

Asko Ollakka

## **JT-SULATON MASSAVIRTAUSMITTAREIDEN ELINKAARISELVITYS**

# JT-SULATON MASSAVIRTAUSMITTAREIDEN ELINKAARISELVITYS

Asko Ollakka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-  
ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Automaatiotekniikka

---

Tekijä: Asko Ollakka

Opinnäytetyön nimi: Jt-sulaton massavirtausmittareiden elinkaariselvitys

Työn ohjaajat: Jan-Erik Sonntag, Satu Vähänikkilä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 43 + 1 liite

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä coriolis-massavirtausmittareiden elinkaariselvitys Outokummun Tornion tehtaiden jaloterässulatolle. Työn toimeksiantajana oli Outokumpu Stainless Oy. Osa terässulaton massavirtausmittareista on vanhentuneita eli obsolete-tilassa, mikä tarkoittaa varaosien saatavuuden heikentymistä tai loppumista.

Tehtävänä oli listata kaikki terässulaton massavirtausmittarit ja pyytää tarjous korvaavista massavirtausmittareista laitteiden toimittajalta.

Työn alkuosassa perehdytään Outokumpu Oyj:n historiaan ja Tornion tehtaiden koko tuotantoprosessiin. Teoriaosuudessa käsitellään coriolis-ilmiötä ja sen hyödyntämistä massavirtauksen mittaamisessa. Myös ruostumattoman teräksen valmistusprosessia sekä siihen liittyvää prosessikaasujen käyttöä käsitellään.

Työn loppupuolella käsitellään jaloterässulaton nykyisiä massavirtausmittareita jaoteltuina lähettiin sekä antureihin ja niiden ominaisuuksia. Outokummun ja toimittajan varastotilanteet selvitetään ja korvaavat laitteet käydään läpi ominaisuuksineen.

Työssä selvisi, että coriolis-massavirtausmittareiden verrattain vanha perusteknologia on edelleen äärimmäisen tarkka menetelmä kaasujen ja nesteiden massavirran mittaukseen. Perusteknologian rinnalle on tullut merkittävän paljon uusia ominaisuuksia, joilla voidaan muun muassa parantaa mittaustulosten seurantaa ja myös laitteiden liitännävaihtoehdot ovat kehittyneet huomattavan paljon.

---

Asiasanat: automaatio, instrumentaatio, coriolis, virtausmittari, elinkaari, ruostumaton teräs

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Option of Automation

---

Author: Asko Ollakka  
Title of thesis: Life Cycle Assessment of Mass Flow Meters in Steel Melting Shop  
Supervisors: Jan-Erik Sonntag, Satu Vähänikkilä  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024  
Number of pages: 43 + 1 appendix

---

The objective of this thesis was to conduct a lifecycle analysis of Coriolis mass flow meters for steel melting shop at Outokumpu Tornio Works. The commissioning party for this thesis was Outokumpu Stainless Oy. Some of the mass flow meters in steel melting shop are in an obsolete state, which means a decline or cessation in the availability of spare parts. Task was to list all the mass flow meters of steel melting shop and request a quote for replacement mass flow meters from the equipment supplier.

In the initial part of the thesis, the history of Outokumpu Oyj and the entire production process of the Tornio Works are explored. The theoretical section deals with the Coriolis effect and its utilization in measurement of mass flow. The manufacturing process of stainless steel and the related use of process gases are also discussed.

In the latter part of thesis, the current mass flow meters of steel melting shop are discussed, divided into transmitters and sensors, and their characteristics. The inventory statuses of Outokumpu and the supplier are determined, and the replacement devices are reviewed along with their features.

This thesis demonstrates that despite its age, Coriolis mass flow technology remains an accurate method for measuring mass flow. Alongside reliable basic technology, a considerable number of new features have emerged, which can, among other things, improve the monitoring of measurement results.

---

Keywords: automation, instrumentation, coriolis, flowmeter, lifecycle, stainless steel

# SISÄLLYS

ESIPUHE .....	6
SANASTO.....	7
1 JOHDANTO .....	8
2 OUTOKUMPU OYJ .....	9
3 TORNION TEHTAIDEN TUOTANTOPROSESSI .....	11
4 RUOSTUMATON TERÄS.....	14
5 TERÄSSULATON PROSESSIKAASUT .....	16
6 CORIOLIS-ILMIÖ.....	17
6.1 Coriolisvoimaan perustuva massavirran mittaus .....	18
6.2 Coriolis-mittauksen teoria .....	19
6.2.1 Tiheyden mittaaminen coriolis-massavirtausmittarilla .....	21
6.2.2 Tilavuusvirtauksen mittaus.....	22
7 TERÄSSULATON MASSAVIRTAUSMITTARIT .....	23
7.1 Lähettimet.....	24
7.1.1 RFT9739- ja 9739MVD-mallit.....	26
7.1.2 IFT9701-malli .....	28
7.1.3 1700-malli .....	28
7.1.4 2700-malli .....	30
7.1.5 4200-malli .....	30
7.2 Anturit.....	32
7.2.1 ELITE CMF-sarja .....	34
7.2.2 F-sarja.....	36
7.3 Varastotilanne .....	37
8 MASSAVIRTAUSMITTAREIDEN ELINKAARI JA KORVAAVAT LAITTEET .....	38
8.1 Korvaavat lähettimet.....	38
8.1.1 4700-malli .....	38
8.1.2 5700-malli .....	39
8.2 Korvaavat anturit .....	39
9 YHTEENVETO .....	40
LÄHTEET.....	41
LIITTEET .....	43

## ESIPUHE

Haluan osoittaa lämpimät kiitokseni Outokumpu Stainless Oy:lle sekä erityisesti Jan-Erik Sonntagille, joka ei ainoastaan tarjonnut opinnäytetyöni aihetta, vaan myös toimi sen toisena ohjaajana. Kiitokset myös Pentti Kuparille ja Simo Paavolalle heidän tärkeästä konsultointiavustaan sekä Satu Vähänikkilälle, joka on ohjannut opinnäytetyötäni suurella ammattitaidolla.

Haluan myös kiittää avopuolisoani Riikkaa, jonka jatkuva tuki ja rohkaisu koko opiskelupolkuni aikana on ollut korvaamatonta.

Torniossa 3.4.2024

Asko Sakari Ollakka

## SANASTO

AOD	Argon Oxygen Decarburization
ATEX	Räjähdysvaarallisiin tiloihin hyväksyty
CRK	Kromikonverterteri
CMF	Coriolis Mass Flow
HART	Highway Addressable Remote Transducer
I/O	Input / Output
JT-SULATTO	Jaloterässulatto
KUTI	Kunnossapidon tietojärjestelmä
PLC	Programmable Logic Controller
PWL	Piecewise Linearization
SMV	Smart Meter Verification

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään toimeksiantona Outokumpu Stainless Oy:lle. Sen tarkoituksena on tehdä elinkaariselvitys Tornion tehtaiden terässulatolla käytettävistä massavirtausmittareista. Coriolis-massavirtausmittareita käytetään terässulatolla arvokkaiden prosessikaasujen mittaamiseen pääosin CRK:lla ja molempien tuotantolinjojen AOD-konverttereilla mittaamaan prosesseihin syötettävän hapen, typen, argonin ja korkeapaineilman määrää. Alueella on myös muutamia yksittäisiä mittauskohteita. Kyseistä mittaamenetelmää käytetään sen luontaisen tarkkuuden, pitkäikäisyyden ja vähäisen huollon tarpeen vuoksi. Siinä ei myöskään ole liikkuvia osia.

Coriolis-massavirtausmittareita on päivitetty terässulatolle molempien tuotantolinjojen olemassaolon eri vaiheissa ja osa mittareista on jo vanhentuneita eli obsolete-tilassa. Nykyiset coriolis-massavirtausmittarit taulukoidaan positioiden ja alueiden mukaan Excel-tiedostoon ja korvaavista laitteista hankitaan tarjous laitteiden toimittajalta.

Olemassa olevat coriolis-massavirtausmittarit jaotellaan lähettämiin sekä antureihin ja niiden ominaisuudet kuvataan. Myös korvaavat laitteet esitellään.



## 2 OUTOKUMPU OYJ

Outokumpu Oyj:n historia on monivaiheinen kasvutarina, joka alkaa yli sata vuotta sitten, kun vuonna 1910 Kuusjärven Outokummun kukkulasta (kuva 1) löydettiin merkittävä kupariesiintymä. Tämä löytö käynnisti kuparintuotannon ja Suomen valtio sekä malmialueen omistaja Hackman & Co. perustivat Outokumpu Kopperverk -nimisen yhtiön vuonna 1914. Yhtiön ensimmäiset vuodet olivat täynnä haasteita, kuten ensimmäisen maailmansodan aiheuttamaa taloudellista epävarmuutta ja omistusrakenteen muutoksia, mutta ne myös loivat perustan Outokummun tulevalle kasvulle. (1.)

1920-luvulla Outokumpu laajensi tuotantoaan ja alkoi suunnitella kuparintuotantoketjunsä laajentamista, mikä kertoo varhaisesta pyrkimyksestä monipuolistaa toimintaa. Vuonna 1932 Outokummun muuttuminen osakeyhtiöksi avasi uusia mahdollisuuksia laajentumiselle ja innovaatiolle, jolloin yhtiö vakiinnutti asemansa keskeisenä kuparintuottajana ja -viejänä. Tämän aikakauden merkittäviä saavutuksia oli muun muassa Poriin rakennetun kuparitehtaan ja Imatralle nousseen maailman suurimman kuparisulaton valmistuminen. (1.)



KUVA 1. Outokummun kupariesiintymä vuodelta 1899 (Outokumpu Oyj)

Toisen maailmansodan seurauksena Outokumpu joutui siirtämään Imatran kuparisulaton Harjavaltaan, mikä kuitenkin johti tuotantokapasiteetin kaksinkertaistumiseen. Sodan aiheuttama energiapula ajoi Outokummun kehittämään innovatiivisia tuotantoprosesseja, kuten liekkisulatuksen. Tämä osoittautui ratkaisevaksi edistysaskeleeksi yhtiön teknologiassa. (1.)

1950-luvulta alkaen Outokumpu alkoi laajentaa toimintaansa kansainvälisesti, myös teknologian viennin saralla, mikä vahvisti sen asemaa kaivosalalla. Tänä aikana Outokumpu teki merkittäviä mineraalilöytöjä ja perusti uusia tuotantolaitoksia, mukaan lukien Tornioon rakennetun ferrokromisulaton, joka aloitti toimintansa vuonna 1968. Tämä oli askel kohti ruostumattoman teräksen tuotantoa. Tuotanto alkoi Torniossa vuonna 1976 maailman ainoassa integroidussa tehtaassa, jossa oli sekä kromikaivos että ferrokromituotanto. (1.)

