



# **KIINTOAINEMITTAUS IMURUOP- PAAJAAN**

Juuso Nieminen

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2015  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

JUUSO NIEMINEN:  
Kiintoainemittaus imuruoppajaan

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Maaliskuu 2015

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda imuruoppajaan kiintoaineen mittausjärjestelmä, jonka avulla saadaan määritettyä ruoppauskohteesta poistunut tilavuus. Järjestelmän avulla saadaan ruoppauksen tehokkuutta korkeammaksi, koska kuljettaja näkee putkilinjassa kulkevan lietteen ominaisuudet ja voi näin säätää niitä haluttuun suuntaan. Järjestelmän avulla saadaan myös laskutusta tarkemmaksi. Opinnäytetyössä käsitellään eri vaihtoehtoja mittauksen suorittamiselle sekä esitetään matemaattiset funktiot laskelmien suorittamiseksi.

Lopullinen järjestelmä koostuu magneettisesta virtausmittarista, radiometrisestä tiheysmittarista sekä ohjaamoon sijoitettavasta piirturista. Järjestelmässä on myös etäyhteys mahdollisuus. Opinnäytetyön aikana ei ehditty saamaan muita komponentteja kuin piirturi, joten piirturin asetuksista on kerrottu tarkemmin. Järjestelmän komponenttien hinnaksi tuli noin 19000 €, joka on huomattavasti halvempi kuin markkinoilla olevat valmiit järjestelmät.

Ruoppauslietteen vaihtuvista ominaisuuksista johtuen, mittaustuloksissa voi olla suuria virheitä. Siksi järjestelmään on syötettävä jokaisella työmaalla erillisten mittausten perusteella saadut lietteen paikallinen tiheys ja kuivatiheys. Mittauksen tarkkuus perustuu lähes ainoastaan näiden arvojen tarkkuuteen. Lopullinen mittaustarkkuus on käytännössä noin 10 %, mutta järjestelmän käyttöönoton aikana kannattaa suorittaa mittaukset myös perinteisillä menetelmillä, jotta saadaan parempi kuva järjestelmän tarkkuudesta.

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Product Development

JUUSO NIEMINEN:  
Concentration measurement for suction dredger

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 7 pages  
March 2015

---

The purpose of this thesis was to create a concentration measurement system for a suction dredger, which can measure the volume of matter dredged from a given area. With this system, effectiveness of the dredging can be higher, because the driver sees the properties of the slurry and they can be adjusted this way in the desired direction. With the help of the system, billing can also be more exact. This thesis deals with different alternatives for the measuring and also the mathematical functions for calculations needed in the process.

The final system consists of a magnetic flow meter, a nuclear density meter and a plotter which is placed in the cabin. There is also optional remote connection in the system. During the writing of this thesis, the plotter was the only component which was bought, so settings of the plotter are discussed in more detail. The final system components cost about 19000 €, which is considerably cheaper than the systems on the market.

Due to the changing properties of slurry, there can be significant errors in the measurement results. Therefore the in situ-density and dry density of the slurry must be determined at every site and they must be fed into the system. The exactness of the measuring is based only on the exactness of these values. The final measuring error is about 10% in practice. Measurements done with the traditional methods are also worth performing during the system start up, so that a better picture about the exactness of the system can be obtained.

---

Key words: concentration measurement, nuclear density meter, magnetic velocity meter

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TYÖN TILAAJA JA RUOPPAUSPROSESSI.....	8
	2.1 Vesirakennus Ojanen Oy .....	8
	2.2 Ruoppaus .....	8
	2.3 Vesimestari .....	8
	2.3.1 Geotube –tekniikka .....	10
	2.4 Mittausjärjestelmän vaatimukset .....	12
3	KIINTOAINEMITTAUS .....	13
	3.1 Toimintaperiaate .....	13
	3.2 Virtausmittaus .....	16
	3.2.1 Ultraääneen perustuva mittaus .....	17
	3.2.2 Paine-ero menetelmään perustuva mittaus.....	18
	3.2.3 Coriolis –voimaan perustuva mittaus.....	19
	3.2.4 Magneettinen virtausmittaus .....	20
	3.3 Tiheysmittaus.....	22
	3.3.1 Radiometrinen tiheysmittaus.....	23
	3.4 Mittauksen virhe .....	26
4	SÄTEILYN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄT VELVOITTEET .....	29
	4.1 Säteilyn käyttö .....	29
	4.2 Turvallisuuslupa.....	29
	4.3 Vastaava johtaja.....	30
	4.3.1 Käyttöpaikan vastuhenkilö.....	31
	4.4 Työntekijöiden suojelu .....	31
	4.5 Kuljetus.....	32
	4.6 Muut velvoitteet.....	33
	4.7 Kustannukset.....	33
5	TARJOUSPYYNNÖT .....	35
	5.1 Lähtökohdat .....	35
	5.2 Toimittajat 1 ja 2.....	35
	5.3 Toimittajat 3, 4 ja 5.....	38
	5.4 Toimittajien valinta.....	40
6	JÄRJESTELMÄN ASENNUS JA KONFIGUROINTI.....	43
	6.1 Laitteiden tilaus.....	43
	6.2 Putket ja anturit.....	43
	6.3 Piirturin ja anturien konfigurointi .....	45
	6.3.1 Math-funktiot .....	46

6.3.2 Piirturin käyttöliittymä .....	47
6.3.3 Piirturin testaus .....	49
7 POHDINTA.....	52
LÄHTEET.....	54
LIITTEET .....	57
Liite 1. Vaatimuslista .....	57
Liite 2. Virhelaskelma .....	58
Liite 3. Putkien valmistuskuvat .....	62

## LYHENTEET JA TERMIT

$A_p$	Putken virtauspinta-ala
$v_m$	Keskimääräinen virtausnopeus putkessa
$Q_{vm}$	Lietteen tilavuusvirta
$Q_{vsi}$	Paikallisen kiintoaineen tilavuusvirta
$\Delta Q_{vm}$	Lietteen tilavuusvirran virhe
$\rho_m$	Lietteen/seoksen tiheys
$\rho_f$	Nesteen tiheys
$\rho_s$	Kiintoaineen kuivatiheys
$\rho_{si}$	Kiintoaineen paikallinen tiheys (eng. in situ-density)
$\Delta\rho_{sl}$	Lietteen tiheyden virhe
$\Delta\rho_l$	Nesteen tiheyden virhe
$\Delta\rho_s$	Kiintoaineen kuivatiheyden virhe
$\Delta\rho_{si}$	Kiintoaineen paikallisen tiheyden virhe
$C_v$	Kiintoaineen tilavuusprosentti
$C_w$	Kiintoaineen massaprocentti
$C_{vsi}$	Kiintoaineen paikallinen tilavuusprosentti
$C_{vd}$	Todellinen toimitettu tilavuusprosentti
$\Delta C_v$	Kiintoaineen tilavuusprosentin virhe
$\Delta sC_v$	Kiintoaineen tilavuusprosentin suhteellinen virhe
$\Delta C_w$	Kiintoaineen massaprocentin virhe
$\Delta sC_w$	Kiintoaineen massaprocentin suhteellinen virhe

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaaja oli Vesirakennus Ojanen Oy, joka halusi yhteen ruoppaajaan järjestelmän, jonka avulla voidaan määrittää putkilinjassa kulkevan lietteen kiintoaineen määrä. Yrityksellä ei ole aiemmin ollut tähän tarkoitettua laitteistoa. Tarvittaessa mittaus on tilattu toiselta yritykseltä, joka on mitannut kohteen ennen ruoppausta ja sen jälkeen. Näin on saatu selville ruopattu kiintoaineen määrä.

Koska yrityksen käytössä olevissa ruoppaajissa ei ole ollut kyseistä järjestelmää, lietepumpun tehon ja puomin liikenopeuden säätely onkin perustunut ainoastaan kuljettajan ammattitaitoon ja valmistajan antamiin ohjeisiin. Kuljettaja on voinut arvioida kiintoaineen määrää lietepumpun hydraulipaineen perusteella, joten tarkkuus on ollut hyvin suurpiirteistä. Myöskin eri kohteissa olevien sedimenttien ominaisuudet vaihtelevat suuresti, jolloin uudessa kohteessa kuluu turhaan aikaa sopivien säätöjen hakemiseen.

Yrityksellä oli tiedossa yksi ulkomainen ruoppaukseen erikoistunut toimittaja, jolta oli pyydetty tarjous mittausjärjestelmästä vuonna 2013. Tarjous koski neljää laitteistoa ja kokonaishinta oli 144 400 euroa, jolloin yhden järjestelmän hinnaksi tulisi 36 100 euroa. Yritys halusi kuitenkin selvittää, olisiko vastaava laitteisto mahdollista saada edullisemmin ja kotimaisen toimittajan kautta, jolloin myös tekninen tuki olisi helpommin ja edullisemmin saatavilla.

Vuonna 2013 pyydetyn tarjouksen perusteella yrityksellä oli jo vahva käsitys siitä, että ainoa luotettava menetelmä lietteen mittaukseen olisi radiometrinen tiheysmittaus ja magneettinen virtausmittaus. Radiometrinen tiheysmittaus vaatii turvallisuusluvan, joten yritys halusi myös selvittää, että mitä käytännön toimenpiteitä tämä vaatii.

## **2 TYÖN TILAAJA JA RUOPPAUSPROSESSI**

### **2.1 Vesirakennus Ojanen Oy**

Vesirakennus Ojanen Oy on vuonna 2003 perustettu maa- ja vesirakennusalan yritys. Päätoimipaikka sijaitsee Punkalaitumella ja yritys työllistää noin 30 henkilöä.

Yrityksen päätoimiala on pilaantuneiden vesien ja lietteiden käsittely altaissa ja muilla vesialueilla. Ruoppaus tapahtuu suomalaisella Vesimestari imuruoppaus- kalustolla, joita yrityksellä on neljä kappaletta.

Ruoppauskohteet ovat yleisimmin teollisuuden käytössä olevia jätealtaita, joissa ruoppaus tehdään Geotube –tekniikalla. Vuoteen 2014 mennessä yritys on ruopannut kohteita Suomen lisäksi mm. Norjassa ja Ruotsissa.

### **2.2 Ruoppaus**

Ruoppauksella tarkoitetaan maansiirtotapaa, jossa vedenalainen maa (myös kivet, lohkat ja louhe) irrotetaan, siirretään ja läjitetään uivalla, erityisesti vedenalaiseen maansiirtoon tarkoitettulla kalustolla. Ruoppaajat voidaan lajitella toimintatavan perusteella kauha- ja imuruoppaajiin. Kauharuoppaajat irrottavat maa-aineksen kauhalla, jolla maa edelleen siirretään kuljettimille tai kuljetusaluksen ruumaan. (Hartikainen, 2007, 151)

Imuruoppaajissa on voimakkaat pumpput, joiden avulla ruopattava maa ensin irrotetaan. Samalla se sekoittuu veteen vellimäiseksi seokseksi. Seos nostetaan ja siirretään lopuksi putkistoa pitkin joko suoraan läjitykseen tai kuljetusaluksen ruumaan. (Hartikainen, 2007, 151)

### **2.3 Vesimestari**

Vesimestari (kuva 1) on suomalainen monitoimiruoppaaja, jolla voi tehdä monia vesirakentamiseen liittyviä töitä. Laitteeseen saa monia eri varusteita, jolloin sillä voidaan paaluttaa, kaivaa ja pumpata. Vedessä laitteen ankkurointi perustuu omiin tukijalkoihin.



Näiden jalkojen avulla se pystyy myös liikkumaan maalla sekä nousemaan kuljetusalustan päälle ja sieltä pois täysin itsenäisesti.



KUVA 1. Vesimestari imuruoppaus kalustolla.

Vesimestarin imuruoppauskalustoon kuuluu kuvassa 2 näkyvä kauhan tilalle asennettava pumppu/repijä yhdistelmä sekä putkilinja. Imupumppu ja repijä saavat voimansa omilta hydraulimoottoreilta, joiden pyörimisnopeutta säädetään ohjaamosta.



KUVA 2. Vesimestarin imupumppu ja repijä

### 2.3.1 Geotube –tekniikka

Imuruoppauksessa lietteen kiintoaineen massapitoisuus on vain noin 5-40 % massasta, joten veden määrä on hyvin suuri verrattuna kauharuoppaukseen. Siksi on perinteisesti vaadittu suuri alue, jonne liete on johdettu. Geotube –tekniikan avulla vaadittava alue saadaan huomattavasti pienemmäksi ja lietteen lopullinen kiintoainepitoisuus huomattavan korkeaksi.

Geotube –tekniikan pääkomponentteja ovat kuvassa 3 näkyvä geotube -säkki ja lietteeseen sekoitettava polymeeri. Säkkejä voidaan sijoittaa päällekkäin, milloin tarvittava läjitysalueen pinta-ala pienenee.



KUVA 3. Geotube –säkki toiminnassa

Ruoppaajalta tuleva liete johdetaan putkilinjaa pitkin sukkamaisiin geotube -säkkeihin. Ennen säkkejä putkilinjaan johdetaan polymeeriä tietty prosenttiosuus, jonka tarkoituksena on tehostaa lietteessä olevan kiintoaineen erottumista vedestä. Lietteessä oleva vesi pääsee poistumaan säkin huokoisen materiaalin läpi, minkä jälkeen se johdetaan takaisin vesistöön.

Putkilinja haaroitetaan jokaiseen säkkiin ja jokaiselle säkille laitetaan oma venttiili. Tällöin säkin täytyttyä voidaan venttiilien avulla johtaa liete eri säkkiin. Koska vesi pääsee tihkumaan säkin huokoisen materiaalin läpi, suljettuun säkkiin voidaan myöhemmin pumpata lisää lietettä. Tällä tekniikalla ruoppaaja voi pumpata taukoamatta. Säkkeihin pumpataan lietettä niin monta kertaa, että niiden kiintoaineen tilavuusprosentti on mahdollisimman suuri. Täysinäiset säkit jätetään yleensä talven ajaksi kuivumaan, minkä jälkeen niiden sisältämä kiinteä maa-aine voidaan kuljettaa perinteisesti kuorma-autoilla pois alueelta.

## 2.4 Mittausjärjestelmän vaatimukset

Aluksi tehtiin vaatimuslista halutusta järjestelmästä (liite 1). Sen avulla saatiin käsitys, mitä komponentteja ja ominaisuuksia järjestelmältä haluttiin. Laitteiston avulla haluttiin erityisesti kasvattaa ruoppauksen tehokkuutta, joten mittatarkkuus ja helppokäyttöisyys olivat tärkeitä kriteerejä. Myös toimintavarmuus haluttiin korkeaksi, joten jo tässä vaiheessa kävi selväksi, että putkistoon ei saa tulla mitään esteitä anturien vuoksi. Laitteisto asennetaan vesimestarin kannelle, joten anturien koko on myös rajallinen.

Vaatimuslistan pohjalta lähdettiin selvittämään eri vaihtoehtoja mittauksen toteuttamiselle. Tarjouspyyntöjä varten oli selvitettävä mitkä menetelmät ovat soveltuvia ruoppaus tarkoitukseen ja mitä komponentteja eri menetelmät vaativat.

### 3 KIINTOAINEMITTAUS

#### 3.1 Toimintaperiaate

Kiintoaineella tarkoitetaan kiinteiden partikkeleiden määrää kuljettavassa nesteessä. Määrä ilmoitetaan yleensä joko massa- tai tilavuusprosenttina. Esimerkiksi ruoppauksessa prosenttiluku kertoo kuinka suuri osa putkilinjassa kulkevasta seoksesta on kiintoainetta. Näiden prosenttilukujen avulla on helppo laskea ruopattun kiintoaineen määrä ja etenkin massaprocentin avulla kuljettajan on helppo seurata putkilinjassa kulkevan tavarankuljetuksen paksuutta.

