esimerkiksi mustalipeän ja soodakattilan aiheiden avulla. Työn tekemistä kuitenkin helpotti aiheesta aiempi tietämys. Lisäksi työssä haasteita aiheutti kyselytulosten saaminen sellutehtailta. Sellutehtaita täytyi muistuttaa kyselyyn vastaamisesta, jonka jälkeen vastauksia vasta kyselyyn saatiin.

Opinnäytetyö on kieliopillisesti oikeinkirjoitettua ja työssä on pyritty selittämään lukijalle mahdollisesti tuntemattomat käsitteet selkeästi. Työn tulokset on yritetty esittää mahdollisimman selkeästi, jotta työn tilannut toimeksiantaja Suomen Soodakattilayhdistys Ry. pystyisi käyttämään tuloksia hyödykseen tulevaisuudessa.

### 13.1 Opinnäytetyön luotettavuus

Kvalitatiivisissa tutkimuksissa on kiinnitettävä huomiota aineiston merkittävyyteen ja riittävyteen sekä tutkimustulosten analyysin kattavuuteen, arvioitavuuteen ja toistettavuuteen (Eskola J. & Suoranta J., 2022). Tämän opinnäytetyön tietoperustan luotettavuuden ja laajuuden takaamiseksi olen työssä hyödyntänyt lähteinä mm. kirjallisuutta, vanhoja tutkimuksia, laitetoimittajien kotisivuja sekä ulkomaisia lähteitä. Olen opinnäytetyössä pyrkinyt panostamaan lähteiden luotettavuuteen ja laatuun sekä lähteiden käytössä on noudatettu lähdekriittisyyttä. Työn lähteiden luotettavuutta lisää se, että samoja teoreettisia asioita tulee esille useissa eri lähteissä.

Sellutehtaille tehdyssä kyselyssä ja laitetoimittajille tehdyssä haasteluissa luotettavuus riippuu vastauksien antajasta, laadusta ja tarkkuudesta. Koska sellutehtaille tehty kysely on suoritettu anonymisti, ei voida tietää vastanneiden henkilöiden asiantuntijuutta aiheeseen. Kysely on kuitenkin kohdennettu ja jaettu vain Suomen sellutehtaiden käyttöön, joten opinnäytetyössä halutaan uskoa kyselytulosten luotettavuuteen ja vastanneiden henkilöiden tietouteen aiheesta. Kyselyn vastauksien ja laitetoimittajilta haastatteluissa saatujen tuloksien luotettavuutta lisää se, että tutkimustulosten ja kirjallisuuskatsauksen antama teoreettinen tieto tukevat toisiaan.

### 13.2 Eettisyys

Opinnäytetyön tekoon liittyy monia eettisiä kysymyksiä, jotka on otettava huomioon työtä tehdessä. Eettisesti hyvä tutkimus edellyttää, että opinnäytetyön tutkimusenteossa noudatetaan hyvää tieteellistä käytäntöä, mitä tässäkin opinnäytetyössä on pyritty noudattamaan eri lähteitä käytettäessä. Eri tekijöiden lähteitä on käsitelty kunnioittaen sekä käytettyjen lähteiden luotettavuutta on pyritty arvioimaan kriittisesti.

Opinnäytetyötä varten luotiin sähköinen kysely Suomen sellutehtaille. Kyselyyn vastaaminen suoritettiin anonymisti, jotta yritysten mahdolliset liikesalaisuudet eivät leviäisi tutkimuksen aikana ja mukana. Tämän vuoksi opinnäytetyössä ei mainita kyselyyn osallistuneita Suomen sellutehtaita nimellä lainkaan. Opinnäytetyössä on pystytty takaamaan henkilöiden ja yritysten yksityisyyden suojeleminen ja heille on kerrottu mihin tarkoitukseen tutkimustuloksia käytetään.

Opinnäytetyö on tehty Jyväskylän ammattikorkeakoulun eettisiä periaatteita noudattaen.

## Lähteet

Best Practices, Safe Drive Process Refractometer Generation 2.1. 2019. VAISALA. Refraktometrin käyttöopas. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/SD-Best-Practices-IM-EN-SDGEN21-BP.pdf>.

Eskola J., Suoranta J. 2022. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Turenki: Vastapaino.

Hasanen, M. 2020. Seisokkivälit sulfaattisellutehtaan kemikaalien talteenotossa. Diplomityö, Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto, energiatekniikan koulutusohjelma. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/162050/dippaty%C3%B6\\_viimeinen.pdf](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/162050/dippaty%C3%B6_viimeinen.pdf).

Heinokoski, R. 2013. Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito. Helsinki: Opetushallitus.

Härkönen, A. 2019. Mäntyöljyn prosessimittauksen tarkastelu. Opinnäytetyö, AMK, Lapin AMK, tekniikan ja liikenteen ala, sähkö- ja automaation koulutusohjelma. Viitattu 11.11.2023. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/207812/AH%C3%A4\\_opinn%C3%A4ytety%C3%B6.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/207812/AH%C3%A4_opinn%C3%A4ytety%C3%B6.pdf?sequence=2).