1980-luvulla Outokumpu jatkoi kansainvälistä kasvuaan, mikä käsitti sekä malmiesiintymien hankintaa että teknologian vientiä ulkomaille. Tämä vuosikymmen näki myös Outokummun listautumisen Helsingin pörssiin, mikä oli merkittävä virstanpylväs yhtiön historiassa. (1.)

1990-luvulla ja 2000-luvun alussa Outokumpu keskittyi yhä enemmän ruostumattomaan teräkseen, mikä huipentui Avesta Sheffieldin kanssa tapahtuneeseen yhdistymiseen vuonna 2001 ja Avesta-Polaritin syntymiseen. Polarit oli Tornion oma tuotemerkki, joten uusi nimi kuvasti hyvin yhteenliittymää. Tämä strateginen liike vahvisti Outokummun asemaa ruostumattoman teräksen markkinoilla. Vuonna 2012 Outokumpu otti merkittävän askeleen eteenpäin ostamalla ThyssenKruppin ruostumattoman teräksen toiminnot, mikä lujitti entisestään sen johtoasemaa alalla. (1.)

Nykyään Outokumpu on tunnettu laajasta tuotevalikoimastaan, omasta kromikaivoksestaan, nykyaikaisista ja kustannustehokkaista tehtaistaan sekä yli sadan vuoden kokemuksestaan metalleista, kaivosteollisuudesta ja teknologiasta. Outokumpu on sitoutunut kestävään kehitykseen. Tämä näkyy niin raaka-aineiden hankinnassa, tuotantoprosesseissa kuin lopputuotteiden laadussa. (1.)

### 3 TORNION TEHTAIDEN TUOTANTOPROSESSI

Outokumpu Oy:n Tornion tehtaot (kuva 2) koostuvat tytäryhtiö Outokumpu Chrome Oy:n ferrokromitehtaasta sekä Outokumpu Stainless Oy:n terässulatosta, kuumavalsaamosta ja kahdesta kylmävalssaamosta. Tornion tehtaiden sekä Kemmin kaivoksen tuotantoprosessissa työskentelee noin 2100 henkilöä ja kesätyöntekijöitä palkataan vuosittain noin 500 henkilöä. (2.)

Tornion tehtaiden tuotantoprosessi alkaa Outokumpu Chromen Kemmin kaivokselta, joka on EU-alueen ainoa kromikaivos. Kromimalmin tarina alkaa kaivoksen uumenista, jossa malmiin ajettavista louhintaperistä porataan louhintareivät, jotka panostetaan ja räjäytetään. Malmi lastataan louhoksista ja kuljetetaan kaatonousuille, joita pitkin se kuljetetaan esimurskaamoon. Murskattu kromimalmi nostetaan nostokuilun kautta maan pinnalle noin 600 metrin syvyydestä. Maan pinnalla murskattu kromimalmi murskataan uudelleen ja sen jälkeen rikastetaan hieno- ja palarikasteeksi. (2.)

Hieno- ja palarikaste saadaan Ferrokromitehtaalle rekkakuljetuksina. Palarikastetta voidaan käyttää suoraan valokaariuuneilla. Hienorikasteeseen sekoitetaan bentoniittia ja koksia, jotta hienorikaste saadaan muutettua sintrausuunissa pelleteiksi, joita voidaan käyttää osana kromisulan valmistuksessa. Sulatusprosessissa valokaariuuneilla tarvitaan myös koksia ja kvartsiittia, jotka syötetään annostelujärjestelmien kautta valokaariuuneihin. Osasta sulasta ferrokromista kuona poistetaan, kaadetaan valuojiin ja jäähtymisen jälkeen murskataan. Murskattu ferrokromi myydään sellaisenaan maailmalle, osa kromista kulkee sulana terässulatolle tehtaan sisäisellä junalla sekä laveteilla. (2.)

Terässulatolla tuotantolinjalla 1 sulasta kromimalmista poltetaan kromikonvertterissa pii ja osa hiilestä. Konvertterin läpikäynyt sula sekoitetaan valokaariuunilla kierrätetystä ruostumattomasta teräksestä sulatettuun sulaan. Valokaariuunilla sulaan lisätään myös muita raaka-aineita halutun teräksen koostumuksen saamiseksi. Tämän jälkeen sula viedään AOD-konvertterille, jossa sulan hiilipitoisuutta lasketaan entisestään. Senkka-aseamalla sulaan tehdään viimeiset käsittelyt, jonka jälkeen sulaa täynnä oleva senkka siirretään valutoriiniin ja siitä sulaa lasketaan valualtaaseen. Valualtaasta sula tuodaan jatkuvavalukoneelle. Jatkuvavalukoneella sulasta valetaan aihioita, jotka hiotaan kuumahiomossa. Kuumahiomosta aihiot kuljetetaan tehtaan sisällä kulkevalla aihiojunalla

kuumavalssaamolle. Linjalla 2 tuotantoprosessi on samanlainen kuin linjalla 1, mutta ilman kromikonvertteria, joten sulatusprosessissa ei käytetä kromisulaa vaan kierrätysterästä ja seosaineita. (2.)

Kuumavalssaamalla aihio siirretään askelpalkkiuuniin, jossa teräs kuumennetaan yli 1200 asteeseen. Kuumennettua aihiota valssataan etuvalssaimessa edestakaisin, jolloin sen paksuus ohenee ja pituus kasvaa. Tässä vaiheessa aihio muuttuu esinauhaksi, jota ohennetaan edelleen Tandem- ja Steckel-valssaimilla. Tämän jälkeen nauha kelataan rullaksi, jonka jälkeen se jäähdytetään jäähdytysaltaassa. Osa mustasta nauhasta myydään maailmalle ja osa viedään jatkokäsittelyyn kylmävalssaamoille. (2.)



KUVA 2. Tornion tehtaat (Outokumpu Oyj)

Kylmävalssaamalla teräsnauha muokataan lopputuotteeksi asiakkaalle. Teräksen mekaaniset ominaisuudet palautetaan sekä musta hilse poistetaan teräksen pinnasta hehkutus- ja peittäuslinjoilla. Hehkutus- ja peittäusprosesseissa teräsnauhan pinta muuttuu samean mustasta kiiltäväksi hopeanharmaaksi. Teräsnauhan haluttu paksuus saadaan kylmävalssaamalla sitä. Tavoitepaksuus voi olla 80 % ohuempi verrattuna nauhan lähtöpaksuuteen. Teräsnauha hehkutetaan ja peitataan vielä

toiseen kertaan teräksen pinnan ehostamiseksi. Sen jälkeen teräsnauha kiillotetaan viimeistelyvalssaimella sen pinnan viimeistelemiseksi. Katkaisu- ja halkaisulinjoilla teräsnauha leikataan asiakkaan haluamiin mittoihin, joko levyinä tai nauhoina. (2.)

RAP5 eli kylmävalssaamo 2 on lähes kilometrin pituinen, täysin integroitu, jatkuvatoiminen valssaus-, hehkutus- ja peittäuslinja. Teräsnauha kulkee kahdesti linjan läpi. Linjalla nauha ensin hehkutetaan ja peitataan kirkkaaksi kuumanauhaksi. Toisella kierroksella nauha kylmävalssataan, jolla saadaan haluttu tavoitepaksuus. (2.)

Tornion tehtaiden yhteydessä toimii myös Röyttän eli Tornion satama. Sujuva laivaliikenne on tehtaiden toiminnan perusedellytys, koska suurin osa prosessissa käytettävistä raaka-aineista saapuu meriteitse, sekä myös suurin osa ferrokromista ja teräsnauhoista lähtee laivoilla. Tehtaiden raaka-ainevarastot riittävät maksimissaan viikon häiriöttömään tuotantoon, joten on ensiarvoisen tärkeää, että toimitukset saapuvat ajallaan. On myös tärkeää, että asiakkaat saavat toimituksensa aikataulussa. Kustannustehokas ja sujuva meriliikenne on kannattavan toiminnan perusedellytys. (2.)

## 4 RUOSTUMATON TERÄS

Ruostumattomille teräksille ominaista on niiden kromipitoisuus. Kromi muodostaa ilmassa olevan hapen kanssa kromioksidikalvon, joka estää korroosiota eli ruostumista. Kalvo on erittäin ohut, korkeintaan  $25 \times 10^{-8}$  m eli 25 Å (Ångströmiä). Mangaani vaikuttaa teräksen työstettävyyteen, nikkeli faasirakenteeseen, rikki hitsattavuuteen ja pii tiivistää terästä. Hiili on ruostumattomassa teräksessä ”epäpuhtaus”, joka heikentää ruostesuojaa ja siksi suurimmassa osassa ruostumattomista teräksistä täytyy olla matala hiilipitoisuus. (3.) Hiili sekä kromi reagoivat yhdessä hapen kanssa, joten niiden vuorovaikutus on siksi ruostumattomien teräksien valmistuksen keskeinen tekijä. Sitä voidaan kuvailla reaktiokaavan (3) avulla



jossa

C = hiili

O<sub>2</sub> = happi

CO = hiilimonoksidikaasu (häkä)

Toinen reaktiokaava (3) on



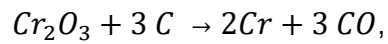
jossa

Cr = kromi

O<sub>2</sub> = happi

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = kuona

Kaavan 1 reaktiota pyritään ”ajamaan” oikealle ja kaavan 2 reaktiota vasemmalle. Tavoitteena on madaltaa hiilipitoisuutta mellottamalla, toisin sanoen hapettamalla ilman, että hapetetaan eli kuonataan kromia. Kaavojen 1 ja 2 reaktiot voidaan yhdistää yhdeksi reaktiokaavaksi (3)



(KAAVA 3)

jossa

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  = kuona

C = hiili

Cr = kromi

CO = hiilimonoksidikaasu (häkä)

Tätä reaktiokaavaa ajetaan oikealle tarkoituksena ehkäistä kromin hapettumista ja saavuttaa matala hiilipitoisuus, joka on yleensä alle 0,03 % (3).