Seoksessa olevan kiintoaineen tilavuuspitoisuus voidaan laskea kaavalla 1 (Matousek V., 9). Tilavuusprosentti kertoo seoksessa olevan kuivan kiintoaineen osuuden kokonaistilavuudesta.

$$C_v = \frac{\rho_m - \rho_f}{\rho_s - \rho_f} \quad (1)$$

Vastaavasti seoksessa olevan kiintoaineen massapitoisuus voidaan laskea kaavalla 2 (Matousek, 2004, 10). Ruoppauksessa tavoiteltava massaprocentti on laitteistosta riippuen noin 30-40 %. Kun massaprocentti lähenee 50 prosenttia, poistoputken tukkeutuminen on hyvin todennäköistä (Willard says, 2).

$$C_w = \frac{\rho_s * (\rho_m - \rho_f)}{\rho_m * (\rho_s - \rho_f)} = \frac{\rho_s}{\rho_m} * C_v \quad (2)$$

Ruoppauksessa tilavuuspitoisuutta käytetään useammin kuin massapitoisuutta, koska sen avulla voidaan laskea ruopattu tilavuus. Kaavalla 1 saatavan kuivan kiintoaineen tilavuusprosentin avulla ei kuitenkaan saada laskettua todellista ruopattun aineen tilavuutta, koska veden alla oleva liete ei ole kuivaa, vaan siihen on jo siellä sekoittunut vettä. Tämän lietteen tiheydestä käytetään nimitystä paikallinen tiheys (eng. in situ density). Paikallinen kiintoaineen tilavuuspitoisuus voidaan laskea kaavalla 3 (Matousek, 10).

$$C_{vsi} = \frac{\rho_m - \rho_f}{\rho_{si} - \rho_f} \quad (3)$$

Kuten kaavasta 3 nähdään, paikallisen tilavuusprosentin laskentaan tarvitaan myös kiintoaineen paikallinen tiheys. Ruoppauksessa ruopattava aine on yleisemmin hiekkaa tai savea, jonka kuivatiheys vaihtelee 2.65-2.75 kg/dm<sup>3</sup> (Scott, 2000, 4; Willard says, 2009, 2). Paikallinen tiheys on kuitenkin huomattavasti pienempi materiaalin huokosiin imeytyneen veden vuoksi ja se vaihtelee suuresti paikallisten ominaisuuksien perusteella. Taulukossa 1 on esitetty tyypillisiä eri materiaalien paikallisia tiheyksiä ja siitä nähdään, että paikallinen tiheys vaihtelee suuresti, jolloin siitä aiheutuva virhe voi olla hyvinkin suuri.

TAULUKKO 1. Paikallisia tiheyksiä eri aineilla. (Matousek, 8)

	Kuivatiheys $\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	Paikallinen tiheys $\rho_{si}$ (kg/m <sup>3</sup> )
Hiesu (Silt)	2650	1100-1400
Löysä lieju (loose clay)	2650	1400-1600
Pakkautunut lieju (packed clay)	2650	1800-2000
Hiekka jossa liejua (sand with clay)	2650	1800-2000
Hiekka (sand)	2650	1900-2000
Karkea hiekka jossa soraa (coarse sand with gravel)	2650	2050-2200
Savilohkareet (clay boulders)	2650	2320

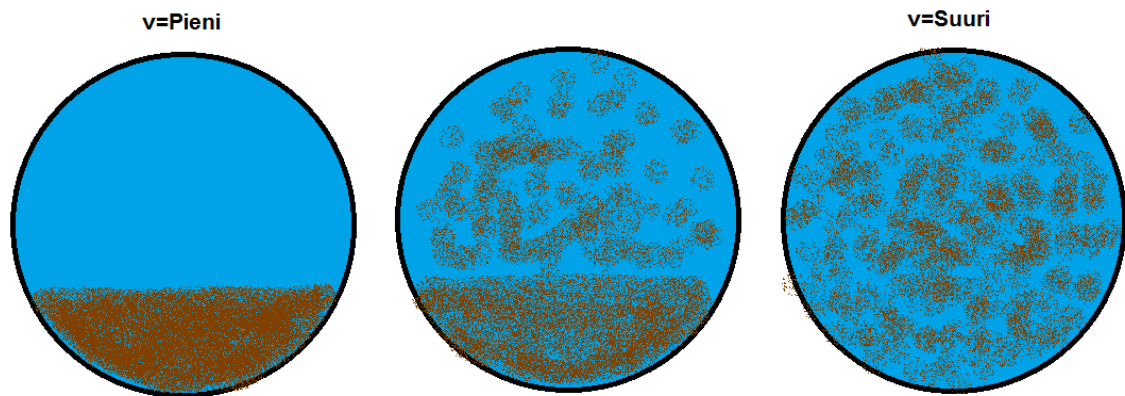
Tilavuus- tai massaprocentin määrittämiseen riittää siis tiheysmittarilta tuleva lietteen kokonaistiheys, kun veden tiheys ja kiintoaineen tiheys tiedetään. Ruoppauksessa halutaan kuitenkin tietää kuinka paljon lietettä pumpataan jossakin ajassa. Tätä varten pitää mitata lietteen virtausnopeus, jonka avulla voidaan laskea lietteen tilavuusvirta kaavalla 4 ja paikallisen kiintoaineen tilavuusvirta saadaan kaavalla 5.

$$Q_{vm} = v_m * A_p \quad (4)$$

$$Q_{vsi} = Q_{vm} * C_{vsi} \quad (5)$$

Vaakatasossa olevassa putkessa nesteen mukana kulkevat kiintoainepartikkelit eivät aina kulje samaa nopeutta kuin kuljettava neste. Jos virtausnopeus putkessa on liian pieni, kiintoaine vajoaa putken pohjalle painovoiman vaikutuksesta, jolloin kiintoaineen ja nesteen nopeusero voi olla hyvinkin suuri. Pahimmillaan kiintoaineen nopeus on nol-la, jolloin putki tukkeutuu. Kohtuuttoman suuri virtausnopeus taas aiheuttaa suuren painehäviön putkilinjaan, mikä tietysti lisää polttoaineen kulutusta.

Kuva 4 esittää kiintoaine- ja nestekerroksen muodostumista putkessa eri virtausnopeuk-silla. Sekoittumiseen vaikuttaa käytännössä nopeuden lisäksi kiintoaineen massapro-sentti, joka myös lisää kerrosten nopeuseroa.



KUVA 4. Virtausnopeuden vaikutus kiintoaineen sekoittumiseen

Kaava 5 pätee vain silloin kun kiintoaine on sekoittunut kunnolla nesteeseen eikä niiden välillä ole nopeuseroja. Jos nopeuseroja pääsee syntymään, ei kaavaa 3 voida suoraan käyttää, koska todellisuudessa kiintoainetta kulkee putkessa vähemmän. Tällöin kiintoaineen tilavuusprosentin määrittäminen putkivirtauksesta onkin perinteisillä mittausmenetelmillä käytännössä mahdotonta. Taulukossa 2 on esitetty mittaustuloksiin perustu-vaa kiintoaineen todellisen tilavuusprosentin  $C_{vd}$  ja paikallisen tilavuusprosentin välistä suhdetta, jota kutsutaan kuljetuskertoimeksi.

TAULUKKO 2. Kuljetuskerroin  $C_{vd}/C_{vsi}$ . (Matousek, 14)

	$C_{vd}$ on pieni	$C_{vd}$ on suuri
Hiesu ja hienommat kiintoaineet (Silt and finer solids)	1,00	1,00
Hieno ja keskikarkea hiekka (Fine and medium sand)	0,80-1,00	0,90-1,00
Keskikarkeasta karkeaan hiekkaan (Medium to coarse sand)	0,70-0,90	0,85-1,00
Karkea hiekka (coarse sand)	0,65-0,85	0,75-0,95
Hieno sora (Fine gravel)	0,65-0,85	0,75-0,9
Lohkareet (Boulders)	0,40-0,65	0,40-0,65

Kuten taulukosta 2 huomataan, karkeammilla kiintoainepartikkeleilla ero voi olla jo huomattava. Laskennassa tämä pitää ottaa huomioon kertomalla kaava 3 vielä kuljetuskertoimella.

Vesirakennus Ojasen tapauksessa kiintoaine on useimmiten hienoa hiekkaa, hiesua, turvetta tai muuta hienojakoista tai kevyttä ainetta, joten kaavaa 5 voidaan käyttää suoraan laskelmissa. Tämä kuitenkin edellyttää, että ruoppaus tapahtuu jatkuvasti riittävän suurella virtausnopeudella, jotta seos on homogeenistä. Tilanteissa, joissa on selkeästi havaittavissa kiintoaineen kerrostumista, pitää mittaustuloksia korjata taulukon 2 kuljetuskertoimilla.

### 3.2 Virtausmittaus

Virtausmittauksessa menetelmän ja laitteiston valintaan vaikuttavat moninaiset seikat, kuten aineen fysikaaliset ominaisuudet, tarkkuusvaatimus, aineessa olevan kiintoaineen määrä ym. (Halko, Härkönen, Lähteenmäki & Välimaa, 1990, 87).

Ruoppauksessa mitattavan aineen joukossa kulkee paljon kiintoainetta. Kiintoaine voi olla suurehkoja kiviä ja kantoja, joten virtausmittarin anturiosassa ei saa olla minkäänlaisia esteitä, koska anturissa olevat ulokkeet voivat vääntyä ja hajota kiveniskuista.

Virtausmittarit voidaan lajitella karkeasti ainetta koskeviin ja koskemattomiin menetelmiin, joten edellisen perusteella voidaan tarkastella vain ainetta koskemattomia antureita, koska tilavuuslaskijat tai muut vastaavat menetelmät eivät tulisi toimimaan.



### 3.2.1 Ultraääneen perustuva mittaus

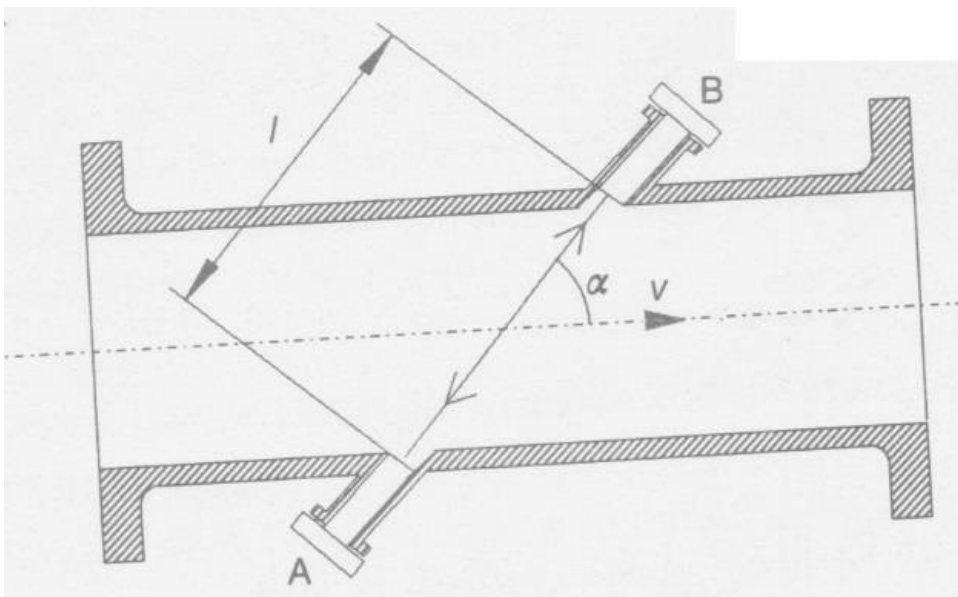
Ultraäänellä tarkoitetaan ihmisen kuuloalueen yläpuolella olevilla taajuuksilla esiintyvää akustista aaltoliikettä, joka etenee kaasussa, nesteessä tai kiinteässä aineessa. Ultraääniaaltojen etenemisnopeuteen vaikuttavat aineen laatu ja olomuoto. Vedessä ultraäänin etenemisnopeus on n. 1500 m/s. Veteen liuenneet aineet aikaansaavat muutoksia etenemisnopeudessa. (Halko ym., 1990, 109)

Kuvassa 5 on esitetty ultraäänin etenemisnopeuteen perustuvan mittauksen periaate. Putken pintaan asennetaan lähettävä ja vastaanottava anturi oikealle etäisyydelle toisistaan ja mittarille syötetään tarkat tiedot putken materiaalista, koosta ja virtaavasta aineesta.

Kaavalla 6 voidaan laskea virtaavan aineen keskimääräinen nopeus (Halko ym., 1990, 109).

$$v_m = \frac{c - v_1}{\cos \alpha} \quad (6)$$

jossa  $v_1$  = ultraäänin nopeus,  $c$  = äänennopeus levossa olevassa aineessa ja  $\alpha$  = ultraäänin ja virtaussuunnan välinen kulma.



KUVA 5. Ultraäänin etenemisnopeuteen perustuva mittaus (Halko ym., 1990, 109).

Kuten kaavasta 6 nähdään, anturin mittaama virtausnopeus on suoraan verrannollinen virtaavan aineen äänennopeuteen. Mittarille tarvitsee siis kertoa tarkka äänennopeus, jotta saadaan tarkka mittaustulos. Tämä aiheuttaa suurimman ongelman mitattaessa epätasalaatuista ainetta, koska epäpuhtaudet aineessa muuttavat aineen äänennopeutta.

Ultraääntä voidaan käyttää myös doppler –ilmiöön perustuvassa mittauksessa. Jos signaali lähetetään kohti liikkuvaa kohdetta, niin kappaleesta takaisin heijastuneen signaalin taajuus poikkeaa lähetetyn aallon taajuudesta. Virtausnopeus on suoraan verrannollinen lähetetyn ja vastaanotetun taajuuden erotukseen (Halko ym., 1990, 112).

Ultraääni virtausmittareita käytetään paljon teollisuudessa ja ne ovat kohtuullisen edullisia. Useimmat valmistajat kuitenkin ilmoittavat, että suurin kiintoainepitoisuus mitattavalla nesteellä saa olla enintään 10 %. Myös Kemppisen (Kemppinen T. 2014) mukaan jo 10 % pitoisuus vaatii erittäin tasaiset olosuhteet, jotta mittaus olisi luotettava ja toistettavissa. Tämän vuoksi Kemppinen ei suosittele ultraääni menetelmää käytettäväksi tässä yhteydessä.

Vesirakennus Ojasella on myös kannettava ultraäänivirtausmittari. Sillä on kokeiltu mitata putkilinjan tilavuusvirtaa niin, että mittarille on annettu veden äänennopeus, mutta saadut tulokset ovat olleet moninkertaisesti todellisuutta pienemmät. (Ojanen S. 2014.)

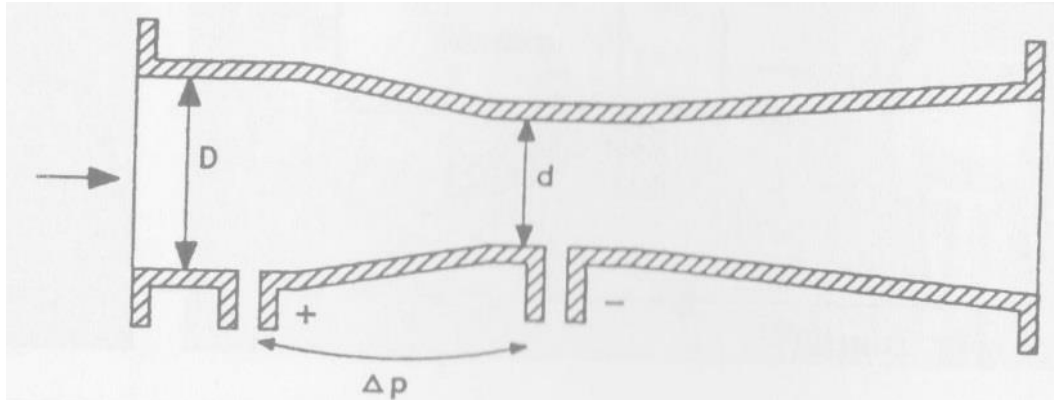
Doppler -ilmiöön perustuvia mittareita voidaan käyttää ruoppauksessa pelkän virtausnopeuden mittaamiseen. Kalibroinnilla niistä saadaan riittävän tarkka tulos pelkän nopeuden seuraamiseen (Willard says. 2004). Ne kuitenkin maksavat noin 3000 euroa ja niiden tarkkuus on silti huonompi kuin magneettisilla virtausmittareilla. Ne vaativat myös kalibroinnin kun lietteen ominaisuudet muuttuvat paljon.