KnowPulp. 2023. Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Versio 21.0. <https://www.knowpulp.com/>.

Kukka T. 2019. Soodakattilan palamisen optimointi. Diplomityö, Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 10.11.2023. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159655/Diplomity%C3%B6%20Tuure%20Kukka.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Magnetic Flow Meter Basics. 2019. Assured Automation. Viitattu 29.11.2023. <https://assuredautomation.com/news-and-training/magnetic-flow-meter-basics/>.

Melanen, E. 2017. Sellutehtaan sivuvirtojen hyödyntäminen uusiutuvana energiana. Kandidaattityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 28.10.2023. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/134518/Kandidaatintyo\\_Melanen\\_Essi.pdf?sequence=2](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/134518/Kandidaatintyo_Melanen_Essi.pdf?sequence=2).

Mertakorpi, A. 2018. Rikkihapon valmistus tapana hallita rikki-natriumtasetta sulfaattisellutehtaalla. Kandidaattityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energiatekniikan koulutusohjelma. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158950/kandidaatinty%C3%B6\\_aatu\\_mertakorpi.pdf?sequence=1](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158950/kandidaatinty%C3%B6_aatu_mertakorpi.pdf?sequence=1).

Mittauslaitelaki. 2023. Tukes säädöstietopalvelu. Verkkosivu. Viitattu 27.11.2023. <https://tukes.edilex.fi/fi/lainsaadanto/20110707>.

Montonen, R. 2023. Product Manager. Kontram Oy. Haastattelu 16.11.2023

Nesteiden, kaasujen ja höyryn virtausmittaus. N.d. Endress+Hauser. Verkkosivu. <https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/nesteiden-kaasujen-h%C3%B6yryn-virtausmittaus>.

Painemittarit. N.d. Hydraulikkakauppa. Verkkosivu. Viitattu 20.11.2023. <https://www.hydraulikkakauppa.fi/tuotteet/pneumatiikka/painemittarit-pneumatiikka/>.

Pihkala, J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. Vantaa: Dark Oy.

Pressure Measurement. N.d. Emerson. Verkkosivu. <https://www.emerson.com/en-gb/automation/measurement-instrumentation/pressure-measurement>.

Pressure Measurement. N.d. Endress+Hausser. Verkkosivu. <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/pressure>.

Process Refractometer For Concentration Measurement of Liquids. 2017. Slideshare a Scribd company. Julkaistu 10.01.2013. Viitattu 29.11.2023. <https://www.slideshare.net/InstrumentSpecialties/process-refractometer-for-concentration-measurement-of-liquids>.

Prosessirefraktometri: usein kysytyjä kysymyksiä. N.d. VAISALA. Verkkosivu. <https://www.vaisala.com/fi/process-refractometer-frequently-asked-questions>.

PT100/PT1000 resistance thermometer. N.d. WIKA. Verkkosivu. [https://www.wika.ca/landing-page\\_pt100\\_pt1000\\_en\\_ca.WIKA](https://www.wika.ca/landing-page_pt100_pt1000_en_ca.WIKA).

Radiation-based Density. N.d. VEGA. <https://www.kouvo.fi/sites/default/files/Mi-nitrac%2038864.pdf>.

Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M., Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: Gummerruksen kirjapaino Oy.

Ruosaari, O. 2023. Manager, Pulp & Paper Sales. Endress+Hauser. Haastattelu 20.11.2023.

SFS-EN 13306:2017 Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Suomen Standardi-soimisliitto SFS. Viitattu 21.11.2023.

Suomen metsäteollisuuden historia tiivistettynä. 2012. Ammattilehti.fi. Julkaistu 01.04.2012. Viitattu 01.11.2023. <https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?4056>.

Suomen Soodakattilayhdistys Ry. N.d. Yhdistyksen kotisivu. <https://soodakattilayhdistys.fi/>.

Tiheysmittaus. N.d. Kouvoautomation. Verkkosivu. Viitattu 20.11.2023. <https://www.kouvo.fi/tuotteet/tiheysmittaus>.

Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. 2022. Tukes opas. Viitattu 27.11.2023. <https://tukes.fi/turva-automaatio-prosessiteollisuudessa>.

Turva-automaation tarkastus- ja arviointipalvelut. N.d. KIWA. verkkosivu. Viitattu 27.11.2023. <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelutyypit/tarkastus-ja-varmennus/turva-automaatio/>.

Ultrasonic Flow Meter Explained, Working Principles. N.d. REALPARS. Viitattu 29.11.2023.  
<https://www.realpars.com/blog/ultrasonic-flow-meter>.

Ultraäänivirtausmittarit. N.d. Sino-Inst. Verkkosivu. Viitattu 21.11.2023. <https://www.drurylandet-heatre.com/fi/ultrasonic-flow-meters/>.

Vakkilainen E. 2005. Kraft recovery boilers – Principles and practice. Helsinki: Valopaino Oy.  
<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/111915/KRBFULL.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.