Ferrokromitehtaalta terässulatonle saapuva kromisula sisältää piitä noin 3–5.5 % ja hiiltä noin 7 %. Piipitoisuuden takia kromisula täytyy ensin viedä CRK:lle. Siellä sulasta poltetaan pii ja osa hiilestä. Piin polttamisesta vapautuva lämpö käytetään hyödyksi seosainejärjestelmästä lisätyn romuteräksen ja muiden seosaineiden sulattamisessa. CRK:n käsittelyn jälkeen piipitoisuus on noin 0,3 % ja hiilipitoisuus noin 3 %. Tämä hiilipitoisuuden lasku ei ole vielä riittävä, joten hiilipitoisuutta lasketaan vielä entisestään AOD:llä (kuva 3) noin 0,03 %:iin. Kierrätysteräksen piipitoisuus on luonnostaan alhainen, joten tästä syystä CRK:ta tarvitaan ainoastaan kromisulan käsittelyyn. (4.)



KUVA 3. Sulapanoksen kaato AOD-konvertertiin (Outokumpu Stainless Oy)

## 5 TERÄSSULATON PROSESSIKAASUT

Terässulatolla käytetään prosessikaasuja sulankäsittelyn eri vaiheissa. Ferrokromitehtaalta CRK:lle saapuvasta kromisulasta poistetaan pii ja osa hiilestä käyttämällä happipuhallusta. Konvertterin yläosasta puhalletaan happea kromisulaan vesijäähdytetyn lanssin avulla. Lanssi on pitkä vesijäähdytetty putki, joka on varustettu Laval-suutinpäällä. Näin saadaan happi reagoimaan sulan kanssa. Lanssista voidaan tarvittaessa puhaltaa myös korkeapaineilmaa ja argonia. Sivusuuttimista puhalletaan myös happea tai happi-typpi-argon-korkeapaineilmaseosta sen mukaan, mikä teräslaji on kyseessä ja halutaanko sulaa sekoittaa. Suuttimien vaipasta teräslajin mukaan puhalletaan typpeä tai argonia, joilla jäähdytetään suuttimia sekä suutinaluetta. Tämä edesauttaa sulan sekoittumista yhdessä happi-typpi-argon-korkeapaineilmaseoksen kanssa. Ferrokromia saadaan terässulatolle lisäksi annostelujärjestelmän kautta kylmänä palakromina, jota sulatetaan valokaariuunissa. Tosin ferrokromin käyttö sulana CRK:lla on paljon energiatehokkaampaa sillä sitä ei tarvitse sulattaa uudelleen. (4.)

AOD-konverttereissa hiilimellotus suoritetaan käyttämällä happea ja inerttiä kaasua (argonia tai typpeä). Hapetta puhalletaan konvertterin yläosasta vesijäähdytetyllä lanssilla, samoin kuin CRK:lla. Hiilimellotus tapahtuu yleisesti neljässä eri vaiheessa, joille on ominaista hapen ja argonin eri suhteet. Näiden vaiheiden pituuden ja ajan määrittää hiilipitoisuus. Hiilipitoisuuden laskiessa happi reagoi mieluummin kromiin kuin hiileen, mikä ei ole toivottava lopputulos. Tätä voidaan välttää sillä, että hapetta laimennetaan inerttikaasulla eli argonilla tai typellä. Siten saadaan hapen palamissuhde edullisemmaksi, toisin sanoen saadaan happi mellottamaan enemmän hiiltä suhteessa kromiin. Inerttikaasuja voidaan puhaltaa yläpuolisesta lanssista taikka sivusuuttimista. Tarvittavat kaasumäärät saadaan AOD-prosessin laskennasta. Rikinpoistossa käytetään argonhuhuteltua sulan sekoittamiseksi, jolla saadaan reaktiot kuonan ja teräksen välillä mahdollisimman tehokkaiksi. Kokonaiskaasuvirtaus on n. 1 Nm<sup>3</sup> terästonnin kohti minuutissa. (3.)

Senkka-asemilla argon- tai typpihuhutellulla sulaa sekoitetaan joko lanssista tai senkan pohjasta. Näin sula homogenisoidaan, jäähdytetään ja sulkeumat poistuvat. Valutorniin nostettavasta senkasta sula lasketaan välialtaaseen, missä argonilla suojataan suihkusuoja-putkea kuumuudelta. (4.)



## 6 CORIOLIS-ILMIÖ

Coriolis-ilmiö tuli ensimmäisen kerran kansan tietoon vuonna 1835, kun matemaatikko ja tiedemies Gaspard-Gustave de Coriolis julkaisi tiedeartikkelin liike-energian määrästä vesirattaissa. Itse ilmiön matematiikkaa käsitteli Pierre-Simon Laplace vuorovesiyhtälössään jo vuonna 1778. Tutkiesaan vesirattaita, Coriolis huomasi tarkkailtavien voimien olevan osana isommissa järjestelmissä. (5.)

Coriolis-ilmiö on inertiaalinen sekä myös näennäisvoima. Se havaitaan vapaasti liikkuvan kappaleen radan poikkeamana silloin, kun tilannetta tarkastellaan pyörivästä koordinaatistosta käsin. Yleensä tämä pyörivä koordinaatisto on maapallo, joka liikkuu tasaisella nopeudella. Näennäisvoima viittaa siihen, että kappaleeseen ei itsessään vaikuta mikään fyysikaalinen voima, vaan kappaleen radan kaareutuvuus aiheutuu siitä, että koordinaatisto on kiihtyvässä liikkeessä, toisin sanoen pyörii. (5.)

Pääasiallinen syy coriolisvoimiin löytyy maan pyörimisestä. Maan pyöriessä vastapäivään akselinsa ympäri, kaikki maan pinnan yläpuolella lentävät taikka pitkällä matkalla leijuvat objektit poikkeavat sijainnistaan. Tämä johtuu siitä, että maapallo liikkuu itään nopeammin kuin sen yläpuolella olevat objektit. Myös liikkuvan objektin nopeus vaikuttaa poikkeavuuden määrään: mitä kovempi nopeus, sitä suurempi on myös kappaleen poikkeavuus. Kun mennään kohti pohjois- tai etelänapaa päiväntasaajalta katsottuna, leveyspiirit kasvavat, maan pyörimisnopeus pienenee ja samalla myös coriolisvoimat kasvavat. Kappaleen pyörimissuunta riippuu siitä, kummalla pallonpuoliskolla ollaan. Pohjoisella pallonpuoliskolla kappaleet poikkeavat oikealle ja eteläisellä pallonpuoliskolla vasemmalle. (5.)

Tosielämän esimerkkejä coriolisvoimista voidaan löytää esimerkiksi merivirtauksista tai tuulten suunnan muutoksista. Koska merivirtaukset riippuvat tuulen suunnasta, ohjaavat coriolisvoimat myös merivirtauksia. Hyvänä esimerkkinä on myös se, etteivät hurrikaanit voi muodostua 5. leveyspiirin sisäpuolella, koska coriolisvoimia ei muodostu tarpeeksi pyörteen aikaansaamiseksi. (5.)

## 6.1 Coriolisvoimaan perustuva massavirran mittaus

Ranskalaiset fyysikot Yves Clouet ja Michel Crozat keksivät coriolis-massavirtausmittarin 1970-luvulla. He työskentelivät CERNissä, Euroopan hiukkasfysiikan tutkimuskeskuksessa, kun he havaitsivat, että coriolis-ilmiön vaikutusta voitaisiin käyttää massavirtausnopeuksien mittaamiseen. He patentoivat keksintönsä vuonna 1977 ja perustivat Micro Motion nimisen yrityksen valmistamaan ja myymään kyseisiä laitteita (kuva 4). (6.)

Tänä päivänä teollisuuden isoimpia haasteita on nostaa tuotantokapasiteettia käyttämällä jo olemassa olevia teollisuuslaitoksia. Haluttuja ominaisuuksia prosessilaitteille ovat laatu, turvallisuus, suoritusteho ja kannattavuus. Coriolis-massavirtausmittarit mittaavat suoraan massavirtausta, nesteen tiheyttä sekä antavat tarkkoja mittaustuloksia ja siten ne täyttävät nämä edellä mainitut kriteerit. Tarkkuus on niin suurta, että coriolis-massavirtausmittareita käytetäänkin usein verrokkina, kun mitataan muiden mittareiden tarkkuutta. (7.)

Monet mittalaitteet mittaavat tilavuusvirtaa yksiköissä ja korjaavat sen jälkeen lämpötilan, tiheyden ja paineen saadakseen laskettua massavirtauksen. Lisäksi useimmat perinteiset mittausteknologiat vaativat suoran putkiston virtausmittarin ylä- ja alavirtaan, sillä epäsymmetrinen virtausprofiili ja pyörteisyys heikentävät nopeusmittauksen tarkkuutta. Tämä monimutkaistaa ja vaikeuttaa niiden asennusprosessia. Massavirtauksen suora mittaaminen on yleensä tarkempaa, eikä vaadi yhtäaikaista, useiden muuttujien mittausta. Coriolis-massavirtausmittareita ei myöskään tarvitse kalibroida uudelleen eri nesteille tai kaasuille tai silloin kun prosessiolosuhteet muuttuvat. Lisäksi muutokset tuoteprosessien koostumuksessa eivät vaikuta mittaustarkkuuteen. Vaikka hankintakustannukset voivat olla suuremmat kuin muissa mittarityypeissä, kokonaiskustannukset ovat yleensä matalammat vähäisen huollon tarpeen takia. (7.)

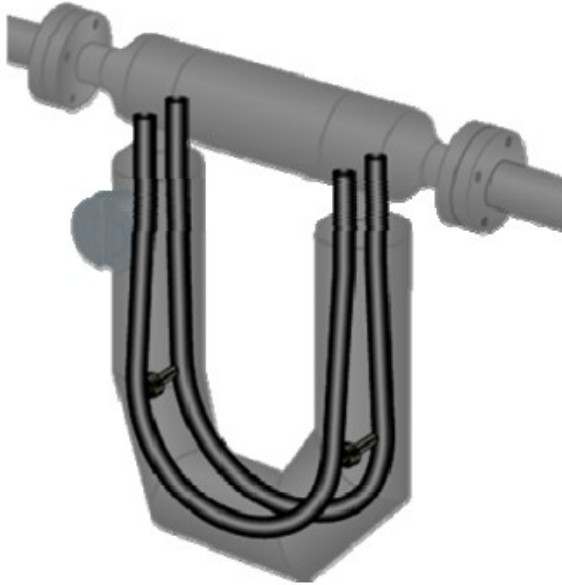


KUVA 4. ELITE-mallisarjan coriolis-massavirtausmittareita (14)

## 6.2 Coriolis-mittauksen teoria

Coriolis-massavirtausmittari mittaa suoraan mitattavan aineen massavirtauksen määrää värähdytämällä yhtä tai kahta mittausputkea omalla resonanssitaajuudellaan, mistä syntyy siniaalto. Ainevirtaus saapuu putkiston päälinjasta ja jakautuu anturin sisällä olevaan yhteen tai kahteen mittausputkeen (kuva 5). Mittausputkien toisessa päässä virtaus yhdistyy takaisin yhdeksi virtaukseksi ja siirtyy takaisin putkiston päälinjaan. (8.)