### **3.2.2 Paine-ero menetelmään perustuva mittaus**

Putkivirtauksessa on putken joka kohdassa sama massavirtaus. Nesteillä tämä pätee myös tilavuusvirtaukseen. Jos putkessa on kaventuma, siinä on suurempi virtausnopeus kuin muualla putkessa. Nopeuden lisäykseen tarvittavaa energiaa ei kuitenkaan saada tyhjästä, vaan samalla nesteen paine laskee. Putkistossa tällainen kaventumakohta ai-

heuttaa aina pysyvän painehäviön (Pihkala, 2004, 67). Bernoullin lakia soveltamalla voidaan putken dimensioiden ja mitatun paine-eron avulla laskea putkessa kulkeva tilavuusvirta.

Ruoppaukseen sopivin paine-eroon perustuva menetelmä on kuvan 6 mukainen venturiputki. Venturiputki aiheuttaa hyvin pienen pysyvän painehäviön, eikä siinä ole mitään osia, jotka voisivat vaurioitua virtauksessa.

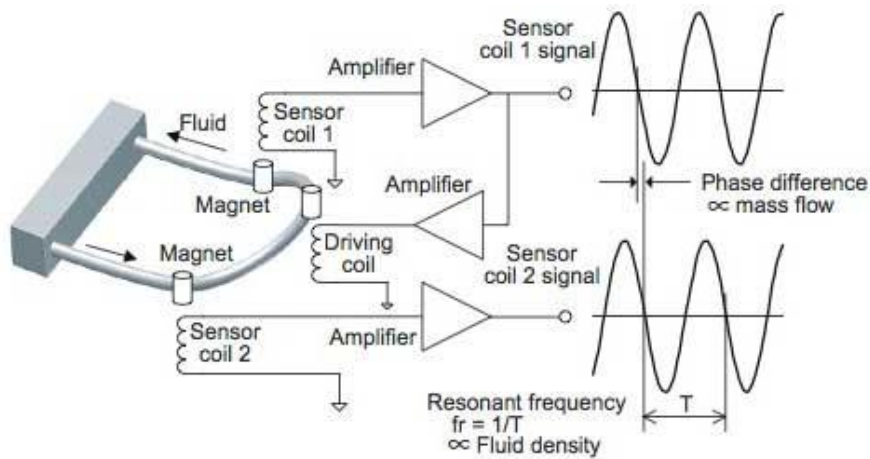


KUVA 6. Venturiputki. (Pihkala, 2004, 72)

Käytännön ongelmia ovat kuitenkin suuren putken vaikea valmistettavuus ja paineen mittausröikien tukkeutumismahdollisuus. Putkesta pitäisi tehdä paksuseinäminen, varsinkin kohdista joissa halkaisija muuttuu, jottei se kulu puhki. Kulumisesta johtuen putken dimensiot muuttuvat ja se tarvitsisi kalibroida aika-ajoin.

### 3.2.3 Coriolis –voimaan perustuva mittaus

Massavirta voidaan mitata suoraan Coriolis-voimaan perustuvalla mittarilla. Kuvassa 7 on esitetty anturiosan toimintaperiaate. Virtaava aine johdetaan putkeen jota tärisytetään vakiotaaajuudella. Putken tulo- ja paluupuolella on herkäät anturit, jotka mittaavat putken taajuutta ajan suhteen. Virtaavan aineen inertia aiheuttaa putkeen vääristymän, joka ilmenee antureilta tulevien taajuuksien vaihe-erona. Tämä vaihe-ero on suoraan verrannollinen aineen massavirtaan. Mittausperiaatteesta johtuen aineen ominaisuudet ei vaikuta mittaustarkkuuteen. (Pihkala, 2014, 75).



KUVA 7. Coriolis –voimaan perustuva massavirta mittaus. (Yokogawa. 2014)

Mittauksen etuna on suora massavirran mittaus, jolloin erillistä tiheysmittausta ei vaadita. Kemppinen (Kemppinen T. 2014) ei kuitenkaan suosittele käytettäväksi coriolis – tekniikkaa tässä sovelluksessa, koska anturit eivät ole pitkäikäisiä näin kuluttavan materiaalin kanssa.

### 3.2.4 Magneettinen virtausmittaus

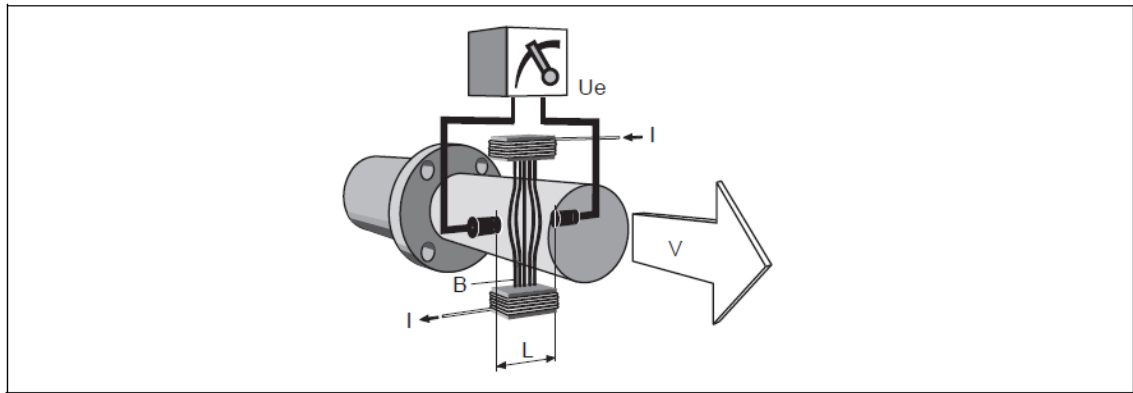
Magneettinen virtausmittaus perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Faradayn lain mukaan johtimen, jonka pituus on  $l$ , liikkuessa nopeudella  $v$  kohtisuoraan magneettikenttää  $B$  vastaan, päihin indusoituu lähdejännite  $E$  (Tekniikan kaavasto, 124; Endress+Hauser, 3). Tämä on esitetty kaavassa 7.

$$E = v * l * B \quad (7)$$

Magneettisessa virtausmittauksessa neste toimii johtimena. Tästä johtuen mitattavan nesteen pitää olla sähköä johtavaa. Ruopattavissa nesteissä on kuitenkin sen verran epäpuhtauksia, että niillä on riittävä johtavuus. Koska anturi mittaa virtausta käytännössä vain keskikohdasta, pitää putken olla kokoajan täynnä nestettä. Ruoppauksessa tämä ei ole ongelma, koska putkilinjan alussa on normaalisti yli 1 bar ylipainetta ja imuputki on kokoajan veden alla, joten siellä ei myöskään ole ilmaa.

Kuvassa 8 on esitetty anturin toimintaperiaate. Putken ylä- ja alapuolella ovat sähkömagneetit, jotka luovat magneettikentän. Kohtisuoraan magneettikenttää vastaan on

asennettu elektrodit, jotka koskettavat mitattavaa nestettä. Nesteen liikkeessa elektrodien välille syntyy potentiaaliero, joka on suoraan verrannollinen nesteen virtausnopeuteen.



KUVA 8. Magneettisen virtausmittauksen toimintaperiaate. (Endress+Hauser, 3)

Kaava 7 toisin lausumalla saadaan kaava 8, josta voidaan laskea mitattavan nesteen virtausnopeus. (Endress+Hauser, 3)

$$v = \frac{U_e}{L \cdot B} \quad (8)$$

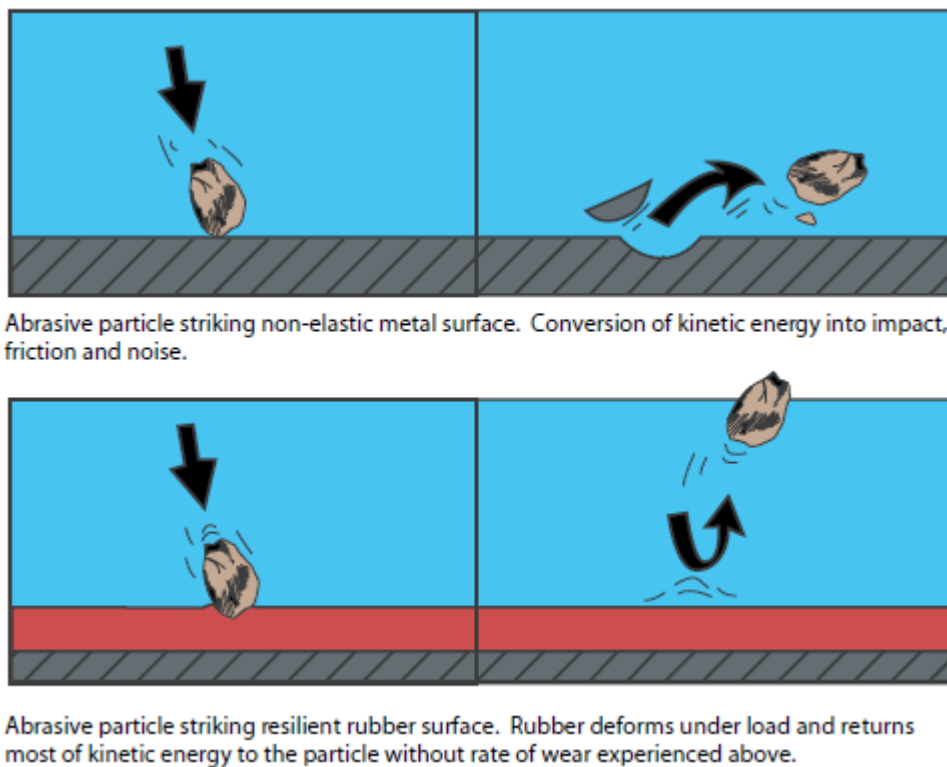
jossa  $v$ =virtaavan nesteen virtausnopeus,  $U_e$ =Indusoitunut lähdejännite,  $L$ =elektrodien välimatka ja  $B$ =magneettivuon tiheys

Järjestelmä koostuu anturi- ja vahvistinosasta. Vahvistin voi olla anturiosassa kiinteästi tai se voi olla erillinen komponentti. Sen tehtävä on muodostaa anturin signaalista luettavissa oleva data. Siinä on useimmiten oma näyttö, johon saa näkyviin virtausnopeuden tai tilavuusvirran. Vahvistin myös muodostaa signaalista jonkin normin, esimerkiksi 4-20 mA viestin, joka voidaan lähettää piirturille tai ohjauskeskuksiin.

Viherän mukaan (Viherä A. 2014.) ruopattavan aineen virtausmittaukseen ei sovellu muu kuin magneettinen virtausmittari, jossa on erikoisvuoraus ja erikoiselektrodit, jotka eivät vaurioidu osumista. Yleensä kaivosteollisuudessa käytetään pehmytkumivuorusta, joka valetaan käytettävän putkikoon mukaan samaksi kuin putken sisähalkaisija, jolloin ei synny kynnystä. Tällöin mittari on pitkäikäisempi.

Myös Rönqvist (Rönqvist J. 2014) mainitsee, että kaivosteollisuudessa, jossa kulkee suurehkoja kiviä, käytetään magneettista virtausmittaria pehmytkumi vuorauksella. Hänen mukaansa myös putkiston sovittaminen anturiin on erityisen tärkeää anturin eliniän kannalta.

Pehmytkumivuorauksen ansiosta anturin sisäosa kestää paremmin kiven iskuja, koska pinnoite joustaa. Kuvassa 9 on esitetty miten kumivuoraus käyttäytyy kiven iskuissa verrattuna kovaan pinnoitukseen.



KUVA 9. Kumivuorauksen käyttäytyminen. (Linatex)

Antureissa käytetään magneettikentän luomiseen yleensä joko DC-pulssimagnetointia tai AC-tekniikkaa. Rönqvistin mukaan AC-tekniikka toimii paremmin ja synnyttää vähemmän kohinaa silloin, kun mitattavassa aineessa kulkee paljon suuria partikkeleita. DC-pulssimagnetointia käytetään kuitenkin useimpien valmistajien laitteissa.

### 3.3 Tiheysmittaus

Tiheyttä voidaan mitata monella eri tavalla. Yksi tapa on tehdä järjestely, jossa punnitaan jonkin tiedetyn tilavuuden massaa ja tästä laskettaisiin tiheys (Härkönen S., Läh-

teenmäki I. & Välimaa T., 33). Liikkuvan ruoppaajan kannella tällaiseen järjestelmään kohdistuu paljon ulkoisia kiihtyvyyksiä, jolloin mittadataan syntyy paljon kohinaa. Kohinan suodattaminen on kuitenkin niin vaikeaa, että menetelmä voidaan rajata pois.

Toinen yksinkertainen menetelmä on mitata nestepatsaan hydrostaattinen paine. Kun tiedetään patsaan korkeus ja paine patsaan pohjalla, voidaan laskea aineen tiheys (Härkönen S. ym., 33-34). Tällaisen laitteiston tekeminen ruoppaajan kannelle on kuitenkin lähes mahdotonta, koska ruopattava aine pitäisi kulkea pystysuoran putken tai altaan läpi, jolloin kivet ja muut isot kiinteät aineet saattaisivat jäädä pohjalle ja linja tukkeutuisi nopeasti.

Jätevesiteollisuudessa käytetään paljon kuiva-ainepitoisuuslähetintä, joka pystyy mittaamaan 0-35 % kiintoainetta sisältäviä nesteitä (Troger J. 2014). Kyseinen laite perustuu mikroaaltojen etenemisnopeuden mittaamiseen. Etenemisnopeus riippuu väliaineen dielektrisyysvakioista (Metso automation, 4). Laite vaatii kalibroinnin, jotta laitteen asetukset saadaan optimoituja olosuhteiden mukaisesti. Kalibrointia varten on suoritettava laboratorioanalyysi mitattavasta aineesta otetulle näytteelle (Metso automation, 13). Laitteen käyttö ruoppauksessa olisi hankalaa, koska liete ei ole tasalaatuista, jolloin laite tulisi kalibroida aina uudestaan jokaisessa ruoppauskohteessa. Vaikka ruoppauskohde ei muutu, voi lietteen ominaisuudet muuttua niin paljon, ettei laitteen ilmoittama kiintoaineprosentti ole enää luotettava. Myös Kemppinen (Kemppinen T. 2014) on sitä mieltä, että mikroaltoihin perustuvaa menetelmää ei kannata kokeilla tässä yhteydessä, juuri-kin edellä mainitusta syystä.

Lähes kaikki ulkomaiset toimittajat, jotka myyvät ruoppaukseen tarkoitettuja tuotannonhallinta järjestelmiä, käyttävät radiometristä tiheysmittausta. Käytännössä siis ainoa ruoppauksessa toimiva ja riittävän tarkka menetelmä tiheyden mittaamiseen on radiometrinen menetelmä.