## Liitteet

### Liite 1. Polttolipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Forms- nettikyselyn kysymykset 1–3.

## Polttolipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus

Opinnäytetyön: Polttolipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus kyselylomake, jonka tarkoituksena on kartoittaa polttolipeäkierrossa käytettäviä mittalaitteita, niiden toimintaa ja ongelmia. Työ tehdään Soodakattila Ry:lle ja kaikki kyselyssä kerätyt tiedot ovat luottamuksellisia eli opinnäytetyössä ei tulla mainitsemaan yrityksen nimiä ja vastaukset kerätään anonyymisti

1. Kuinka ja minkälaisella mittarilla mittaatte polttolipeän kokonaisvirtauksen?

Kirjoita vastaus

2. Kuinka polttolipeän lämpötilamittaus on toteutettu?

Kirjoita vastaus

3. Minkälaisia mittalaitteita käytätte polttolipeän kokonaisvirtauksen painemittaukseen?

Kirjoita vastaus

## Liite 2. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Form- nettikyselyn kysymykset 4–7.

4. Onko teillä käytössä viskositeettimittaus?

Kyllä

Ei

Muu

5. Jos vastasit kyllä, miten viskositeettimittaus on toteutettu? Minkälaista mittaria käytätte sen mittaukseen?

6. Polttoliipeän kuiva-ainepitoisuus mitataan refraktometrillä. Yleisimpiä huomautuksia laitteesta on tullut: "suopa häiritsee mittausta", "höyryhuuhteluputki syöpyy", "Ympäristön suuret lämpötilamuutokset vaikuttavat mittaustulokseen". Käytetäänkö teillä kyseistä mittalaitetta? Minkälaisia ongelmia olette kohdanneet laitteen kanssa? Antaako laite luotettavaa tietoa/onko se luotettava käytettävyydeltään?

7. Refraktometrin yleisin vikaantumisen syy on prisman kuluminen. Oletteko kohdanneet kyseistä ongelmaa? Kuinka kovalla paineella ja millaisella pesu syklillä pesette laitetta?

### Liite 3. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Form- nettikyselyn kysymykset 8–12.

8. Miten sellunkeitossa käytettävän lajin (esim. koivu, havu tai niiden vaihto) vaikuttaa kuiva-  
ainepitoisuuteen?

Kirjoita vastaus

9. Millaisia seinäkohtaisia polttoliipeä mittauksia teillä on?

Kirjoita vastaus

10. Käytetäänkö polttoliipeäkierrossa enemmän perusinstrumentointia vai erikoismittalaitteita? Miksi  
ja millaisia erikoisinstrumenttilaitteita käytätte?

Kirjoita vastaus


11. Vaikuttavatko olosuhteet tai olosuhdemuutokset mittalaitteisiin? Miten?

Kirjoita vastaus


12. Minkälaisia ongelmia polttoliipeäkierron mittaustavoissa tai mittalaitteissa voi ilmetä?

Kirjoita vastaus

#### Liite 4. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Form- nettikyselyn kysymykset 13–17.

13. Mitkä mittalaitteistanne ovat turva-automaatiojärjestelmän takana ja miksi? 


Kirjoita vastaus

14. Kumpi mittalaitteessanne on tärkeämpi ominaisuus: mittauksen luotettavuus vai mittalaitteen käytettävyys? Eli onko tärkeämpää saada mahdollisimman tarkka mittaustulos (luotettavuus), joka täsmää laboratoriomittauksen kanssa. Vai riittääkö, että mittaustulos näyttää aina samassa tilanteessa samaa arvoa (käytettävyys). Perustele vastauksesi. 


Kirjoita vastaus

15. Miten tarkkoja mittaustavat ovat? 

Kirjoita vastaus

16. Minkälainen merkitys mittalaitteen tarkkuudella on polttoliipeäkiertoa tarkasteltaessa? 

Kirjoita vastaus

17. Pystytäänkö laitteita vaihtamaan/huoltamaan tehtaan käynnissä oloaikaan? 

Kyllä

Ei

## Liite 5. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Forms- nettikyselyn kysymykset 18–21.

18. Miten ja kuinka usein mittalaitteita huolletaan/kalibroidaan?

Kirjoita vastaus

19. Kuinka turvallisuuteen on panostettu mittalaitteiden huoltamisessa?

Kirjoita vastaus


20. Kuinka varmistatte, että polttoliipeäkierrossa käytetty mittalaite toimii halutulla tavalla ja sen elinkaari on mahdollisimman pitkä? Kuinka pitkä polttoliipeässä käytettyjen mittalaitteiden elinkaari usein on?

Kirjoita vastaus


21. Minkälaisia ongelmia voi tulla mittalaitteen vioittuessa tai rikkoutuessa?

Kirjoita vastaus


**Liite 6. Polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus – Form-  
nettikyselyn kysymykset 22–24.**

22. Miten huollatte polttoliipeäkierron linjasta pois otetut/vaihdetut mittalaitteet? 

Kirjoita vastaus

23. Onko polttoliipeäkierrossa käytetyt mittalaitteenne kahdennettu? Jos on, mitä hyötyä kahdennuksesta on ollut? 

Kirjoita vastaus

24. Jos haluat kertoa jotain lisää polttoliipeäkierron jatkuvatoimisten mittalaitteisiin liittyen.. 

Kirjoita vastaus