Anturissa oleva sähköinen ohjauskäämi aiheuttaa mittausputkiin voiman, joka saa ne värähtelemään tasaisella resonanssitaajuudella. Coriolisvoimat syntyvät mittausputkien taipuessa aineen virratessa niiden läpi. Nämä mittausputkiin kohdistuvat voimat aiheuttavat häiriöitä mittausputkien värähtelyliikkeessä ja taivuttavat mittausputkia, mikä puolestaan aiheuttaa tilallisesti vaihtelevat aikaviiveet mittausputkien alku- ja loppupäiden antureissa. Tämä voidaan havaita vaihesiirtymänä siniaallossa. Aikaviiveen ero kahden eri anturin välillä on  $\delta t$ , ja sitä käytetään massavirtauksen laskemisessa. Vaihesiirtymän määrä mittausputkien liikkeessä (ja siten myös  $\delta t$ ) on suhteellinen coriolisvoimien määrään ja mittausputkien jäykkyyteen. (8.)



KUVA 5. Coriolis-massavirtausmittarin mittausputket (8)

Coriolis-massavirtausmittarin läpi saatava massavirtaus ( $\dot{m}$ ) on suhteellinen aikaviiveeseen ( $\delta t$ ) suhteellisuusvakion mukaan, jota kutsutaan Flow Calibration Factoriksi (FCF). Algebrallisesti ilmaistuna massavirtaus  $\dot{m}$  mittarin läpi lasketaan kaavalla (8)

$$\dot{m} = FCF * \delta t, \quad (\text{KAAVA 4})$$

jossa

FCF = suhteellisuusvakio

$\delta t$  = aikaviive

Suhteellisuusvakio FCF määritellään yksiköinä massavirtaus / aikaviive. Tyypilliset yksiköt FCF:lle ovat (g/sekunti) /  $\mu$ sekunti. Koska  $\delta t$ :n suuruus on suhteellinen mittausputken jäykkyyteen, niin myös suhteellisuusvakio FCF on suhteellinen mittausputken jäykkyyteen. Tämä suhde voidaan todistaa käyttämällä fysiikan perusyksiköitä, kuten aikaa, pituutta ja massaa. Suhteellisuusvakio FCF saadaan johdettua kaavasta (8)

$$FCF = \frac{\dot{m}}{\delta t}, \quad (\text{KAAVA 5})$$

jossa

$\dot{m}$  = massavirtaus

$\delta t$  = aikaviive

Fysiikan perusyksiköiksi muutettuna FCF saadaan johdettua kaavasta

$$FCF \approx \frac{\left(\frac{\text{Massa}}{\text{Aika}}\right)}{\text{Aika}} \quad (\text{KAAVA 6})$$

Johdonmukaisessa yksikköjärjestelmässä Newtonin toisen lain mukaan massa voidaan ilmaista kaavalla voima / kiihtyvyys. Sijoittamalla nämä arvot kaavaan 6 huomataan, että suhteellisuusvakion FCF yksiköt ovat jäykkyyden yksiköitä: (voima / pituus) (8)

$$FCF \approx \frac{\left(\frac{\text{Massa}}{\text{Aika}}\right)}{\text{Aika}} = \frac{\left(\frac{\text{Voima/Kiihtyvyys}}{\text{Aika}}\right)}{\text{Aika}} = \frac{\left(\frac{\text{Voima}/(\text{Pituus}/\text{Aika}^2)}{\text{Aika}}\right)}{\text{Aika}} \approx \frac{\text{Voima}}{\text{Pituus}} \quad (\text{KAAVA 7})$$

Joten FCF, joka liittää  $\delta t$ :n massavirtaukseen, on yksinkertaisesti skaalauskerroimen monikerta jäykkyydestä. Massavirtaus on perusmittaus, jonka coriolis-massavirtausmittarit tekevät. (8.)

### 6.2.1 Tiheyden mittaaminen coriolis-massavirtausmittarilla

Coriolis-massavirtausmittarit pystyvät mittaamaan myös itsenäisesti nestemäisten prosessiainneiden tiheyttä hyvin tarkasti mittaamalla ajotilan resonanssitaajuutta. Resonanssitaajuus on suhteellinen virtausputkien jäykkyyteen ja virtausputkien massaan, mikä käytännössä tarkoittaa virtausputkien teräksen massaa ja putkissa olevan nesteen massaa. Tämä voidaan todeta seuraavasta kaavasta (8)

$$R. \text{taajuus} \propto \sqrt{\frac{\text{Jäykkyys}}{(\text{Massa}_{\text{putki}} + \text{Massa}_{\text{neste}})}} \quad (\text{KAAVA 8})$$

Koska mittausputkien jäykkyys sekä mittausputkien teräksen paino on vakio, resonanssitaajuus riippuu nesteen massasta mittausputkissa. Johtuen siitä, että mittausputkien sisällä oleva nesteen määrä on vakio, resonanssitaajuus riippuu mittausputkien sisällä olevan nesteen tiheydestä. Tiheys lasketaan kaavalla (8)

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (\text{KAAVA 9})$$

jossa

m = massa

V = tilavuus

Vaikka coriolis-massavirtausmittarit pystyvät mittaamaan nesteiden tiheyttä tarkasti, tiheyden signaali ei ole riittävän vahva mittaamaan tarkasti kaasujen tiheyttä. Tätä varten käytetään muita menetelmiä. (8.)

### 6.2.2 Tilavuusvirtauksen mittaus

Coriolis-massavirtausmittareilla voidaan laskea tilavuusvirtausta (Q) erikseen mitatusta massavirtauksesta ( $\dot{m}$ ) ja nesteen tiheydestä ( $\rho$ ) kaavalla (8)

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}, \quad (\text{KAAVA 10})$$

jossa

$\dot{m}$  = massavirtaus

$\rho$  = tiheys

Coriolis-massavirtausmittarit voivat tuottaa vakiovirtausdataa käyttämällä joko mitattua hetkellistä tiheyttä, vakio- tai näytetiheyttä tai laskettua tiheyttä prosessiolosuhteiden perusteella. (8.)

## 7 TERÄSSULATON MASSAVIRTAUSMITTARIT

Terässulatolla käytetään coriolis-massavirtausmittareita mittamaan prosessikaasujen määrää. Linja 1 on aloittanut toimintansa vuonna 1976 ja linja 2 vuonna 2002. Laitteita on uusittu molemmille linjoille eri vaiheissa, joten terässulatolla on monen eri sukupolven lähettämiä ja antureita.

Coriolis-massavirtausmittareiden tarkkuus on hyvin tärkeässä osassa prosessikaasujen käyttöä, koska sulaa käsiteltäessä CRK:lla ja molemmilla AOD-konverttereilla vaaditaan tarkkoja mittaustuloksia. Käytettävät prosessikaasut ovat arvokkaita, joten on kustannustehokasta käyttää niitä vain tarpeellinen määrä. Saatavilla olevien coriolis-massavirtausmittareiden tarkkuus kaasuja mitattaessa on jopa 0,25 %, vaikkakin 0,35–0,5 % on yleisempi (7). Myös laitteiden luotettavuus ja huollon tarpeen vähäisyys on tärkeää. Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä, jotta saadaan turvattua tuotantolinjojen häiriötön ja keskeytymätön toiminta. Luotettavuutta tukee vahvasti se, että laitteet toimivat luotettavasti niin kauan, että mallien ja varaosien valmistus ehditään jo lopettaa. Tästä syystä osa laitteistosta joudutaan uusimaan. Terässulatolta kaikkien coriolis-massavirtausmittareiden valmistaja on Emerson.

Coriolis-massavirtausmittari koostuu lähettimestä ja anturista. Niiden tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluvat tarkkuus, luotettavuus, mittausalueen soveltuvuus, kemiallinen yhteensopivuus eri aineiden kanssa ja kestävyys erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Niiden täytyy olla myös CE-hyväksytyjä. Tärkeää on myös helppo asennettavuus, helppokäyttöisyys sekä mahdollisuus integroitua prosessinohjausjärjestelmiin. Suuressa roolissa ovat lisäksi häiriöiden tunnistus- ja kompensointiominaisuudet sekä tarvittavat kommunikaatiovaihtoehdot, kuten HART, Modbus tai Foundation Fieldbus. Emerson Micro Motion -tuoteperhe täyttää kaikki edellä mainitut vaatimukset.

## 7.1 Lähettimet

Terässulatolla on käytössä monen eri sukupolven Micro Motion -lähettimiä (vahvistimia). Tämä on mahdollista, koska vanhempienkin sukupolvien lähettimet kykenevät vielä tänäkin päivänä tarjoamaan kelvollista suorituskykyä. Myös virtaviestien käyttö lähettimien ja ohjelmoitavien logiikoiden välillä on edelleen hyvin yleistä, joten yhteys kenttäväylään saavutetaan vaivattomasti muun muassa HART:n kautta.

Lähetimen tyyppikilvessä (kuva 6) oleva mallinumeron jälkeinen koodi määräytyy kyseessä olevan laitteen ominaisuuksien mukaan. Esimerkiksi kuvassa 6 olevassa 4200-mallin lähetimen tyyppikilvessä koodi 4200C12AFFAZZZAZ muodostuu seuraavanlaisesti (11)

4200 = mallinumero

C = 9-johdellinen kaukoasennuslähetin (polyuretaanimaalattu alumiinikotelo), seinä- tai putkiasennukseen tarkoitettu 316-laadun ruostumattomasta teräksestä valmistettu kiinnike sekä asennustarvikkeet 2 tuuman (50,8 mm) putkelle; sisältää 10 jalkaa (3 metriä) CFEPS-kaapelia.

1 = virransyöttö 4–20 mA:n virtasilmukalla

2 = kaksirivinen näyttö prosessiarvojen lukemiseen ja kumulatiivilaskurin nollausmahdollisuus

A = ulostulotietojen laitteistokortin liitäntä 4–20 mA:n virtasilmukalla

F = johdotuksen asennusputki messinkinikkelöidyllä M20-koon kaapelitiivisteeseen kierteellä

FA = ATEX II 2G, Ex d, Zone 1 ja II 2D Ex tb, Zone 21- luokitus

Z = lähetinvaihtoehto 1: standardi

Z = lähetinvaihtoehto 2: standardi

Z = tehdasasetukset: standardi

A = ulostulokanava A:n määrittäminen: 4–20 mA/HART (virtasilmukka)

Z = ulostulokanava B:n määrittäminen: kanava pois päältä.