### 3.3.1 Radiometrinen tiheysmittaus

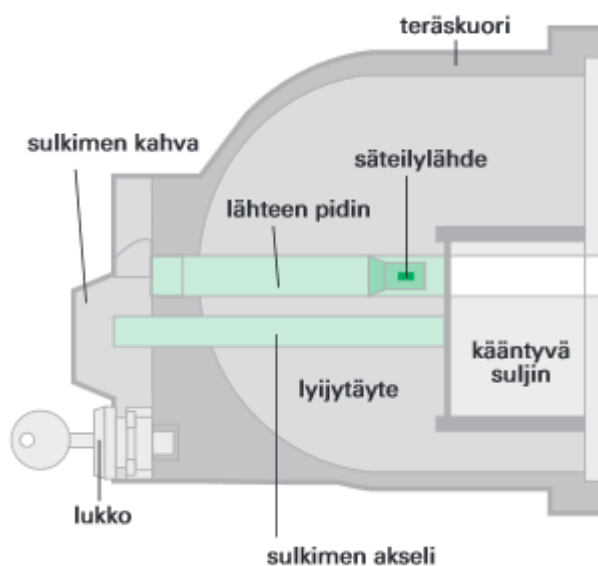
Radiometrinen tiheysmittaus perustuu säteilyn absorboitumiseen. Säteilyn kulkiessa materiaalin läpi sen alkuperäinen intensiteetti  $I_0$  vaimenee. Vaimenemisen määrä riippuu aineen tiheydestä  $\rho$ , kerrospaksuudesta  $x$  sekä materiaalin massavaimennuskertoimesta

$\mu_m$  kaavan 9 mukaan. (Härkönen S. ym., 35) Tiheyden määrittäminen perustuu kyseiseen yhtälöön ja siinä hyödynnetään gammasäteilyä.

$$I = I_0 * e^{-\mu_m * \rho * x} \quad (9)$$

Säteilylähde ja ilmaisimen voidaan sijoittaa kuvan 11 mukaisesti prosessiputken ulkopuolelle. Säteily kulkee putken ja mitattavan aineen läpi, jolloin osa säteilystä absorboituu. Putkeen absorboituu tietty vakio-osa ja mitattavaan aineeseen absorboituvan osan suuruus riippuu aineen tiheydestä (Härkönen S. ym., 35). Ilmaisimen mittaamat intensiteetin muutokset edustavat aineen tiheyttä.

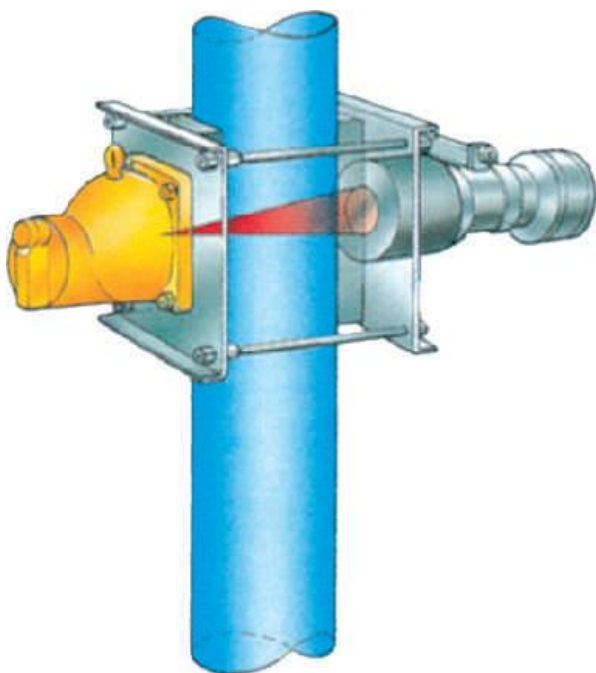
Teollisuuden tiheysmittauksissa käytetyt säteilylähteet ovat useimmiten Co-60, puoliintumisaika noin viisi vuotta, tai Cs-137, puoliintumisaika noin 30 vuotta, isotooppeja, jotka ovat sijoitettu metallilla vuorattuun suojavaippaan. Suojaivaipan tarkoitus on estää radioaktiivisen aineen leviäminen ympäristöön. Näistä suojavaipalla varustetuista lähteistä käytetään nimitystä umpilähde. Umpilähteet ovat vielä sijoitettu yleensä lyijyllä vuorattuun suojakuoreen (kuva 10). Suojakuori vaimentaa säteilyn turvalliselle tasolle, jolloin lähteen läheisyydessä voidaan oleskella. Suojakuorta ja sen sisältämää umpilähdettä kutsutaan yleisesti nimellä säteilylähde. Suojakuoreessa on mekaaninen suljin, jolla säteilykeila voidaan sulkea esimerkiksi kuljetuksen ajaksi.



KUVA 10. Umpilähteen sisältävän säteilylähteen rakenne. (Väisälä ym., 269)



Co-60 lähteen säteily heikentyy  $\frac{1}{4}$  osaan noin 10 vuodessa, kun taas Cs-137 lähde on käytännössä ”ikuinen”. Siksi teollisuudessa käytetään useimmiten Cs-137 lähteitä, koska niiden käyttöikä on pidempi, jolloin jätettä syntyy vähemmän. Vanhaa Cs-137 säteilylähdetä on myös mahdollista käyttää myöhemmin jossain muussa sovelluksessa, johon riittää pienempi aktiivisuus. Pitkä puoliintumisaika on toisaalta myös haittapuoli säteilylähteen käyttöiän päätyttyä.



KUVA 11. Radiometrinen tiheysmittari asennettuna prosessiputken ulkopuolelle. (Bertold technologies, 4)

Tiheysmittauksissa ilmaisin on yleensä tuikeilmaisinen, koska se on gammasäteilyn mittaamisessa noin kymmenen kertaa herkempi, kuin samankokoinen kaasutäytteen ilmaisin (Härkönen S. ym., 14). Tuikeilmaisinen käytännössä laskee sen sisällä syntyneitä elektronipulsseja.

Myös tämä järjestelmä vaatii vahvistimen ja joidenkin valmistajien laitteissa se on sisäänrakennettu ilmaisimeen, mutta useimmiten se on erillinen komponentti. Vahvistimissa on yleensä mahdollisuus sisääntulolle, jolloin sille voidaan tuoda virtausmittarilta tilavuusvirtaviesti. Näin sen omalle näytölle saadaan näkyviin massavirta. Vastaavasti kuin virtausmittauksessa, nämä myös muodostavat yleisesti luettavissa olevan viestin, esim. 4-20 mA, joka on verrannollinen mittaustulokseen.

### 3.4 Mittauksen virhe

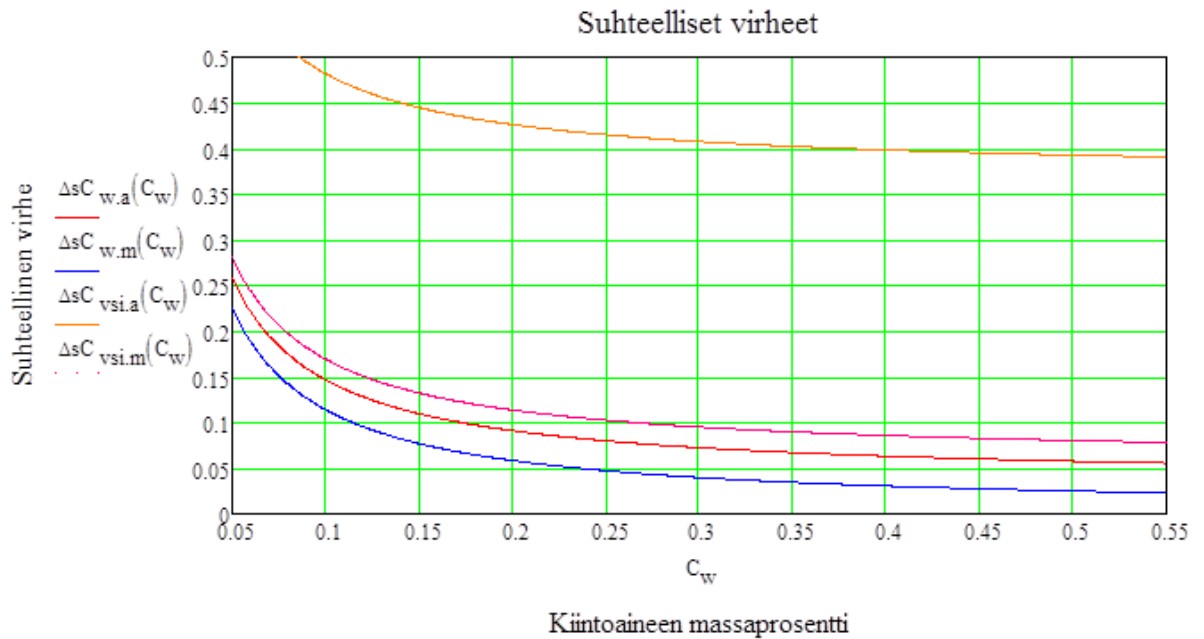
Kuten kappaleessa 3.1 mainittiin, kiintoaineen massaprocentin ja paikallisen tilavuusprocentin määrittämistä varten on kiintoaineen kuivatiheys ja paikallinen tiheys arvioitava. Tämä aiheuttaa virhettä massaprocenttiin ja paikalliseen tilavuusprocenttiin. Veden tiheys tiedetään, mutta se muuttuu lämpötilan sekä suolapitoisuuden mukaan. Sen arvona voidaan käyttää  $1000 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ , joka käytännössä kattaa kaikki ruoppauksessa esiintyvät arvot.

Myös mittalaitteiden tarkkuus aiheuttaa virhettä. Magneettisten virtausmittareiden mittausrvirhe on yleensä alle 0,5 % (ABB, 2014; Endress+Hauser, 2014), joten tästä ei suurta virhettä synny ja se vaikuttaa vain laskettaessa tilavuuksia. Radiometrisen tiheysmittarin virhe riippuu kalibroinnista sekä säteilylähteen voimakkuudesta ja on myöskin yleensä alle 0,5 %.

Suurin mahdollinen virhe voidaan laskea kun tiedetään mittaustulokseen vaikuttavat tekijät. Funktion  $f(x,y)$  virhe voidaan laskea kaavalla 10 (Mäkelä ym., 50). Virheen laskemista varten pitää siis tietää yhtälö, josta tulos muodostuu.

$$|\Delta f| \approx |D_x f| * |\Delta x| + |D_y f| * |\Delta y| \quad (10)$$

Liitteestä 2 löytyvän virhelaskelman tulokseksi saatiin kuvan 12 mukainen kuvaaja. Laskuissa kiintoaineen kuivatiheyden arvona on käytetty  $2700 \text{ kg/m}^3$  ja paikallisen tiheyden arvona  $1800 \text{ kg/m}^3$ . Kuvan käyrä  $\Delta sC_{w.a}$  esittää kiintoaineen massaprocentin suhteellista virhettä, kun kiintoaineen kuivatiheyden virhe on arvioitu olevan  $\pm 200 \text{ kg/m}^3$ . Käyrä  $\Delta sC_{w.m}$  esittää kiintoaineen massaprocentin suhteellista virhettä, kun kiintoaineen kuivatiheyden virhe on määritetty mittauksen perusteella olevan  $\pm 50 \text{ kg/m}^3$ . Käyrä  $\Delta sC_{vsi.a}$  esittää kiintoaineen paikallisen tiheyden suhteellista virhettä, kun kiintoaineen paikallisen tiheyden virhe on arvioitu olevan  $\pm 300 \text{ kg/m}^3$ . Käyrä  $\Delta sC_{vsi.m}$  esittää kiintoaineen paikallisen tiheyden suhteellista virhettä, kun kiintoaineen paikallisen tiheyden virhe on määritetty mittauksen perusteella olevan  $\pm 50 \text{ kg/m}^3$ . Kuvassa 12 akselit kuvastavat prosentteja niin, että arvo 0,1 on 10 % jne.



KUVA 12. Suhteelliset virheet massaprosentin funktiona.

Kuvasta 12 on helposti havaittavissa virheen suuruudet. Jos kiintoaineen massaprosentti on pieni, virhe kasvaa huomattavasti. Yleensä kuitenkin pyritään ruoppaamaan niin, että massaprosentti on yli 30 %. Silloin massaprosentin virhe pysyy alle 10 %:n, vaikka kiintoaineen kuivatiheys olisi arvioitu. Kuitenkin tämä virhe saadaan vielä puolitettua alle 5 %:iin, jos työmaakohtaisilla mittauksilla on määritetty kiintoaineen kuivatiheys tarkemmin.

Kiintoaineen paikallisella tiheydellä on hyvin suuri merkitys lopulliseen paikallisen tilavuusprosentin suhteelliseen virheeseen. Kuvasta 12 on nähtävissä, että jos paikallinen tiheys on arvioitu vain silmämääräisesti kirjallisuuden antamien arvojen perusteella, virhe voi kasvaa jopa 40 %:iin. Jos on suoritettu työmaakohtainen mittaus, jonka perusteella tiedetään tarkemmin paikallinen tiheys, lopullinen virhe pysyy alle 10 %:n.

Myöskin Scott mainitsee, että ruoppauksen suhteellinen mittausvirhe on yleisesti alle 10 %. Hän mainitsee myös, että huonolla laitteiden kalibroinnilla ja arvatuilla materiaalien tiheyksien arvoilla suhteellinen virhe voi kasvaa jopa 25 prosenttiin. (Scott, 12)

Virhelaskussa ei ole huomioitu kappaleen 3.1 lopussa mainittua kerrostumista. Kuten taulukosta 2 nähdään, jos virtaus ei ole homogeenistä, jo pelkästään siitä aiheutuva virhe voi olla pahimmillaan yli 100 %.

Virhelaskelmien perusteella voidaan sanoa, että mittaustuloksista lasketut tilavuudet tai pitoisuudet sisältävät aina virhettä, joten laskettuihin tilavuuksiin tai kiintoainepitoisuuksiin tulee aina suhtautua varauksella. Jos ruoppaajan käyttöolosuhteet tai kiintoaineen ominaisuudet vaihtelevat paljon työmaan sisällä, virhe voi olla niin suuri, ettei mittaustuloksia voida käyttää. Tämä on asia joka niin mittaustulosten käyttäjän, kuin ruoppaajan käyttäjän tulee tiedostaa.

## 4 SÄTEILYN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄT VELVOITTEET

### 4.1 Säteilyn käyttö

Säteilyn käyttöä on tarkkaan säännöstelty sen haitallisuuden vuoksi ja siksi sen käyttö vaatii Suomessa lähes aina turvallisuuslupan, jonka myöntää Säteilyturvakeskus. Säteilysuojelun tarkoituksena on suojella ihmisiä ja ympäristöä säteilyn haitallisilta vaikutuksilta.

Säteilyn käytölle on kolme säteilylain mukaista perusvaatimusta (ST 1.1):

- toiminnalla saavutettu hyöty on suurempi kuin siitä aiheutuva haitta
- toiminta on järjestetty siten, että siitä aiheutuva terveydelle haitallinen säteilyaltistus on niin alhainen kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista
- yksilön säteilyaltistus ei ylitä annosrajoja.

Toiminnan harjoittajan on turvallisuuslupahakemuksessa selvitettävä toimenpiteet, jotta edelliset kohdat täyttyvät.

### 4.2 Turvallisuuslupa

Turvallisuuslupaa hakee toiminnan harjoittaja, joka on myös vastuussa toimintansa turvallisuudesta. Lupaa haetaan kirjallisesti. Turvallisuuslupahakemukseen on liitettävä organisaatioselvitys sekä nimettävä vastaava johtaja. Teollisuuden säteilyn käytössä organisaatioselvitykseksi yleensä riittää vastaavan johtajan nimeäminen (ST 5.1).

Vesirakennus Ojasen tapauksessa kyseessä on vain yksi umpilähde, jonka aktiivisuus on pieni, mutta käyttöolosuhteet ovat erityiset. Siksi turvallisuuslupahakemukseen on liitettävä organisaatioselvitys, sekä selvitettävä normaalia teollisuuskäyttöä tarkemmin käyttöolosuhteet. (Hellstén S. 2014)

Lupa myönnetään, kun kohdan 4.1 kolme perusvaatimusta täyttyvät ja on luotettavasti osoitettu, että seuraavat asia ovat lainsäädännön ja ST-ohjeissa tarkemmin kuvatun turvallisuustason mukaiset (ST 1.1):

- säteilyn käyttötarkoitus

- menetelmät
- säteilylähteet ja varusteet
- käyttötilat ja säteilysuojukset
- turvajärjestelyt
- säteilyn käyttöorganisaatio ja turvallisuusohjeistus
- toiminnassa syntyvien jätteiden käsittely.