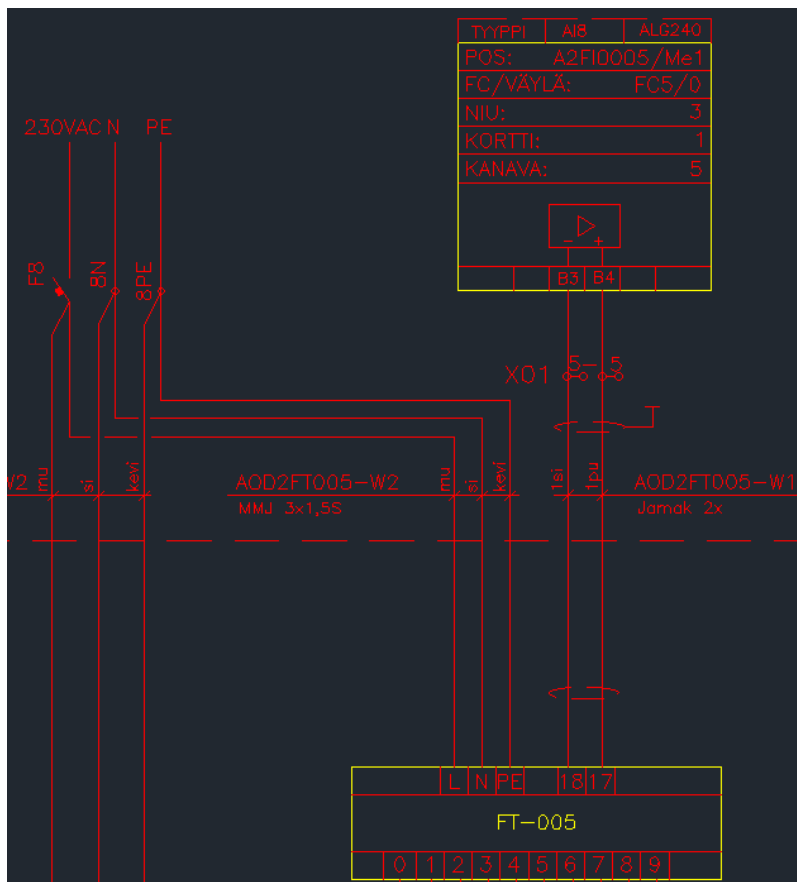




KUVA 6. Micro Motion 4200-lähtetimen tyyppikilpi

Tyyppikilpi ilmaisee myös lähtetimen valmistusvuoden, sarjanumeron, lähtetimen liitetyn coriolis-massavirtausanturin sarjanumeron, syöttöjännitteen ja lähtetimen käyttölämpötilan. Kilvestä löytyy myös ATEX-hyväksynnät ja CE-merkintä. (11.)

Lähtetimen ja PLC:n välinen yhteys (kuva 7) toimii tavanomaisesti analogisella 4–20 mA:n virtaviestillä, joka toteutetaan instrumentointikaapelilla. Micro Motion -malleissa lähtetien virtalähteet ovat lähtetimen sisällä, joten virransyöttöön vaaditaan ainoastaan kaapelointi.



KUVA 7. Lähtetimen ja PLC:n väliset kytkennät sekä 230 V:n virransyöttö

### 7.1.1 RFT9739- ja 9739MVD-mallit

Micro Motion RFT9739 (kuva 8) on mikroprosessoripohjainen lähetin neste- tai kaasuprosessien mittaukseen. Lähetin toimii Micro Motion -antureiden kanssa mittaamalla tiheyttä, massavirtaa ja lämpötilaa. Lähetin on ATEX-luokiteltu. Se on suunniteltu toimimaan 4- ja 9-johtimisten Micro Motion coriolis-massavirtausantureiden kanssa. Sen toimintalämpötila on alueella  $-22\text{C}^{\circ}$  –  $+55\text{C}^{\circ}$ . (9.)



KUVA 8. Micro Motion RFT9739-lähetin

Tiedonsiirto lähettimeltä PLC:lle toimii joko 0–20 mA:n tai 4–20 mA:n virtaviestillä. Haluttu kenttäväylä voidaan valita joko HART:in tai Modbusin väliltä. Virtalähteenä voidaan käyttää joko 85–250 V:n vaihtovirtalähdettä tai 12–30 V:n tasavirtalähdettä. Lähettimeltä PLC:lle lähtevä taajuus/pulssimäärä voidaan konfiguroida indikoimaan joko massavirtausnopeutta, tilavuusvirtaa, kokonaismassavirtaa tai kokonaistilavuusvirtaa. (9.)

9739MVD (kuva 9) on ulkoisilta ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin RFT9739 ja asennusvaatimukset ovat täsmälleen samat, joten laitteen vaihtaminen sujuu helposti. Lähettimestä on saatavana malli, jonka suojakuvussa on tarkasteluikkunan takana pieni näyttö, josta voidaan seurata mittaustietoja reaaliajassa. Lisäksi lähettimessä on kaksi kytkintä, joista toisella voidaan selata lähettimelle tulevia mittaustietoja sekä nollata kumulatiivilaskuri. MVD (Multivariable Device) versiolla on kyky mitata useita prosessiparametreja samanaikaisesti yhdellä anturilla ja lähettimellä, kun taas RFT9739 on suunniteltu mittamaan vain yhtä parametria kerrallaan. Myös lähettimen suorituskyky on parantunut huomasti tarkkuuden ja säätöalueen osalta. Lähettimen kotelo on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja on ATEX-luokiteltu ja IP65-suojattu, mikä tarkoittaa pölytiiveyttä ja suojaausta joka puolelta tulevalta matalapaineiselta vesisuihkulta. Toimintalämpötila on alueella -30 C° – +55 C°. (10.)



KUVA 9. Micro Motion 9739MVD-lähetin

### 7.1.2 IFT9701-malli

Micro Motion IFT9701 on mikroprosessoripohjainen lähetin, joka on suunniteltu massavirtauksen, tilavuusvirtauksen, tiheyden, lämpötilan ja pitoisuusmittausten suorittamiseen 4- ja 9-johtimisten Micro Motion coriolis-massavirtausantureiden kanssa. Se on ATEX-luokiteltu, mikä takaa sen turvallisen toiminnan räjähdysvaarallisissa tiloissa. Lähettimen käyttölämpötila on  $-40^{\circ}\text{C}$  –  $+140^{\circ}\text{C}$ , mikä mahdollistaa sen käytön monenlaisissa teollisissa ympäristöissä. (11.)

Se voidaan asentaa integroidusti F-sarjan coriolis-massavirtausantureihin ja sitä voidaan kääntää 360 astetta integroidussa asennustavassa, joten se mukautuu erilaisiin putkistokonfiguraatioihin. Kiinnitysvaihtoehtoina ovat joko putki-, seinä- tai DIN-kiskoasennus. Kotelo on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja se on IP65-luokiteltu, jolla tarkoitetaan pölytiivyyttä sekä suojausta matalapaineiselta vesisuihkulta. Kotelo on saatavana myös näytöllisenä mallina, jolla voidaan seurata prosessiparametrejä. (11.)

Lähetin tukee 0–20 mA:n sekä 4–20 mA:n virtaviestejä PLC-järjestelmien tiedonsiirtoon. Kenttäväyläkommunikaatiovaihtoehtoina ovat HART ja Modbus. Virransyöttö toimii joko 85–250 V:n vaihtovirtalähteellä tai 12–30 V:n tasavirtalähteellä. (11.)

### 7.1.3 1700-malli

Micro Motion 1700 (kuva 10) on mikroprosessoripohjainen lähetin, joka on kehitetty massavirtauksen, tilavuusvirtauksen, tiheyden, lämpötilan ja konsentraation mittaukseen. Sen ATEX-luokitus varmistaa, että sitä voidaan turvallisesti käyttää räjähdysvaarallisissa tiloissa. Lähettimen toimintalämpötila-alue  $-40^{\circ}\text{C}$ –  $+140^{\circ}\text{C}$  mahdollistaa sen käytön monenlaisissa teollisissa olosuhteissa. Laitteen kotelo on ruostumatonta terästä ja se on myös IP65-suojattu, joka tarkoittaa pölytiivyyttä sekä suojaa matalapaineiselta vesisuihkulta kaikista suunnista. Lisävarusteena saatavilla oleva pieni näyttö suojakuvun alla mahdollistaa mittaustietojen helpon seurannan, ja laitteessa olevat painikkeet mahdollistavat mittausdatan selaamisen sekä laitteen nollaamisen. (12.)

Laitte voidaan asentaa coriolis-massavirtausantureihin integroidusti, eli suoraan kiinni coriolis-massavirtausanturiin tai kaukoasennuksena 4- tai 9-johtimisiin Micro Motion -massavirtausantureihin. Lähetin kykenee mittaamaan tarkasti tiheyttä, massavirtaa ja lämpötilaa. Integroitu asennustapa

on ihanteellinen, kun tilaa on rajoitetusti tai kun halutaan minimoida kaapeloinnin pituus ja potentiaaliset häiriölähteet. Lähetintä voidaan kääntää 360 astetta integroidussa asennustavassa. Kaukoasennuksessa lähetin voidaan sijoittaa erilleen anturista, mikä mahdollistaa lähettimen sijoittamisen käyttäjäystävällisempään tai suojatumpaan paikkaan. Tämä voi olla tarpeellista, jos anturi sijaitsee vaikeasti saavutettavassa tai vaarallisessa paikassa. Laitteasennuksen fyysisinä vaihtoehtoina ovat seinä-, putki- tai DIN-kiskoasennus. (12.)



*KUVA 10. Micro Motion 1700-lähetin integroidusti asennettuna (12)*

Tiedonsiirto lähetimestä PLC:hen onnistuu joko 0–20 mA:n tai 4–20 mA:n virtasignaalilla. Käyttäjät voivat valita kenttäväyläkommunikaatioon joko HART:in tai Modbusin. Lähetin tukee kahta eri virransyöttövaihtoehtoa 85–250 V:n vaihtovirtalähteen tai 12–30 V:n tasavirtalähteen väliltä. Lähetimestä PLC:lle lähtevä taajuus- tai pulssisignaali voidaan konfiguroida ilmaisemaan massavirtausnopeutta, tilavuusvirtaa, kokonaimassavirtausta tai kokonaistilavuusvirtausta, mikä lisää sen monipuolisuutta prosessinvalvonnassa. 1700-mallin lähettimessä on MVD-ominaisuus eli kyky mitata useita prosessiparametreja samanaikaisesti yhdellä anturilla ja lähettimellä. (12.)