Turvallisuusluvassa annetaan turvallisuuden varmistamisen kannalta tarpeelliset ehdot.

### 4.3 Vastaava johtaja

Toiminnan harjoittajan nimeämän vastaavan johtajan tehtäviin kuuluu huolehtia säteilyn käyttöön liittyvien toimenpiteiden noudattamisesta. Toiminnan harjoittajan on kirjallisesti määritettävä vastaavan johtajan tehtävät (ST 1.4). Yrityksissä, joissa säteilynkäyttö on pientä, vastaava johtaja käytännössä hoitaa kaiken siihen liittyvän dokumentoinnin ja valvonnan.

Vastaavan johtajan tehtäviin kuuluu tyypillisesti (ST 1.4):

- toimintaan liittyvien riskien tunnistaminen ja varautuminen poikkeaviin tapahtumiin
- hyvän turvallisuuskulttuurin edistäminen
- säteilyturvallisuus- ja turvajärjestelyt käyttöpaikalla
- turvallisuusohjeiden laatiminen
- säteilyn käyttöön osallistuvien työntekijöiden säteilysojelukoulutus ja opastus
- yhteydenpito käyttöpaikan vastuuhenkilön kanssa
- poikkeavien tapahtumien käsittely säteilyn käyttöpaikalla ja tapahtumista raportointi Säteilyturvakeskukseen.

Vastaavan johtajan pätevyyden saa suoritettuaan hyväksytysti vastaavan johtajan kuulustelun. Kuulustelua edeltää koulutus, jossa annetaan valmiudet toimia säteilyn käytön vastaavana johtajana (ST 1.8). Kuulusteluja järjestää Säteilyturvakeskuksen hyväksymät koulutusorganisaatiot.

### 4.3.1 Käyttöpaikan vastuhenkilö

Toiminnan harjoittajan on nimettävä säteilyn käyttöpaikalle käyttöpaikan vastuuhenkilö, kun vastaavan johtajan vastuulla on useita säteilyn käyttöpaikkoja tai suuri maantieteellinen alue. Organisaatioselvityksessä on myös kuvattava vastaavan johtajan ja käyttöpaikan vastuuhenkilön keskinäinen tehtävien jako, valtuudet ja yhteydenpitomenettelyt. (ST 1.4)

Vesirakennus Ojasen tapauksessa käyttöpaikan vastuuhenkilö pitää nimetä, koska vastaava johtaja ei ole aina säteilyn käyttöpaikalla. Vastuuhenkilöltä vaaditaan hyvä käyttöpaikan tuntemus sekä riittävä säteilysuojelukoulutus, joka voi tässä tapauksessa olla vastaavan johtajan antama.

## 4.4 Työntekijöiden suojelu

Säteilytyötä tekeville työntekijöille on järjestettävä erityinen terveystarkkailu, jossa seurataan mm., etteivät annosrajat ylity. Kuitenkin jos radiometrisiä mittalaitteita käytetään ohjeen ST 5.1 mukaisesti, ei työntekijöitä tarvitse luokitella säteilytyötä tekeviksi (ST 5.1).

Ohjeessa ST 5.1 vaaditaan mm. seuraavia asioita:

- umpilähteessä on suljin, jolla säteilylähde saadaan tarvittaessa kokonaan suljetuksi
- annosnopeus laitteen läheisyydessä ei ylitä 5 cm päässä laitteen pinnasta 500  $\mu\text{Sv/h}$  ja 1 metrin päästä 7,5  $\mu\text{Sv/h}$
- kiinteästi asennetun säteilylaitteen läheisyyteen on sijoitettava näkyvä ionisoivan säteilyn varoitusmerkintä (kuva 13)
- muiden kuin säteilytyötä tekevien vuotuinen annos ei ylitä 0,3 mSv.



KUVA 13. Radioaktiivisen aineen tai ionisoivan säteilyn varoitusmerkki. (STUK, 2014)

#### 4.5 Kuljetus

Radioaktiivisten aineiden kuljetus vaatii aina kuljettajalta tarvittavan turvallisuuden varmistavan koulutuksen. Kuljetuksessa tarvittavat luvat ja toimenpiteet määräytyvät enimmäkseen radioaktiivisen aineen aktiivisuuden perusteella. Laissa on määritelty raja-arvot eri radionuklideille, joiden perusteella kuljetuksen vaatimustaso määräytyy.

Tiheysmittareissa useimmiten käytetyn Cs-137 radionuklidin kuljetusmääräyksistä vaippattavaksi raja-arvoksi on annettu 0,01 MBq (STUK, 2012). Tämä on niin pieni aktiivisuus, että mikään radiometrinen tiheysmittari ei jää tuon arvon alle.

Kun kuljetetaan yhtä Cs-137 umpilähdettä, peruskollin raja-arvo on 2000 MBq. Tiheysmittarit ovat useimmiten alle tämän aktiivisuuden, joten peruskollin käyttö on mahdollista. Peruskollin pitää täyttää vielä seuraavat ehdot (STUK, 2012):

- Annosnopeus kollin pinnalla ei saa ylittää 5  $\mu\text{Sv/h}$
- Annosnopeus 10 cm:n etäisyydellä umpilähteen ulkopinnasta ei saa ylittää 0,1 mSv/h.

Peruskolleja kuljetettaessa kuljettajalta ei vaadita erityistä ADR lupaa, vaan jokin turvallisuuden varmistava, esim. vastaavan johtajan antama koulutus riittää. Peruskolleja kuljetettaessa ajoneuvoa ei tarvitse merkitä, eikä siellä tarvitse olla kirjallisia turvallisuusohjeita. Ainoa vaadittava turvavaruste on 2 kg sammutin. (STUK, 2012)



#### 4.6 Muut velvoitteet

Säteilylähdettä, jolle ei ole käyttöä, ei saa varastoida tarpeettomasti, koska silloin riski häviämislle kasvaa (ST 5.1). Toiminnan harjoittajan tulee siis varmistaa säteilylähteen turvallinen hävittäminen sen käyttöön päätyttyä. Säteilylähdettä ostettaessa kannattaa-kin jo selvittää hävittämiseen liittyvät toimenpiteet.

Joidenkin toimittajien kanssa voi jo ostovaiheessa sopia vanhan lähteen palauttamisesta. Muutoin Suomessa säteilylähteitä vastaanottaa Suomen Nukliditeknikka.

#### 4.7 Kustannukset

Säteilyturvakeskus velottaa valvontatöistä lain mukaisesti omakustannehinnan. Lupahakemukset veloitetaan niiden laajuuden ja työmäärän perusteella. STUK tekee myös säteilyn käyttöpaikoille tarkastuksia, jotka veloitetaan työmäärän perusteella. Tarkastusten väli riippuu säteilynkäytön vaativuudesta. Lisäksi turvallisuusluvasta menee vuosittain perusmaksu.

Kun kyseessä on teollisuuden käytössä oleva yksi yli 100 MBq, mutta ei korkeaaktiivinen umpilähde, se kuuluu vaativuusluokkaan 2 ja silloin kustannuksia syntyy seuraavasti (STUK, 2014):

- Uusi turvallisuuslupapäätös
  - Vaativuusluokka 2, 864 €
- Ensimmäinen tarkastus
  - Suppea tarkastus, sisältää enintään 1 tunnin työn käyttöpaikalla, 798 €  
TAI
  - Tarkastus, sisältää enintään 2 tuntia työtä käyttöpaikalla, 1326 €
- Määräaikaistarkastus, joka 3 vuosi, kun kyseessä liikuteltava laite tai joka 8 vuosi kun kyseessä kiinteä asennus
  - Suppea tarkastus, sisältää enintään 1 tunnin työn käyttöpaikalla, 798 €  
TAI
  - Tarkastus, sisältää enintään 2 tuntia työtä käyttöpaikalla, 1326 €
- Säteilymittari

- Yrityksellä pitää olla käytössään säteilymittari säteilyannosten varmistamiseksi. Säteilymittari pitää olla STUK:n hyväksymä. Se kustantaa mittarista riippuen 300-1000 €
- Säteilylähteen poistokustannukset
  - Esimerkiksi 30 vuotta vanhan, uutena 1850 MBq aktiivisuuden omaavan Cs-137 lähteen poistokustannus on 765 € (Suomen nukliditeknikka).

Kokonaisuutena säteilyn käytöstä syntyy siis paljon muitakin kustannuksia kuin pelkkä laitteiston ostohinta. Henkilöstön koulutuksesta syntyy myös kuluja, esim. vastaavan johtajan koulutus maksaa koulutusorganisaatiosta riippuen 900-1300 €.

Piittaamattomuus tai laiminlyönnit aiheuttavat lisäkustannuksia. Esimerkiksi määräaikaistarkastuksen yhteydessä huomattu turvallisuuden laiminlyönti voi johtaa määräyksiin muuttaa toimintatapoja tai tiloja, jotka tullaan tarkastamaan uudestaan. Myöskin tämä uusintatarkastus veloitetaan hinnaston mukaisesti. STUK saattaa tehdä myös yllätystarkastuksia jos heillä on syytä epäillä, että säteilyn käyttö ei ole turvallista jokapäiväisessä työskentelyssä.

## 5 TARJOUSPYYNNÖT

### 5.1 Lähtökohdat

Mittaukseen perehtymisen jälkeen kävi selväksi, että virtausmittaus toteutettaisiin magneettisella virtausmittaus menetelmällä ja tiheysmittaus radiometrisellä menetelmällä. Kummallekin laitteelle löytyy useampia suomalaisia toimittajia, koska teollisuudessa käytetään paljon samoja laitteistoja.

Järjestelmä vaatii myös jonkinlaisen näytön kuljettajalle, josta selviää tarvittavat tiedot. Laitteistoon haluttiin myös laskurit tilavuuksien laskentaan, jotka ovat helposti luettavissa. Näistä komponenteista pyydettiin myös eri toimittajilta tarjouksia ja ehdotuksia. Tarkoituksena oli, että näyttö olisi mahdollisimman visuaalinen ja helposti käytettävä. Myös datan etälukumahdollisuus oli yksi tärkeä tekijä.

### 5.2 Toimittajat 1 ja 2

Kysyimme tarjouksen kokonaispaketista kahdelta toimittajalta. He edustivat kahta eri ulkomaista valmistajaa, jotka mainostavat mittausjärjestelmäänsä erityisesti ruoppaus käyttöön. Heidän tarjouksiin sisältyivät kaikki tarvittava, näyttö ja datan keruun komponentit mukaan lukien.

Toimittajalla 1 on paljon kokemusta kaivosteollisuuden mittauksista. Siksi heillä oli alusta asti selkeä näkemys siitä miten mittaus pitäisi järjestää. Heidän tarjouksessa virtausmittaus toteutettaisiin DC –pulssimagnetointiin perustuvalla KROHNE -merkkisellä anturilla, jossa on paksu pehmytkumivuoraus ja erikoiskumiset sähköä johtavat elektrodit. Anturi on kokoa DN250, koska kumivuoraus on paksumpi kuin muut vuoraukset. Näin se voitaisiin valaa samaan kokoon kuin virtausputken sisähalkaisija. Anturin sisähalkaisija on 213 mm. Krohnen tuotteita käyttää myös kappaleessa 1 mainittu toimittaja, jolta kysyttiin tarjous vuonna 2013, joten niiden toimintavarmuus ja elinikä ruoppauksessa on varmasti luotettavalla tasolla.

Tiheysmittaukseen he tarjosivat Berthold technologies -merkkistä radiometristä tiheysmittaus laitteistoa. Valmistaja mainostaa kyseistä järjestelmää erityisesti ruoppaus tarkoitukseen, joten käytännön järjestelyt ruoppauksessa ovat varmasti heille hyvin selvillä. Tarjouksessa säteilylähteen aktiivisuus oli 1850 MBq, joka on sen verran alhainen, että umpilähde voitaisiin kuljettaa peruskollissa. Kuvassa 14 näkyy hahmotelma asennuspaikasta ja laitteiston anturien asennuksesta. Lisäksi laitteistoon kuuluu vielä erillinen vahvistin.



KUVA 14. DN250 virtausanturi ja Berthold technologies -tiheysmittari.

Piirturiksi he ehdottivat kuvan 15 mukaista kosketusnäytöllistä laitetta, johon voi tuoda virtausmittarilta ja tiheysmittarilta tarvittavat viestit ja niistä muodostaa esim. palkkikuvaajat piirturin näytölle. Piirturissa on myös ethernet valmius, joten etäyhteys olisi myös mahdollista toteuttaa. Tämä laite vaatii kuitenkin invertterin, koska se tarvitsee 230VAC.



**MODEL 6100AF**

KUVA 15. Foxboro piirturi. (Invensys, 2013)

Toinen kokonaispaketin tarjous tuli toimittajalta 2. Heillä ei ollut aiempaa kokemusta vastaavasta järjestelmästä, mutta heillä on Ronan measurement division –valmistajan edustus, jolla on kokemusta ruoppauksen mittauksista. Virtausmittariksi he tarjosivat Siemensin valmistamaa laitetta, jonka anturiosassa on erityinen Linatex –pinnoite. Pinnoite on kumia ja se on tarkoitettu nimenomaan kuluttavaan käyttöön. Tämä anturi on kokoa DN200, joten sen kumivuorauksen paksuus on pienempi kuin Krohnen anturissa. Anturin sisähalkaisija on 200,5 mm ja elektrodit ovat hastelloy -erikoisterästä.

Tiheysmittaukseen heillä oli tarjota Ronan measurement divisionin valmistamaa laitteistoa. Sitä mainostetaan myös nimenomaan ruoppauskäyttöön, joten toimintavarmuus olisi varmasti luotettavalla tasolla. Säteilylähteen aktiivisuus on sama kuin toimittajalla 1 eli 1850 MBq. Tässä ilmainen osa on kuitenkin jokseenkin suurempi kuin toimittajan 1 laitteessa (kuva 16). Tähänkin laitteistoon kuuluu erillinen vahvistinyksikkö.



KUVA 16. DN250 virtausanturi ja Ronan measurement division tiheysmittari.

Piirturi oli heidän tarjouksessaan paneeliasenteinen Eaton -merkkinen kosketusnäytöllä varustettu malli. Se on paljon kompaktimman kokoinen kuin kuvan 15 piirturi, mutta siinä ei ole suoraan mahdollisuutta tuoda mA -viestejä antureilta, vaan toimittajalle pitää ilmoittaa tilausvaiheessa mitä tietoja näytölle halutaan ja sen perusteella he tekevät toimenpiteet, jotta ne saadaan näytölle. Käytännössä tiedot siirrettäisiin Profibus -väylän avulla. Jälkeenpäin olisi siis hankala itse muokata näytön tietoja.

### 5.3 Toimittajat 3, 4 ja 5

Toimittajalta 3 pyydettiin tarjous virtausmittauksesta ja piirturista. Heillä oli myös kokemusta kaivosalan mittauksista ja he tarjosivat ABB:n valmistamaa virtausmittaria, jonka anturissa oli vastaava pehmytkumivuoraus kuin Krohnen anturissa. Se on kokoa DN200, joten senkään vuoraus ei ole yhtä paksu kuin Krohnen anturissa. Anturin sisähalkaisija on 197,1 mm ja elektrodit ovat hastelloy -erikoisterästä. Tämä anturi käyttää AC -magnetointi periaatetta, joka toimittajan mukaan toimii paremmin kyseisessä tapauksessa kuin DC -pulssimagnetointi.