Uutena ominaisuutena vanhempiin 9739-mittareihin verrattuna 1700-mallissa on SMV-diagnostiikkatyökalun perusversio. Sillä voidaan todeta lähettimen virtapiirin toimivuus. SMV myös mahdollis-

taa coriolis-massavirtausantureiden varmennuksen, joka selvittää, onko anturiin vaikuttanut eroosio, korroosio tai muut tekijät, jotka voivat vaikuttaa mittarin kalibrointiin ja tarkkuuteen. SMV-varmennuksen suorittaminen ei vaadi prosessin pysäyttämistä, ja mittaukset voivat jatkaa häiriöttä varmennuksen aikana. SMV:n perusversio tarjoaa yksinkertaiset läpäisy- tai hylkäystulokset. Tämä versio suorittaa mittarin perustarkistuksen varmistaakseen, että mittari toimii oikein, mutta tarjoaa rajatumpia diagnostiikkatietoja verrattuna 2700-malliin. (12.)

#### **7.1.4 2700-malli**

2700-malli on fyysisesti samanlainen kuin 1700-malli. Näiden kahden mallin erot ovat 2700-sarjan laajemmat digitaaliset viestintävaihtoehdot, jotka ovat WirelessHART THUM-adapterin kautta, Foundation Fieldbus ja PROFIBUS-PA. Tästä syystä 2700-malli on yhteensopiva erilaisten ohjausjärjestelmien kanssa. Siinä on myös kolme paria johdinlähtöjä I/O:lle ja viestinnälle, eli pari enemmän kuin 1700-mallissa. Yksi virtasilmukka on virransyötölle, toinen ja kolmas viestinnälle ja I/O:lle. 2700-mallissa on myös laajempi SMV-diagnostiikka, joka antaa syvällisempiä diagnostiikkatietoja ja mahdollisuuden tarkastella aiempia testituloksia. (12.)

#### **7.1.5 4200-malli**

Micro Motion 4200 (kuva 11) on kahden johtimen lähetin, joka mittaa nesteen tai kaasun massavirtausta, tiheyttä ja lämpötilaa. Tämä lähetin on yhteensopiva Micro Motion ELITE-antureiden kanssa ja mahdollistaa monimuuttujamittaukset ja diagnostiikkatiedot HART-viestinnän kautta. Lähetin on suunniteltu erityisesti teollisiin sovelluksiin, kuten kemian-, petrokemian- ja jalostusteollisuuden sekä jatkuviin prosessi- ja massatasapainosovelluksiin. Se tarjoaa suurempia kustannussäästöjä prosessin johdonmukaisuuden ja maksimoidun käyttöajan ansiosta. (13.)

4200-sarjan lähetin on ATEX-luokiteltu, ja se on sertifioitu SIL2- ja SIL3-turvallisuussovelluksiin IEC 61508 -standardin mukaisesti, mikä takaa käyttöturvallisuuden vaativissakin ympäristöissä. Lähetimen toimintalämpötila on  $-40\text{ °C} - +65\text{ °C}$ , joka mahdollistaa luotettavan toiminnan laajalla lämpötila-alueella. (13.)



KUVA 11. Micro Motion 4200-lähetin

Tiedonsiirto lähettimeltä logiikalle (PLC) on mahdollista 4–20 mA:n virtaviestillä, joka sisältää HART-viestintään. Lisäksi tarjolla on vaihtoehtoja digitaaliseen viestintään, kuten Modbusin kautta, joka tarjoaa joustavuutta kenttäväylävalinnassa. Virtalähteenä voidaan käyttää 4–20 mA:n virtasil-mukkaa, mikä vähentää lisävirran tai kaapeloinnin kustannuksia. (13.)

4200-lähetin tarjoaa käyttäjille lisätoiminnallisuuksia, kuten laajan diagnostiikan SMV:n ja Petroleum Measurement and API Correction Optionin, jotka tarjoavat kehittyneitä mittaus- ja diagnostiikkaominaisuuksia suoraan kentältä. Lähetin on suunniteltu olemaan kompakti, mikä säästää tilaa integroiduissa järjestelmissä ja yksiköissä. (13.)

Lähettimen kotelo on valmistettu joko polyuretaanimaalattusta alumiinivalusta tai 316 L-luokan ruostumattomasta teräksestä ja se on IP66/67/69k luokitettu, mikä tarjoaa suojan pölyä, vettä ja korkeapainevesisuihkua vastaan (13).

## 7.2 Anturit

Terässulatolla käytettävät coriolis-massavirtausanturit koostuvat Micro Motion ELITE CMF-mallisarjasta sekä F-mallisarjasta. Antureiden koot terässulatolla ovat välillä 50–400. Kokotaulukko antureissa menee siten, että 50 tarkoittaa puolen tuuman (1,25 cm) ja 400 tarkoittaa neljän tuuman (10 cm) putkeen asennettavaa anturia. (12.) Kokoja on saatavilla CMF malleihin DN6 – DN350 ja F-malleihin välillä DN6-DN100. (12; 13) Molemmille mallisarjoille on omat spesifit käyttökohteensa.

Anturissa on mallin mukaan joko yksi tai kaksi tyyppikilpeä. Ensimmäinen tyyppikilpi ilmaisee anturin mallikoodin, sarjanumeron, anturiposition, tyyppihyväksynnän merkinnän ja anturin kalibroinnin yhteydessä muodostuneen vakion. Anturivakio on tärkeä tilanteessa, jossa lähetin joudutaan vaihtamaan. Silloin anturivakio täytyy syöttää uuteen lähettimeen mittauksen oikeellisuuden varmistamiseksi. (14.)

Esimerkiksi CMF-200 anturin tyyppikilvessä (kuva 12) oleva koodi CMF200M382NRHZHZZZ muodostuu seuraavasti (14)

CMF200M = anturin malli (coriolis-massavirtausanturi, joka on valmistettu standardin mukaisesta 316 L-luokan ruostumattomasta teräksestä)

382 = putken koko DN40, PN40, DIN2635, mittaputkien materiaali F316L tai F316L ruostumaton teräs, hitsattava kauluslaippa ja C-muotoinen kiinnityspinta

N = anturin kotelo valmistettu 316 L-luokan ruostumattomasta teräksestä

R = 9-johdinta sisältävä polyuretaanimaalattu alumiininen anturin liitäntäkotelo

H = nikkeli-päälysteinen messinkikaapelitiiviste

Z = ATEX-laiteluokka 2 (Vyöhyke 1) / PED-direktiivin mukainen

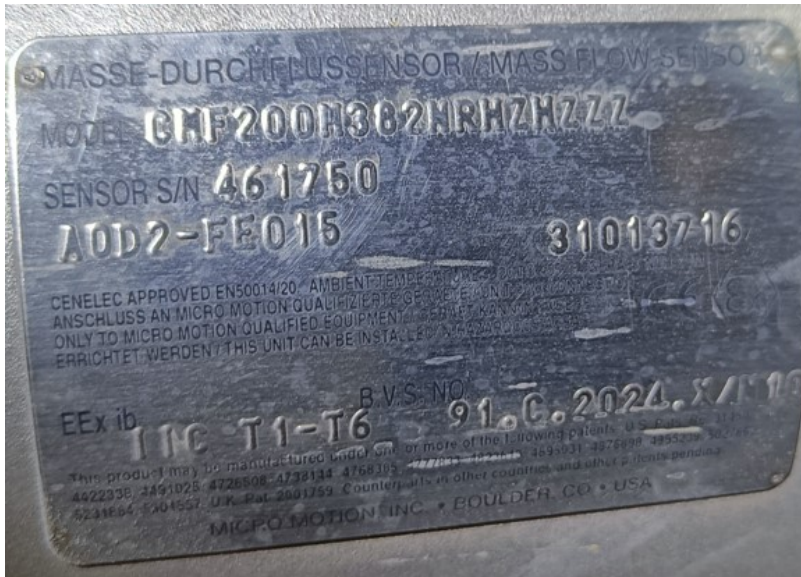
H = suomenkielinen CE-vaatimusten asiakirja ja englanninkielinen asennusohje

Z = 0.10 % massavirtaus ja 0.5 kg/m<sup>3</sup> (0.0005 g/cm<sup>3</sup>) tiheyskalibrointi

Z = ei mittaussovellusohjelmistoa

Z = standardituote.





KUVA 12. CMF200M-massavirtausanturin tyypikilpi 1

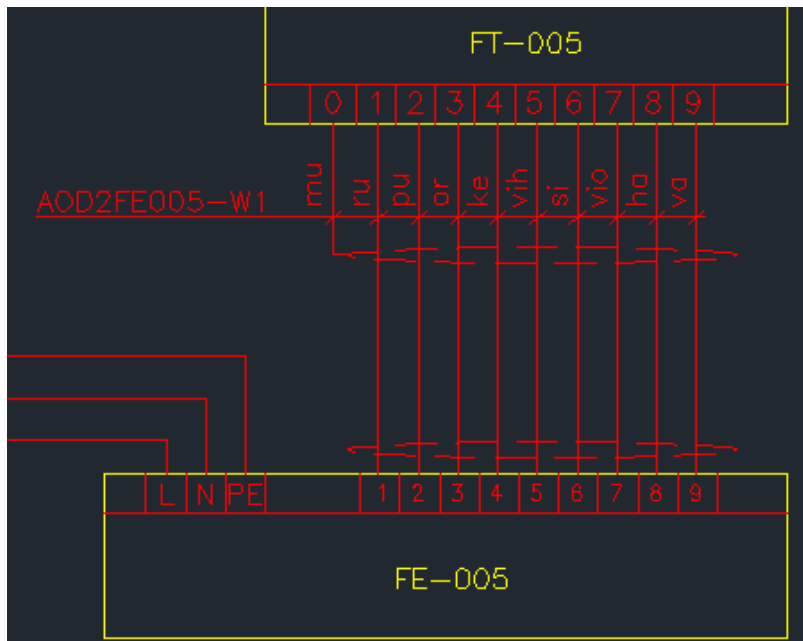
F-sarjan antureissa tyypikilven mallikoodi muodostuu samalla tavalla (15).