Piirturiksi he tarjosivat kuvan 17 mukaista ABB:n piirturia. Siihen voidaan tuoda useita eri tuloja joita prosessiteollisuudessa käytetään. Matematiikka ja logiikka funktioiden avulla tuloista voidaan muodostaa tarvittavia tietoja. Piirturissa on myös sisäänrakennettuja laskureita. Laitetta on myös mahdollista käyttää etänä normaalin verkkoselaimen avulla ja siinä on Windows -pohjainen käyttöjärjestelmä, joten sitä on helppo käyttää. Piirturi on erittäin kompaktin kokoinen ja se on helppo asentaa, koska se ei tarvitse erillistä koteloa. Datan tallennusta varten piirturissa on sisäinen muisti ja myös paikka muistikortille.



KUVA 17. SM500F Piirturi. (ABB, 2014)

Toimittajalta 4 pyydettiin tarjous pelkästä virtausmittauksesta. He tarjosivat Endress+Hauser -merkkistä mittaria, jonka anturissa oli vastaava kumipinnoite kuin edellisissä. Anturi oli kokoa DN200. Toimittajalla ei ollut kuitenkaan kokemusta mittarin käytöstä näin rankoissa oloissa, joten eliniästä ei ollut minkäänlaista varmuutta.

Toimittajalta 5 pyydettiin tarjous pelkästä tiheysmittauksesta. Heillä ei ollut aiempaa kokemusta täysin vastaavasta mittauksesta, mutta radiometrisestä tiheysmittauksesta kylläkin. He tarjosivat Vega –merkkistä laitteistoa, jonka säteilylähteen aktiivisuus on 74 MBq, eli 25 kertaa pienempi kuin muiden toimittajien laitteissa. Tässä mallissa vahvistin on sisäänrakennettu ilmaisin osaan, joten ohjaamoon ei tulisi minkäänlaista lisäkomponenttia. Kuvassa 18 nähdään laitteiston koko, joka on lähes vastaava kuin kuvassa 14 oleva Bertholdin laitteisto.



KUVA 18. VEGA –tiheysmittaus (VEGA, 2014)

#### 5.4 Toimittajien valinta

Laitteiston valintaa varten tehtiin virtausmittauksesta, tiheysmittauksesta ja piirturista omat painoarvotaulukot. Taulukoihin kerättiin tärkeimmät valintakriteerit ja niille annettiin pisteet toimittajien sekä laitteiden manuaalien antamien tietojen perusteella. Pisteytys suoritettiin niin, että paras vaihtoehto sai 10 pistettä ja muut siitä lineaarisesti ominaisuuden arvon mukaan.

Virtausmittauksen valintaan vaikutti eniten toimintavarmuus (taulukko 3). Tätä ominaisuutta on vaikea mitata ja sen arvot perustuvatkin toimittajien kanssa käytyihin keskusteluihin.



### TAULUKKO 3. Virtausmittauksen painoarvotaulukko

Arvostelukriteeri	Painoarvo	Virtausmittaus painoarvotaulukko											
		ABB, FSM4000 SE41F, DN200			KROHNE, Optiflux 4000, DN250			Siemens, SITRANS MAG 3100, DN200			Endress+Hauser, Proline Promag 55S, DN200		
		Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Toimintavarmuus	0,5	7	7,0	3,5	10	10,0	5,0	8	8,0	4,0	4	4,0	2,0
Hinta (€, alv 0%)	0,3	3980	9,2	2,8	6445	5,7	1,7	3800	9,6	2,9	3650	10,0	3,0
Anturin pituus (mm)	0,1	350	10,0	1,0	400	8,8	0,9	350	10,0	1,0	350	10,0	1,0
Vahvistimen vaatimattila (leveys, mm)	0,1	208	6,8	0,7	142	10,0	1,0	155	9,2	0,9	265	5,4	0,5
<b>Yhteensä</b>	<b>1</b>		<b>33,0</b>	<b>7,9</b>		<b>34,4</b>	<b>8,6</b>		<b>36,8</b>	<b>8,8</b>		<b>29,4</b>	<b>6,5</b>

Painoarvotaulukon perusteella lopullinen valinta tehtiin Siemensin ja Krohnen välillä. Krohnen anturissa on paksu kumivuoraus ja kumiset elektrodit, kun taas Siemens on n. 40 % halvempi. Virtausmittariksi valittiin lopulta Krohne, koska teräksisten elektrodien ei uskottu kestävän yhtä pitkään kuin kumisten. Myös toimittajan kokemus ja vahva asiantuntemus sekä saman anturin käyttö ulkomailla ruoppaussovelluksissa vaikutti suuresti valintaan.

Piirturin valintaan vaikutti eniten käyttäjystävällisyys ja muokattavuus (taulukko 4). Muokattavuus oli tärkeä tekijä, koska silloin pystytään jälkeenpäin helposti lisäämään ominaisuuksia.

### TAULUKKO 4. Piirturin painoarvotaulukko

Arvostelukriteeri	Painoarvo	Piirturi painoarvotaulukko								
		ABB, SM500F			FOXBORO, 6100AF			Eaton		
		Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Hinta (€, alv 0%)	0,2	2310	10,0	2,0	3610	6,4	1,3	4500	5,1	1,0
Tila vaatimus (syvyys, mm)	0,2	79	6,3	1,3	247	2,0	0,4	50	10,0	2,0
Käyttäjätystävällisyys	0,3	9	10,0	3,0	8	8,9	2,7	7	7,8	2,3
Muokattavuus	0,3	10	10,0	3,0	9	9,0	2,7	2	2,0	0,6
<b>Yhteensä</b>	<b>1</b>		<b>36,3</b>	<b>9,3</b>		<b>26,3</b>	<b>7,1</b>		<b>24,9</b>	<b>6,0</b>

Piirturiksi valittiin ABB:n valmistama laite. Valinta oli helppo, koska se on visuaalinen, helposti ohjelmoitavissa ja myös kaikista edullisin.

Tiheysmittauksen valintaan vaikutti eniten hinta ja ilmaisimen fyysinen koko. Tiheysmittariksi valittiin Vegan mittari ja kuten taulukosta 5 nähdään, valinta oli kohtuullisen helppo.

TAULUKKO 5. Tiheysmittarin painoarvotaulukko

		Radiometrinen tiheysmittaus painoarvotaulukko								
		Berthold Technologies			Ronan measurement division			Vega		
Arvostelukriteeri	Painoarvo	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Hinta (€, alv 0%)	0,4	13391	7,2	2,9	12000	8,0	3,2	9585	10,0	4,0
Radioaktiivisen jätteen poistokustannukset (€, alv 0%)	0,1	965	5,9	0,6	965	5,9	0,6	565	10,0	1,0
Ilmaisimen pituus (mm)	0,3	517	5,6	1,7	752	3,9	1,2	292	10,0	3,0
Vahvistimen vaatima tila (leveys, mm)	0,1	107	0,0	0,0	292	0,0	0,0	0,0	10,0	1,0
Säteilylähteen aktiivisuus (MBq)	0,1	1850	0,4	0,0	1850	0,4	0,0	74	10,0	1,0
Yhteensä	1		19,1	5,2		18,1	5,0		50,0	10,0

Vegan mittari oli lähes kaikessa parempi kuin kilpailijat. Ominaisuuksia siinä ei ole yhtä paljon kuin kahdessa muussa, mutta sillä ei ole merkitystä, koska mittarilta ei vaadittu muuta tietoa kuin kokonaistiheys.

## 6 JÄRJESTELMÄN ASENNUS JA KONFIGUROINTI

### 6.1 Laitteiden tilaus

Yritys päätti tilata kyseisen järjestelmän, mutta esimerkiksi virtausmittarin toimitusaika on 12 viikkoa, joten koko järjestelmää ei ehditty asentamaan tämän opinnäytetyön puitteissa. Yritys tarvitsi myös turvallisuusluvan ennen tiheysmittarin vastaanottoa, joten sekin osaltaan viivästytti laitteiston käyttöönottoa.

ABB:n toimittama piirturi kuitenkin saatiin nopeasti ja sen asetuksia päästiin testaamaan jo ennen muiden komponenttien saapumista. Asetukset oli huomattavasti helpompi määrittää ja testata kokonaisuudessaan ennen koneeseen asentamista.

### 6.2 Putket ja anturit

Kuvassa 19 on esitetty valmistajan suosittelemat suorat putken pituudet ennen ja jälkeen virtausanturin, joilla myös ilmoitetut mittausvirheet pätevät. Nämä pituudet takaavat sen, että mitattavalla nesteellä on riittävän tasainen virtaus koko mittauspituudella, eikä esim. kurvin tai supistuksen aiheuttamaa turbulentsisuuta. DN 250 kokoiselle anturille suosituksen mukaan tulopuolen suora pituus pitäisi olla vähintään 1000 mm ja poistopuolen 500 mm.

Valmistajan mukaan virtausanturissa olevien elektrodien pitää olla lähes vaakatasossa ja toleranssiksi sille annetaan  $\pm 45$  astetta. Tämä suositus on annettu ilmakuplien takia, koska jos elektrodit olisivat pystysuorassa, niin putken yläreunassa kulkevat ilmakuplat häiritsisivät mittausta.

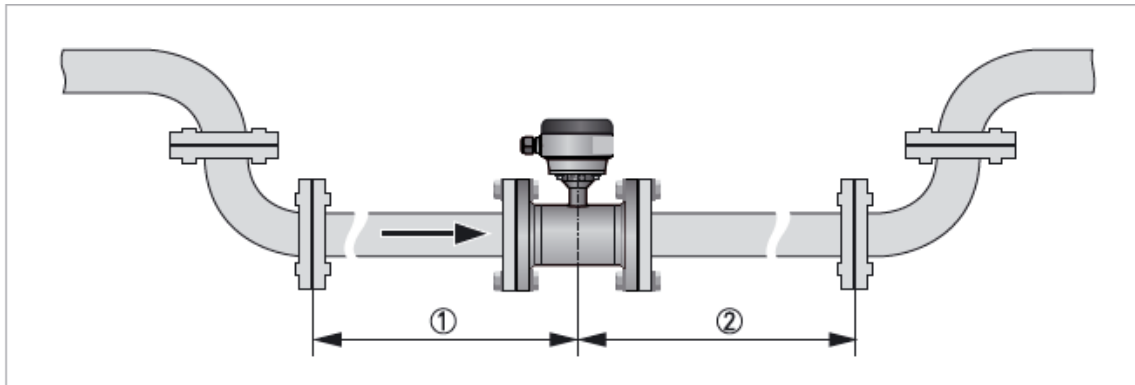


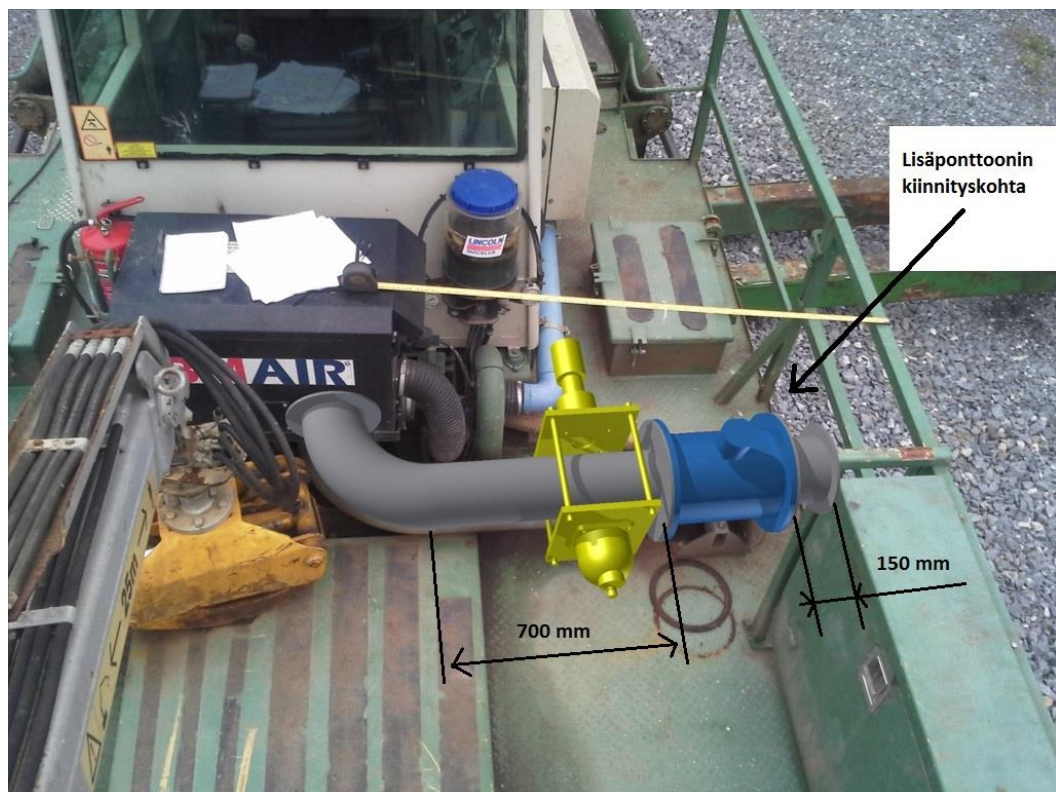
Figure 3-1: Recommended inlet and outlet sections

①  $\geq 5$  DN

②  $\geq 2$  DN

KUVA 19. Putken asennuksessa vaadittavat suorat osuudet (Krohne, 23)

Virtausanturi ja tiheysmittari asennetaan kuvan 20 mukaisesti ohjaamon takana kulkevaan putkeen. Alkuperäinen putki on normaalia terästä, joten sen sisäpinta on ruostunut ja siihen on tarttunut likaa. Putken sisäpinnalle kertynyt tavara aiheuttaa suuremman säteilyn absorboitumisen ja näin myös virhettä tiheysmittaukseen. Tästä syystä uusi putki valmistetaan kokonaan ruostumattomasta teräksestä, joiden valmistuskuvat ovat liitteessä 3.



KUVA 20. Lopullinen asennustapa ja putken suorien osuuksien mitat.

Vesimestarin alkuperäinen putki on ulkohalkaisijaltaan 216 mm ja sen päissä olevat laipat ovat standardin EN 1092-1 mukaiset DN200 PN10. Uuden putken ulkohalkaisija on 219,1 mm ja seinämä 3 mm, jolloin sisähalkaisija on sama 213 mm kuin anturissa. Kuvan 20 mukaisesti tehdään 700 mm ja 150 mm pitkät putket, jotka kummatkin sovi-tetaan tarkasti samaan kohtaan anturin sisäpinnan kanssa, jottei kynnystä synny.

Vesimestarilla työskenneltäessä siinä on sivuilla paikallaan lisäponttoonit, jotka irrote-taan kuljetuksen ajaksi. Ponttoonit tulevat kiinni kuvassa 20 merkittyyn reunaan. Lyhy-empi putki loppuu samalle reunalle, joten putkilinja puretaan siitä kohdasta. Silloin väl-tytään turhaan aukomasta anturin ja putken välisiä liitoksia, joten anturia ei tarvitse joka kerta sovittaa uudestaan. Myös anturi ja putki kokonaisuudessaan voi olla kiinteästi asennettuna, eikä vaadi irrotusta kuljetuksen ajaksi.

Edellä mainituista syistä suora putki ennen anturia pitää tehdä 700 mm pitkänä, eikä 1000 mm kuten valmistaja suosittelee. Ero on kuitenkin niin pieni, ettei se vaikuta juu-rikaan mittauksen tarkkuuteen. Poistopuolelle tulee lisäpontonin päälle vielä noin 800 mm pitkä suora putki, joten sen pituussuositus täyttyy.

Kuvassa 4 esitetyn kiintoaineen mahdollisen kerrostumisen vuoksi virtausmittari ja ti-heysmittari asennetaan 45 asteen kulmaan. Silloin anturit mittaavat paremmin keski-määräisiä arvoja, vaikka pientä kerrostumista pääsisikin muodostumaan.

### 6.3 Piirturin ja anturien konfigurointi

Virtausmittarilta tuodaan aktiivinen 4-20 mA viesti piirturin kanavaan 1. Virtausnopeu-den mittausalueeksi riittää -3-10 m/s, joten virtausmittarin vahvistimen asetuksiin mää-ritellään, että 4 mA vastaa virtausta -3 m/s ja 20 mA 10 m/s. Tiheysmittarilta tuodaan myös aktiivinen 4-20 mA viesti piirturin kanavaan 2. Tiheyden mittausalueeksi riittää 1000-1800 kg/m<sup>3</sup>, joten tiheysmittarin asetukset määritellään vastaavasti kuin virtaus-mittarin.

Kummallekin mittarille pystyy asettamaan vaimennusajan, joka vaimentaa mittausdataa kyseisen ajan niin, ettei ulostulosignaali ole niin paljoa kohinaa. Ulostulosignaali on

siis asetetun ajan verran jäljessä mittaushetkestä. Tässä tapauksessa pieni viive ei kuitenkaan ole haitaksi. Ruoppauksessa sopiva vaimennusajan suurusluokka on 5-10 sekuntia. Myös piirturin asetuksissa voi tulolle määritellä vaimennuksen vastaavasti, mutta jos vaimennus on asetettu jo mittareille, voidaan piirturi asettaa lukemaan tuloja reaaliajassa.

### 6.3.1 Math-funktiot

SM500F piirturille voidaan määritellä 8 kpl matemaattisia funktioita, joiden avulla voidaan laskea mittaustulosta haluttu arvo. Yhdessä funktiossa voi käyttää muuttujina useaa analogiatuloa, muiden math-funktioiden tuloksia tai digitaalituloja. Funktio käyttää analogia tulojen arvoja niin kuin kyseisen kanavan asetukseen on määritelty. Digitaalitulot funktio laskee ykkösenä tai nollana. Funktiossa analogiatulot ovat **a1**, **b1**, **c1** jne., digitaalitulot **md1**, **md2**, **md3** jne. ja itse funktioiden tulokset **m1**, **m2**, **m3** jne.

Funktioiden käyttö on kuitenkin rajallista, koska piirturi lukee yhtälön vasemmalta oikealle, eikä näin noudata yleisiä matemaattisia sääntöjä. Esim. yhtälö  $a1+5*m2$  luetaan  $(a1+5)*m2$ , eikä  $a1+(5*m2)$ . Tämän vuoksi esim. yhtälöä  $(a1+b1)/(md1-a1)$  ei pysty kirjoittamaan yhteen funktioon, vaan on käytettävä apufunktiota. Funktio menee silloin muotoon  $(a1+b1)/m2$  ja funktioon **m2** kirjoitetaan  $md1-a1$ .

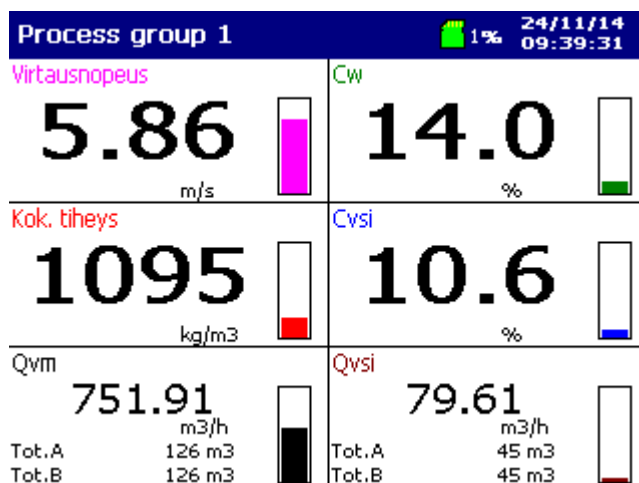
Taulukossa 6 on esitetty miten funktiot asetetaan piirturiin. Ne ovat muodostettu kaavoista 1-5 niin, että funktioihin 1-3 syötetään pelkkä kiinteä numeroarvo. Nämä arvot ovat työmaakohtaisesti muuttuvia tiheysarvoja. Näin on helppo muokata vain yhtä arvoa, eikä varsinaisiin funktioihin tarvitse koskea tiheyksien muuttuessa.

TAULUKKO 6. Math-funktiot

		Funktio	Selitys	Yksikkö	Termi
Analogiatulo	a1		Virtausnopeus	m/s	$v_m$
	b1		Seoksen tiheys	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_m$
Math-funktio	m1		Veden tiheys	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_f$
	m2		Kiintoaineen paikallinen tiheys - Veden tiheys	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{si}-\rho_f$
	m3		Kiintoaineen kuivatiheys	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_s$
	m4	$a1*128,2778$	Lietteen tilavuusvirta	m <sup>3</sup> /h	$Q_{vm}$
	m5	$b1-m1/m2*100$	Kiintoaineen paikallinen tilavuus- prosentti	%	$C_{vsi}$
	m6	$b1-m1*m3/b1/m8*100$	Kiintoaineen massaprosentti	%	$C_w$
	m7	$m4*m5/100$	Paikallisen kiintoaineen tilavuus- virta	m <sup>3</sup> /h	$Q_{vsi}$
	m8	$m3-m1$	Apufunktio	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_s-\rho_f$

### 6.3.2 Piirturin käyttöliittymä

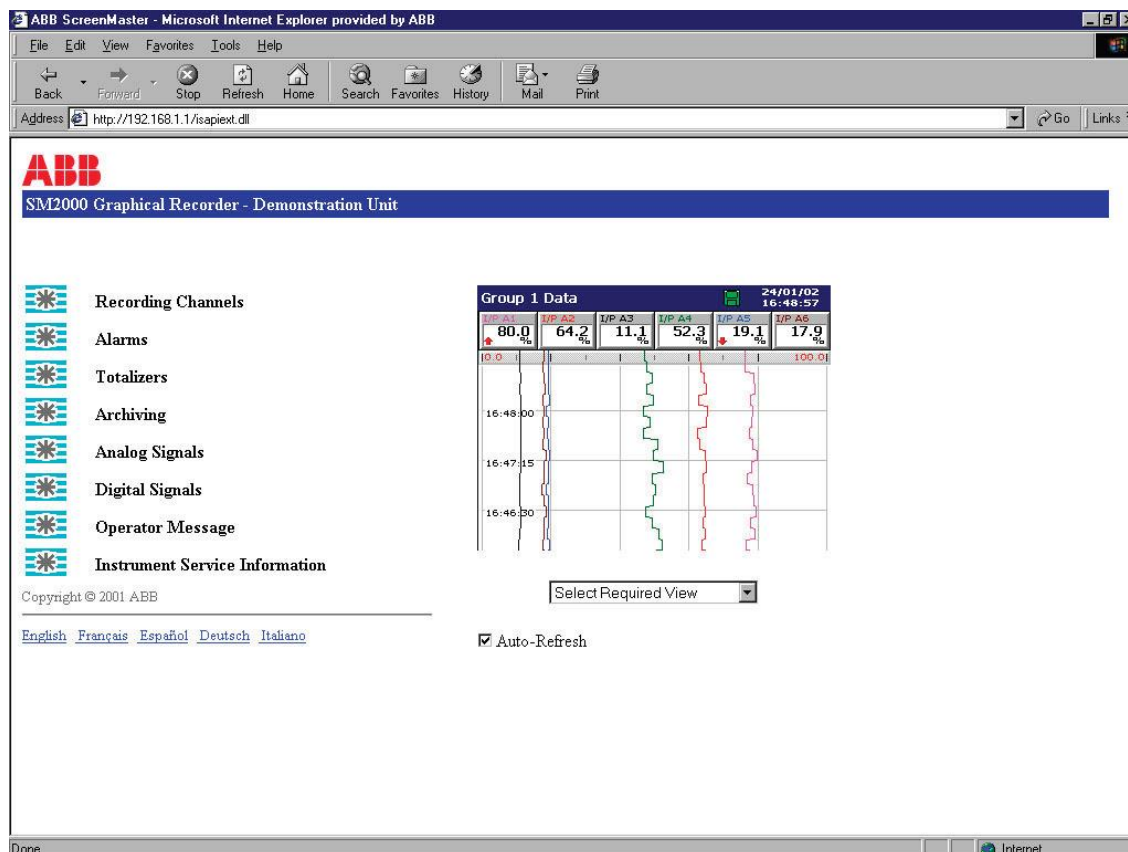
Kuvassa 21 näkyy millainen piirturin näyttö on perustilassa asetusten määrittämisen jälkeen. Numeroarvojen tukena olevat palkit helpottavat kuljettajaa erottamaan arvon suuruuden nopealla vilkaisulla. Palkkien skaalaa voi tarvittaessa muuttaa sopivammaksi.



Kuva 21. Piirturin perusnäyttö

Piirturissa on myös etäkäyttömahdollisuus. Tämä vaatii tietysti internet yhteyden, joten ruoppaajaan on asennettava reititin, josta tuodaan verkkokaapeli piirturille. Reitittimeen saadaan nettitikun avulla internet yhteys.

Piirturin asetuksiin määritellään oikeat verkkoasetukset, sekä käyttäjäasetukset. Eri käyttäjiä voi määrittää 4 kpl ja jokaiselle on oma salasana. Yhteys otetaan verkkoselaimella kirjoittamalla osoitekenttään piirturin ip-osoite ja sen jälkeen syöttämällä käyttäjänimi ja salasana. Kuvassa 22 näkyy verkkoselainpohjaisen käyttöliittymän etusivu.



KUVA 22. Selainpohjainen piirturin etäkäyttö (ABB, 2014)

Selaimen kautta voi melko reaaliajassa seurata piirturin toimintoja, mutta sitä kautta ei pysty esimerkiksi lataamaan log-tiedostoja tietokoneelle. Käytännössä sillä voi katsella samoja näyttöjä kuin itse piirturin käyttäjä ja laskurit pystyy nollaamaan. Normaalityöskentelyssä laskurien näkeminen riittää ja tarkempaa tarkastelua varten koneenkäyttäjällä voi ladata datan muistikortilta tietokoneelle ja lähettää sen työnjohdolle.

Selaimen kautta piirturin asetuksia voi muuttaa vain lataamalla uuden konfigurointi-tiedoston. Asetuksia voi muokata vain ne käyttäjät joille on annettu siihen oikeus piirturin asetuksissa.



### 6.3.3 Piirturin testaus

Anturitulojen simulointia varten valmistettiin yksinkertainen laite (kuva 23), jolla voitiin syöttää piirturille 4-20 mA virtaviestit. Näin pystyttiin testaamaan math-funktioiden ja laskurien oikea toiminta jokaisessa käyttötilanteessa.



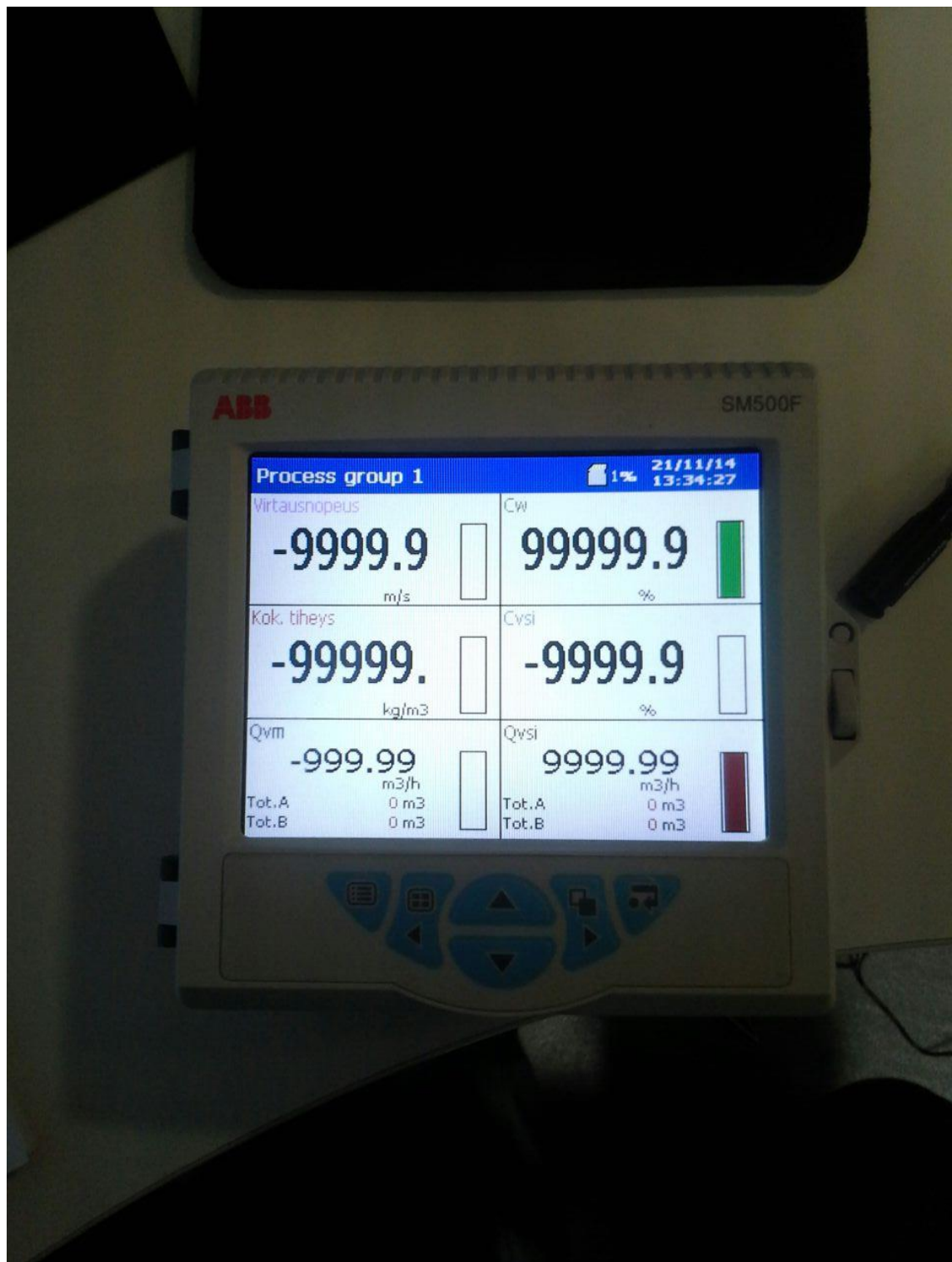
KUVA 23. mA-tulojen simulointi laitteisto

Testauksen aikana huomattiin, että laskurit laskevat vain positiivia arvoja. Eli jos virtausnopeus menee negatiiviseksi, menee myös kokonaistilavuusvirta negatiiviseksi ja silloin kokonaistilavuusvirran laskurin arvo ei vähene vaan pysyy vakiona. Tällä ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, koska jos virtauksen suunta muuttuu, silloin putkessa ei kulje suurta määrää kiintoainetta.

Testauksessa huomattiin myös, että jos kokonaistiheys laskee alle asetetun veden tiheyden, menee paikallinen tilavuusprosentti negatiiviseksi. Todellisuudessa arvo ei voi olla negatiivista, mutta näin voi käydä jos piirturiin asetettu veden tiheys on suurempi kuin todellinen arvo, esim. jos putki tyhjenee. Tämä muodosti ongelman tilanteessa, jossa myös kokonaistilavuusvirta on negatiivista. Koska paikallinen tilavuusvirta lasket-

tiin näiden kahden tulona, saa se silloin positiivisen arvon, koska kummatkin arvot olivat negatiivista. Silloin paikallisen tilavuusvirran laskuri alkaa nousta ja näin ollen vääristää lukemaa. Tämä ongelma saadaan kuitenkin poistettua niin, että määritellään tiheysmittarin asetuksiin minimiarvo samaksi kuin piirturiin asetettu veden tiheys. Silloin paikallisen tilavuusprosentin minimiarvo on 0 %, eikä edellä mainittua laskurin vääristymistä pääse tapahtumaan.