Toinen tyypikilpi (kuva 13) ilmaisee mallikoodin, anturin sarjanumeron, anturin toimintalämpötila-alueen, virtauksen kalibrointikertoimen, tiheyden kalibrointikertoimen, virtauksen suunnan, lämpötilakompensaation sekä anturin paineenkeston mittausputkille, liitokselle sekä kotelolle (14).



KUVA 13. CMF200M-massavirtausanturin tyypikilpi 2

Anturin ja lähettimen välillä on yleensä joko 4-johtiminen tai 9-johtiminen kaapeli (kuva 14). Anturille tulee myös oma 230 V:n virransyöttö. (14.)

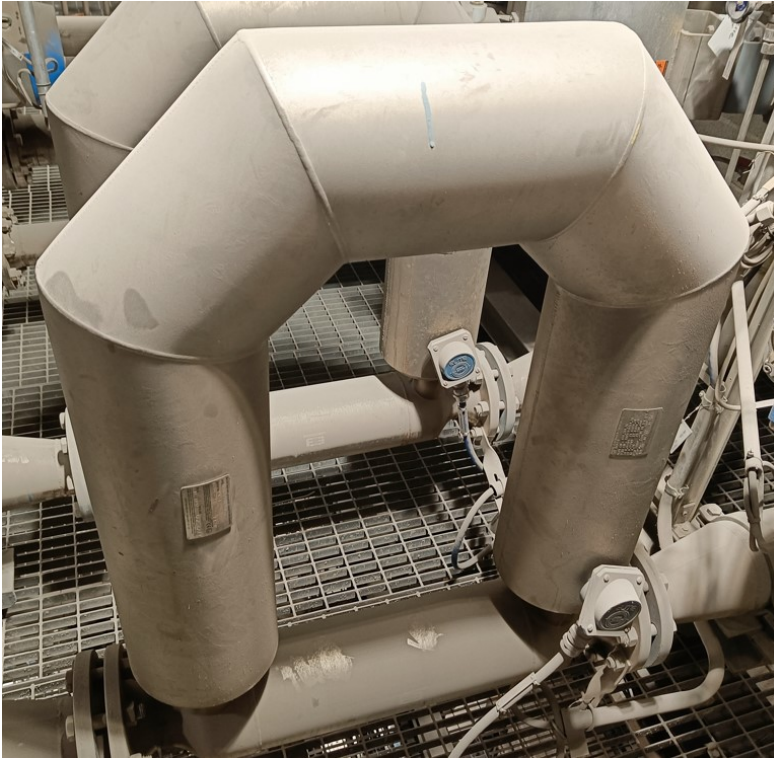


KUVA 14. Lähettimen ja anturin välinen kaapelointi 9-johtimisella kaapelilla

### 7.2.1 ELITE CMF-sarja

ELITE CMF coriolis-massavirtausanturit (kuva 15) on luotu raskaaseen teollisuuteen, missä vaaditaan erittäin tarkkoja mittaustuloksia myös matalammilla kaasun, nesteen tai lietteen virtausnopeuksilla. Anturit voidaan asentaa myös paksuihin putkilinjoihin, koska antureita on saatavilla jopa DN350 putkikokoihin asti. (14.)

Antureita on saatavilla eri materiaaleista valmistettuina, kuten ruostumattomista teräksistä ja nikkeliseoksista, joilla saavutetaan korkea kestävyys ja pitkä käyttöikä vaativissakin teollisissa ympäristöissä. Niiden merkittävimpiä etuja on niiden kyky suoriutua kahden faasin virtauksen mittauksista, mikä on tyypillistä sovelluksille, joissa esiintyy sekä kaasua että nestettä virtauksessa. CMF100, -200, -300 ja -400 anturit toimivat matalalla, 100–150 hertsin ajotaajuudella. (14.)



KUVA 15. CMF300M-anturi

Erittäin korkea mittaustarkkuus saavutetaan syvän U-muotoisen kaksoismittausputken ansiosta ja tarkkuus CMF-antureilla nesteen ja lietteiden virtausmittauksessa onkin tavanomaisesti  $\pm 0.10$  % mittausarvosta, ja premium-vaihtoehto tarjoaa jopa  $\pm 0.05$  % tarkkuuden. Tämä tarkkuus sisältää mittarin toistettavuuden, lineaarisuuden, hystereesin ja muut ei-lineaariset tekijät. Kaasujen virtausmittauksen tarkkuus on  $\pm 0.25$  % mittausarvosta vakioasetuksilla ja PWL linearisoinnin jälkeen  $\pm 0.1$  %. Tiheyden mittauksen tarkkuus standardiasetuksilla on  $\pm 0.5$  kg/m<sup>3</sup> ( $\pm 0.0005$  g/cm<sup>3</sup>) ja premium-vaihtoehdolla jopa  $\pm 0.2$  kg/m<sup>3</sup> ( $\pm 0.0002$  g/cm<sup>3</sup>). Lämpötilan mittauksen tarkkuus on  $\pm 1$  °C tai  $\pm 0.5$  % mittauslukemasta. ELITE-anturit on kalibroitu ISO/IEC 17025 kalibroitilaitoksilla, jotka tarjoavat pienen mittauksen virhemarginaalin,  $\pm 0,014$  %. (14.)

Anturi liitetään lähettimeen joko 4- tai 9-johtimisella kaapelilla ja se tukee SMV-varmennusta, jonka avulla saadaan jäljitettävä kalibroinnin varmennus. Tämä tapahtuu muun muassa vertaamalla anturin sisällä olevien mittausputkien ominaisuuksia tehtaalla standardoituihin arvoihin. Varmennus voidaan suorittaa joko kertaluontoisesti nappia painamalla tai jatkuvana varmennuksena, ja varmennustietoja voidaan tarkastella jälkikäteen. (14.)

## 7.2.2 F-sarja

F-sarjan coriolis-massavirtausanturit (kuva 16) ovat yleisantureita nesteen tai kaasun massavirtauksen mittaamiseen. Ne pystyvät käsittelemään monenlaisia virtausnopeuksia ja prosessiolosuhteita. Tämän anturin etuna on se, että 1000- ja 2000-sarjojen lähettimet voidaan asentaa siihen integroidusti. Tarkkuus ei ole yhtä korkea verrattuna CMF-antureihin johtuen anturin mittausputkien neliskanttisesta muodosta ja koosta. F025-, F050-, F100-, F200-, F300- ja F400-anturit toimivat keskialueen, eli 150–300 hertsin, ja F150-anturi korkealla yli 300 hertsin ajotaajuudella. (15.)

Antureiden nesteen massa- ja tilavuusvirtauksen mittaustarkkuus on premium-luokassa  $\pm 0.05$  %, enhanced-luokassa  $\pm 0.1$  %, intermediate-luokassa  $\pm 0.15$  % ja basic-luokassa  $\pm 0.2$  %. Kaasun massavirtauksen tarkkuus F050S/H-, F100S/H-, F150S-, F200S/H-, F300S/H- ja F400S-malleilla on  $\pm 0.35$  % ja F025S/H-mallin kaikilla korkean lämpötilan (A/B) ja korkean paineen (P) malleilla tarkkuus on  $\pm 0.5$  % mittausravosta. (15.)

Anturit on valmistettu korkealaatuisista materiaaleista, kuten 316-L-luokan ruostumattomasta teräksestä ja C22-nikkeliseoksesta, jotka takaavat pitkän käyttöiän ja korkean kestävyuden vaativissa teollisissa ympäristöissä (15).



KUVA 16. Erikokoisia F-sarjan antureita lähettimineen (15)

F-sarjan anturit soveltuvat erilaisille teollisuudenaloille mukaan lukien kemianteollisuus, öljy- ja kaasuteollisuus, elintarviketeollisuus ja lääketieteollisuus. Ne ovat puhdistettavia sekä itsestään tyhjeneviä. F-sarjan anturit tukevat SMV-varmennusta joko kertaluontoisina testauksina tai jatkuvana varmennuksena. (15.)

### 7.3 Varastotilanne

Terässulaton coriolis-massavirtausmittareiden varastotilanne selvitettiin käyttämällä apuna kunnossapidon tietojärjestelmää (kuva 17) ja siinä olevaa tehdasetsijä-työkalua. Tämän työkalun avulla voidaan etsiä tuotenimikkeitä kaikista Outokummun Tornion tehtailla ja Kemin kaivoksella olevista varastoista.

Nimike: LÄHETIN MICRO MOTION 9739 MVD

Tunnus: 693397 Nimi: LÄHETIN MICRO MOTION 9739 MVD

Nimike Yleiset Lisätiedot

Nimikkeen nimi SAPissa:	LÄHETIN MICRO MOTION 9739 MVD
Lisätteksti SAPissa:	9739MVD63YCHZZ
Lisätteksti SAPissa rivi 2:	
Nimike poistumassa:	
Nimikkeen saldotiedot:	JTV1 4/A9 1KPL
Osan nimi toimittajan kielellä:	
Osan nimi englanniksi:	
Toimittajan numero/koodi:	
Toimittajan piirustusno:	
Valmistaja (lyhenne):	
Valmistajan numero /koodi:	
OKTOn piirustusno:	
Huomautus:	

Sejaa...  
Etsi...  
Sulje  
Tallenna  
Käyttöpaikat...  
Qsaluettelo...

KUVA 17. 9739MVD-lähettimen nimiketiedot KUTI:ssa

Nimikehauilla löytyivät varastopaikat RFT9739-, 9739MVD-, ja 2700-lähettille sekä F100-, CMF025M-, CMF 050S- ja CMF100M-antureille. Paikan päällä tehdyn varmistuskierroksen jälkeen varastosta löytyivät RFT9739- ja 9739MVD-lähetimet sekä CMF100M- ja F100-anturit. Loput laitteet ovat kauttakulkuvarastossa eli niitä saadaan tilattua tehtaalle nopeasti. 1700- ja 4200-lähettille, sekä CMF200M-, CMF300M- ja CMF400M-antureille ei ollut luotu materiaalikoodia, joten niille ei ole myöskään varastopaikkaa. Tämä tarkoittaa sitä, että lähetimet ja anturit tilataan tarvittaessa joko kauttakulkuvaraston kautta ja ilman materiaalikoodia olevat laitteet suoraan laitteiden toimittajalta hieman hitaamman prosessin kautta.

Toimittajan varastotilanne selvitettiin. Kaikkia lähetimiä sekä antureita on saatavilla lyhyelläkin toimitusajalla poikkeuksena RFT9739-, 9739MVD- ja IFT9701-lähetimet, joita ei enää valmisteta.

## 8 MASSAVIRTAUSMITTAREIDEN ELINKAARI JA KORVAAVAT LAITTEET

Coriolis-massavirtausmittareiden elinkaaren voidaan sanoa olevan loppuvaiheessa, kun mallien valmistus on loppunut ja siten myös varaosien saatavuus on vaarantunut. Virallista ohjetta tähän ei ole, ja laitteiden käyttöikä voi olla huomattavan pitkä, jopa kymmeniä vuosia. Yleisesti lähettimeiden elinikä on lyhyempi kuin antureilla, mikä johtuu elektroniikan suuresta määrästä. Osa terässlaturon coriolis-massavirtausmittareiden lähettimeistä ja antureista on jopa 20 vuotta vanhoja.

Emersonin yhteyshenkilön kanssa käytyjen keskustelujen mukaan tietyillä asiakkailta on käytäntöjä, joissa esimerkiksi kriittisten mittauskohteiden lähettimeet vaihdetaan 10–12 vuoden välein. Tämä tosin ei tarkoita sitä, että laitteet olisivat epäkunnossa tai mittaustarkkuus olisi heikentynyt.

### 8.1 Korvaavat lähettimeet

Lähettimeistä korvataan RFT9739-, 9739MVD- ja IFT9701-mallit. Näitä malleja ei enää valmisteta ja varaosien saatavuutta ei voida taata. Kyseiset mallit korvataan joko Micro Motion 4700- tai 5700-malleilla.

#### 8.1.1 4700-malli

Micro Motion 4700-malli (kuva 18) on konfiguroitava I/O-lähetin. Standardiversiossa on kolme täysin mukautettavaa tulo-/lähtökanavaa ja viestintävaihtoehtoina lähettimessä ovat HART, Modbus ja Foundation Fieldbus. Se on kompakti ja integroitu lähetin, joilla voidaan säästää sähköä ja tilaa. Siinä on myös suora massavirtauksen mittaus, jolla voidaan parantaa prosessin hallintaa samalla kun vähennetään tarvittavien mittauslaitteiden määrää. 4700-malli tarjoaa tarkkaa dataa ilman, että tarvitaan erillisiä lämpötilan tai paineen kompensatioita. Sillä voidaan myös laskea ja näyttää standardiolosuhteisiin korjattua tilavuusvirtausta, tiheyttä, lämpötilaa ja konsentraatiota. (16.)

Lähettimeistä löytyvät myös SMV ja Advanced Phase Measurement -ominaisuudet, joilla mahdollistetaan parempi prosessien hallinta monivaiheisissa virtauksissa, kuten kaasu-neste-seoksissa. Nollaustarkistuksella voidaan vahvistaa kalibrointi ja se ilmoittaa, milloin on aika nollata mittari.

Laitteella voidaan myös päästä historiatyökalua käyttämällä käsiksi yksityiskohtaiseen lyhytaikaiseen tai pitkäaikaiseen mittausdataan. (16.)

4700-malli on CSA C-US-, ATEX EU- sekä IECEx- luokitettu, joten monipuoliset asennukset ovat mahdollisia vaarallisissakin ympäristöissä. Laitteen kotelo on NEMA 4X (IP66/67/68) polyuretaani-maalattua valettua alumiinia. Lähettimen käyttölämpötila-alue on  $-52^{\circ}\text{C}$  -  $+65^{\circ}\text{C}$ . Laitteessa on vakiona LCD-näyttö ja lisäominaisuutena on saatavana Bluetooth, jolla saadaan lähettimeen langaton yhteys jopa 15 metrin päästä. (16.)



*Kuva 18. Micro Motion 4700-lähetin (16)*

### **8.1.2 5700-malli**

5700-mallin erot 4700-malliin verrattuna ovat nopeampi prosessointi, viisi täysin mukautettavaa tulo-/lähtökanavaa, pitempi lyhyt- ja pitkäaikainen historiatyökalun muisti, SD-korttipaikka mm. konfigurointien siirtämiseen laitteesta toiseen sekä WiFi-yhteys lähettimen etähallintaan (17).

## **8.2 Korvaavat anturit**

Antureita ei korvata, koska ELITE CMF-sarjan ja F-sarjan antureita valmistetaan edelleen. Niissä on riittävät ominaisuudet tarkkoihin mittaustuloksiin. Antureita tullaan vaihtamaan korvaaviin malleihin tarvittaessa mahdollisen vikaantumisen tai tulevien suurkorjausten yhteydessä.

## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa elinkaariselvitys terässulatolla olevista coriolis-massavirtausmittareista, koska osa laitteista oli obsolete-tilassa ja vanhentuneet laitteet täytyi kartoittaa. Kokemusta massavirtausmittareista ei minulla juurikaan ollut, joten työn alkuvaihe sisälsi paljon perehtymistä Coriolis-virtausmittauksen teoriaan ja terässulaton CRK- ja AOD-prosesseihin. Samalla sain kasvatettua tietämystäni myös prosessikaasujen käytöstä ruostumattoman teräksen valmistuksessa ja niiden mittaustarkkuuden tärkeydestä.

Työn keskivaiheessa massavirtausmittarit kartoitettiin ja listattiin Excel-taulukoon. Tämä sisälsi perusteellista tutustumista terässulaton moniin eri kaasunjakohuoneisiin ja siellä sijaitseviin coriolis-massavirtausmittareihin. Samalla myös käytössä olevat lähettimet ja anturit tulivat tutuksi. Mielenkiintoista on, kuinka verrattain vanha coriolis-virtausmittauksen perusteknologia on vielä tänäkin päivänä erittäin tarkka ja luotettava tapa mitata prosessikaasujen virtausta.

Työn loppuvaiheessa coriolis-massavirtausmittareista tehty lista lähetettiin laitteiden toimittajalle ja korvaavista laitteista pyydettiin tarjous. Laitteiden toimittajan ilmoitettua korvaavat laitteet, oli aika perehtyä niiden ominaisuuksiin. Johtopäätöksenä on, että luotettavan perusteknologian rinnalle on tullut huomattavan paljon uusia ominaisuuksia, joilla voidaan muun muassa parantaa mittaustulosten seuranta. Myös laitteiden liitännävaihtoehdot ovat kehittyneet merkittävästi.

Työn aikataulu venyi hieman alkuperäisestä suunnitellusta valmistumispäivästä, koska työtilanteeni muuttui äkisti opinnäytetyön alkuvaiheessa. Positiivisesta ”haasteesta” huolimatta sain järjestettyä aikaa opinnäytetyön tekemiseen. Opinnäytetyön tekoprosessi oli erittäin mielenkiintoinen ja coriolis-massavirtausmittaus oli aiheena erityisen kiinnostava.



## LÄHTEET

1. Outokumpu Oyj 2022. Hakupäivä 21.12.2023. [Outokummun historia | Outokumpu.](#)
2. Outokumpu Oyj 2023. Outokumpu yleisesittely. Outokummun sisäinen verkko O'Net. Hakupäivä 22.12.2023.
3. Ugglä, Jan 1992. Raudan- ja teräksenvalmistus. Koulutuspaketti osa 3. Romupohjainen teräksenvalmistus. Jernkontoret. Metallurgisk forskning.
4. Kauppi, Timo 2006. Ruostumaton teräs ja sen valmistusprosessi. Luentomateriaali luku 3. FeCr- ja sulattoprosessit. Kemi-Tornion AMK.
5. Briney, Amanda 2020. What Is The Coriolis Effect? Hakupäivä 14.2.2024. [What Is the Coriolis Effect? \(thoughtco.com\).](#)
6. Danish, Riaz 2023. Exploring The History And Evolution Of Coriolis Flow Meters. Hakupäivä 22.03.2024. [Exploring The History And Evolution Of Coriolis Flow Meters - SmartMeasurement.](#)
7. O'Banion, Tom 2013. Coriolis: The Direct Approach to Mass Flow Measurement. Hakupäivä 15.01.2024. [article-direct-approach-to-mass-flow-measurement-micro-motion-en-64236.pdf \(emerson.com\).](#)
8. Cunningham, Timothy J. 2015. Verification of Coriolis flow meter calibration: Theory and practice, including lab and field results. Hakupäivä 11.01.2024. [Microsoft Word - Verification of Coriolis Flow Meter Calibration #2015-0164 - for distribution.docx \(emerson.com\)](#)
9. Fisher-Rosemount 2000. Micro Motion. Model RFT9739 Field-Mount Transmitter. Instruction Manual. Version 3 Transmitters. Hakupäivä 18.03.2024. [Installation Manual: Model RFT9739 Field-Mount Transmitter \(emerson.com\).](#)
10. Emerson 2022. Micro Motion Model 9739 with MVD Technology. Product Data Sheet. Hakupäivä 19.03.2024. [Micro Motion Model 9739 with MVD Technology \(emerson.com\).](#)

11. Emerson 2004. Micro Motion Model IFT9701 Transmitter with Optional Display. Instruction Manual. Hakupäivä 25.03.2024. [Model IFT9701 Transmitter Installation Manual \(emerson.com\)](#)
  
12. Emerson 2024. Micro Motion 1000 and 2000 Transmitters with MVD Technology. Product Data sheet. Hakupäivä 20.03.2024. [Product Data Sheet: Micro Motion 1000 and 2000 Transmitters with MVD Technology \(emerson.com\)](#).
  
13. Emerson 2024. Micro Motion 4200 2-Wire Transmitter. Product Data Sheet. Hakupäivä 21.03.2024. [Product Data Sheet: Micro Motion 4200 2-Wire Transmitter \(emerson.com\)](#).
  
14. Emerson 2023. Micro Motion ELITE Coriolis Flow and Density Meters. Product Data Sheet. Hakupäivä 22.03.2024. [Product Data Sheet: Micro Motion ELITE Coriolis Flow and Density Meters \(emerson.com\)](#).
  
15. Emerson 2023. Micro Motion F-series Flow and Density Meters. Product Data Sheet. Hakupäivä 23.03.2024. [Micro Motion F-Series Flow and Density Meters \(emerson.com\)](#).
  
16. Emerson 2024. Micro Motion 4700 Configurable Inputs and Outputs Transmitter. Product Data Sheet. Hakupäivä 25.03.2024. [Product Data Sheet: Micro Motion 4700 Configurable Inputs and Outputs Transmitter \(emerson.com\)](#).
  
17. Emerson 2024. Micro Motion 5700 transmitters. Product Data Sheet. Hakupäivä 25.03.2024. [Product Data Sheet: Micro Motion 5700 Transmitters \(emerson.com\)](#).

## LIITTEET

LIITE 1 Jt-sulaton massavirtausmittareiden listaus (salassapidettävä)