Vastaava laskurien vääristyminen tapahtuu myös silloin, jos anturien syöttämät arvot ovat piirturiin asetettujen arvojen ulkopuolella. Tilanne voi tapahtua esim. silloin, kun toinen tai molemmat mittarit ovat pois päältä. Silloin piirturi näyttää maksimilukemaa kuvan 24 mukaisesti ja laskurit alkavat nousta. Tällaiset tilanteet pitää laskuritietojen käyttäjän huomioida ja tarvittaessa suodattaa väärät tiedot pois manuaalisesti log-tiedostosta.



KUVA 24. Piirturin lukemat, kun anturit eivät ole kytkettyinä

## 7 POHDINTA

Lopullisen järjestelmän verottomaksi kokonaishinnaksi tuli n. 19000 €, joka on huomattavasti edullisempi kuin vuonna 2013 pyydetty tarjous. Lisäksi kaikki komponentit saadaan Suomalaisilta toimittajilta, jolloin huolto ja tekninen tuki ovat helposti saatavilla.

Työn aikana huomattiin, että asiaan liittyvää kirjallisuutta on erittäin vähän. Lisäksi saatavilla oleva materiaali koskee lähinnä isoja laivaruoppaajia, joiden kohteet ovat isoja järviä ja meriä, joten niiden ruoppausliete on todella paksua. Näissä tapauksissa kiintoaineen ominaisuudet ovat useimmiten tasaisia ja tunnettuja, joten teoriaa voidaan soveltaa useimmiten suoraan käytäntöön. Siksi ulkomaisten toimittajien edustamissa järjestelmissä voidaan arvioida kiintoaineen ominaisuudet ja käyttää niitä lähes aina.

Suomessa tapahtuvissa ruoppauksissa liete on yleensä todella vesipitoista ja kiintoaineen ominaisuudet vaihtelevat suuresti. Sen vuoksi järjestelmältä vaaditaan paljon tarkempaa kalibrointia. Tämä asia tuli hieman yllätyksenä, koska kukaan laitetoimittajista ei puuttunut tähän asiaan. Vasta virhetarkastelun jälkeen selvisi, kuinka vaikeaa tarkka mittaus todellisuudessa on.

Tiheysmittareista saa usein ulos myös kiintoaineprosentin, mutta toimittajia haastateltaessa kukaan ei tuntunut tarkkaan tietävän, että miten laite laskee kyseisen prosentin. Edes ulkomaiset, asiaan enemmän perehtyneet toimittajat, eivät kertoneet tarkempaa matemaattista taustaa näistä laskutoimenpiteistä, vaan heidän mukaansa riittää kun arvioimme kiintoaineen tiheyden. Osittain myös tämän vuoksi päädyttiin valittuun laitekombinaatioon, koska vain siten tiedettiin varmasti mitä oltiin laskemassa.

Säteilyn käyttöön liittyvä työmäärä yllätti. Työn aikana suoritin TAMKissa vastaavan johtajan pätevyys -kurssin ja vasta siellä ymmärsin kuinka tärkeää on valvoa laajasti säteilyn käyttöä. Turvallisuusluvasta kysyttiin alustavia ohjeita Säteilyturvakeskuksesta Santtu Hellsténiltä, jolle ei ollut tullut vastaavaa tilannetta aikaisemmin vastaan. Hän neuvoikin laittamaan turvallisuuslupahakemukseen normaalia tarkemman selvityksen mm. säteilyn käyttöpaikasta.

Työn puitteissa ei ehditty tarkastelemaan laitteen toimivuutta kokonaisuutena, joten erityisen tärkeää onkin testata laitteisto ennen sen varsinaista käyttöönottoa, koska laitteiston tarkkuudesta ei ole täyttä varmuutta. Testaus kannattaa suorittaa työmaalla, jossa mitataan altaan tilavuus ennen ruoppauksen aloittamista ja sen jälkeen. Näin voidaan verrata laitteiston mittaamaa ja perinteisin menetelmin mitattua tilavuutta.

Jos laitteistoa aiotaan tilata useampaankin ruoppajaan, kannattaa niiden piirtureihin ottaa myös digitaalituloja, koska silloin voidaan asettaa esimerkiksi laskurit toimimaan vain silloin kun imupumppu on päällä.

## LÄHTEET

ABB. 2014. FSM 4000 Electromagnetic flowmeter. PDF. Luettu 12.10.2014.

<http://www.abb.fi/product/seitp330/1822fc34b857290dc1256e8c0022dd28.aspx>

ABB. 2014. SM 500F Field mountable videographic recorder. PDF. Luettu 12.10.2014.

<http://new.abb.com/control-systems/essential-automation/compact-product-suite/essential-recorder-suite/paperless-recorders/sm500f>

Berthold technologies. 2014. Concentration measurement for dredging applications. PDF. Luettu 10.9.2014.

<http://www.tecalemitflow.fi/tuotteet/tiheysmittaukset-826/lb-444-erillisrakenteinen-tiheyslahetin-163>

Endress+Hauser. 2014. Proline Promag 55S Electromagnetic flowmeter. Technical information. PDF. Luettu 22.9.2014.

<http://www.endress.com/en/Tailor-made-field-instrumentation/Flow-measurement-product-overview/Product-Electromagnetic-flowmeter-Proline-Promag-55S>

Invensys. 2013. Foxboro product specifications. Model 6100AF. PDF. Luettu 1.10.2014.

[http://resource.invensys.com/instrumentation/documentation/eib/pss/pss\\_2c-1c1a.pdf](http://resource.invensys.com/instrumentation/documentation/eib/pss/pss_2c-1c1a.pdf)

Halko P., Härkönen S., Lähteenmäki I. & Välimaa T. 1990. Teollisuuden Mittaustekniikka. Perusmittauksia. Helsinki: VAPK-kustannus

Hartikainen O-P. 2007. Maanrakennustekniikka. 11. Painos. Helsinki: Otatieto

Hellstén S. tarkastaja. 2014. Radiometrinen tiheysmittaus. Sähköposti.

[santtu.hellsten@stuk.fi](mailto:santtu.hellsten@stuk.fi) Luettu 18.09.2014

Härkönen S., Lähteenmäki I. & Välimaa T. 1992. Teollisuuden Mittaustekniikka. Analyysimittaukset. 2. Painos. Helsinki: Opetushallitus

Kempainen T. tuotepäällikkö. 2014. Haastattelu 24.09.2014. Haastattelija Nieminen J. Tampere.

Krohne. 2010. Optiflux 4000 Technical datasheet.

<http://krohne.com/en/dlc/product-related-downloads/flowmeters/electromagnetic-flowmeters/optiflux-4000/>

Linatex. Rubber sheet products. PDF. Luettu 16.10.2014.

<http://www.alphaind.ca/media/PDFs/Linatex/LinatexRubbersheet.pdf>

Matousek V. tekniikan tohtori. 2004. Soil-water mixture and its phases. PDF. Luettu 17.10.2014.

<http://ocw.tudelft.nl/courses/offshore-engineering/dredge-pumps-and-slurry-transport/readings/>

Metso automation. 2014. KajaaniTS. Asennus-, käyttö- ja huoltoohje. PDF. Luettu 25.09.2014.

Mäkelä M., Soininen L., Tuomola S. & Öistämö J. 2010. Tekniikan kaavasto. 9. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Ojanen S. toimitusjohtaja. 2014. Haastattelu 11.08.2014. Haastatteliija Nieminen J. Punnalaidun.

Pihkala J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2. Painos. Helsinki: Opetushallitus

Rönqvist J. myyjä. 2014. Ruoppausveden mittaus. Sähköposti. [jon.ronqvist@fi.abb.com](mailto:jon.ronqvist@fi.abb.com). Luettu 19.08.2014.

Scott S., 2000. Uncertainly analysis applied to dredge production calculation. U.S. Army engineer research and development center. PDF. Luettu 12.10.2014. <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA383685>

ST 1.1. 2013. Säteilytoiminnan turvallisuus. PDF. Luettu 28.8.2014 [http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/viranomaisohjeet/fi\\_FI/stohjeet/](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/viranomaisohjeet/fi_FI/stohjeet/)

ST 1.4. 2011. Säteilyn käyttöorganisaatio. PDF. Luettu 30.8.2014 [http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/viranomaisohjeet/fi\\_FI/stohjeet/](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/viranomaisohjeet/fi_FI/stohjeet/)

ST 1.8. 2012. Säteilyn käyttöorganisaatiossa toimivien henkilöiden pätevyys ja säteily-suojelukoulutus. PDF. Luettu 30.8.2014 [http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/viranomaisohjeet/fi\\_FI/stohjeet/](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/viranomaisohjeet/fi_FI/stohjeet/)

ST 5.1. 2007. Umpilähteiden ja niitä sisältävien laitteiden säteilyturvallisuus. PDF. Luettu 30.8.2014 [http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/viranomaisohjeet/fi\\_FI/stohjeet/](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/viranomaisohjeet/fi_FI/stohjeet/)

STUK. 2012. Radioaktiivisten aineiden kuljetus. PDF. Luettu 20.9.2014 [http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/fi\\_FI/stuk\\_tiedottaa/files/88278002102116005/default/STUK-opastaa2012-kuljetus-2-korjattu-painos-netti.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/stuk_tiedottaa/files/88278002102116005/default/STUK-opastaa2012-kuljetus-2-korjattu-painos-netti.pdf)

STUK. 2014. Säteilylähteiden varoitusmerkit. Luettu 16.10.2014 [http://www.stuk.fi/proinfo/muuta\\_tietoa/fi\\_FI/varoitusmerkit/](http://www.stuk.fi/proinfo/muuta_tietoa/fi_FI/varoitusmerkit/)

STUK. 2014. Valvontahinnasto. PDF. Luettu 18.11.2014 [http://www.stuk.fi/proinfo/valvonta/fi\\_FI/maksut/files/91685758267436653/default/Valvontahinnasto2014.pdf](http://www.stuk.fi/proinfo/valvonta/fi_FI/maksut/files/91685758267436653/default/Valvontahinnasto2014.pdf)

Suomen Nukliditeknikka. Hinnasto. Luettu 11.11.2014 <http://www.suomennukliditeknikka.fi/hinnastoB.htm>

Trogen J. Technical sales engineer. 2014. Tarjouspyyntö. Sähköposti. [jeremias.trogen@metso.com](mailto:jeremias.trogen@metso.com). Luettu 23.09.2014.

Viherä A. myyjä. 2014. Ruopattavan aineen mittaus. Sähköposti. [anssi.vihera@tecaflow.fi](mailto:anssi.vihera@tecaflow.fi). Luettu 12.09.2014

Väisälä S., Korpela H., Kaituri M. 2004. Säteilyn käyttö. STUK.

Willard says. 2009. The discharge pipeline. Slurry density. PDF. Luettu 12.10.2014.  
<http://www.willardsays.com/discharge.html>

Willard says. 2004. Controlling pipeline velocity. PDF. Luettu 16.10.2014.  
<http://www.willardsays.com/controlvelocity.pdf>

Vega. 2014. Radiation-based measurement. Luettu 20.10.2014  
[http://www.vega-americas.com/en/electronics\\_accessories\\_standardbracket.htm](http://www.vega-americas.com/en/electronics_accessories_standardbracket.htm)

Yokogawa. 2014. Measurement principle and features of the coriolis flow meter. Luettu 30.09.2014.  
<http://www.yokogawa.com/us/technical-library/white-papers/rota-mass-3-series-coriolis-mass-flow-and-density-meter.htm>



## LIITTEET

### Liite 1. Vaatimuslista

Vesirakennus Ojanen Oy

VAATIMUSLISTA

18.08.2014

K/V/T	Laitteiston tulee täyttää seuraavat vaatimukset:
<b>K</b>	<b>Kiinteä vaatimus: Vaatimuksen tulee toteutua kaikissa tilanteissa</b>
<b>V</b>	<b>Vähimmäisvaatimus: Vaatimuksella on raja-arvo, joka on vähintään saavutettava</b>
<b>T</b>	<b>Toive: Ominaisuus olisi hyvä olla, jos ei aiheuta suuria lisäkustannuksia</b>
<b>K</b>	<p>Mittauksen päävaatimukset:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitataan ruoppaajan putkilinjassa kulkevan lietteen virtausnopeus.</li> <li>• Mitataan lietteen kiintoaineen tilavuus- ja massaprosentti.</li> <li>• Mittaustarkkuus normaalioloissa riittävä.</li> </ul> <p>Putkilinjan koko 170-210 mm. Lietteiden tiheys 1-2 kg/dm<sup>3</sup> ja tilavuusvirta 50-900 m<sup>3</sup>/h.</p> <p>Putkessa kulkee reilun nyrkin kokoisia kiviä, joten antureista ei saa tulla putkeen suuria esteitä.</p>
<b>V</b>	<p>Laitteiston sijoitus:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anturit sijoitetaan ruoppaajan kannelle, niin etteivät ne häiritse normaalia työskentelyä, eivätkä ole alttiina vaurioitumiselle.</li> <li>• Vahvistimet, muut anturien erilliset sähkökomponentit ja näyttö on mahdollista ohjaamoon niin, etteivät ne häiritse normaalia työskentelyä, eivätkä ole alttiina vaurioitumiselle.</li> </ul> <p>Ruoppaajassa on 24VDC käyttöjännite.</p>
<b>K</b>	<p>Kuljettajan näyttö:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Näyttää reaaliajassa tilavuusvirran ja kiintoaineen tilavuus- ja massaprosentin.</li> <li>• Helppo käyttää ja helposti luettavissa.</li> </ul>
<b>K</b>	<p>Datan tallennus:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laskurit pumpatulle kokonaistilavuudelle ja kiintoaineen tilavuudelle, jotka ovat nollattavissa.</li> <li>• Laskurien tiedot luettavissa näytöltä ja tallennettavissa ulkoisesti.</li> </ul>
<b>T</b>	<p>Etäyhteys, jolla saadaan kaikki tarvittava tieto internetin välityksellä.</p> <p>Laskurien tiedot haettavissa päivämäärien perusteella joltain tietyltä aikaväliltä.</p>

## Liite 2. Virhelaskelma

Paikallinen kiintoaineen tilavuusprosentti:

$$C_{vsi} = \frac{\rho_m - \rho_f}{\rho_{si} - \rho_f} \quad (2.11).$$

Kiintoaineen paikallinen tilavuusprosentti on siis eri tiheyksien funktio:

$$C_{vsi}(\rho_m, \rho_{si}, \rho_f) := \frac{\rho_m - \rho_f}{\rho_{si} - \rho_f}$$

Derivaatta  $\rho_m$  suhteen:

$$\left| \frac{d}{d\rho_m} C_{vsi}(\rho_m, \rho_{si}, \rho_f) \right| \rightarrow \frac{1}{|\rho_f - \rho_{si}|}$$

Derivaatta  $\rho_{si}$  suhteen:

$$\left| \frac{d}{d\rho_{si}} C_{vsi}(\rho_m, \rho_{si}, \rho_f) \right| \rightarrow \frac{|\rho_f - \rho_m|}{(|\rho_f - \rho_{si}|)^2}$$

Derivaatta  $\rho_f$  suhteen:

$$\left| \frac{d}{d\rho_f} C_{vsi}(\rho_m, \rho_{si}, \rho_f) \right| \rightarrow \left| \frac{1}{\rho_f - \rho_{si}} - \frac{\rho_f - \rho_m}{(\rho_f - \rho_{si})^2} \right|$$

-->

$$\Delta C_{vsi} = \frac{1}{|\rho_f - \rho_{si}|} \cdot |\Delta \rho_m| + \frac{|\rho_f - \rho_m|}{(|\rho_f - \rho_{si}|)^2} \cdot |\Delta \rho_{si}| + \left| \frac{1}{\rho_f - \rho_{si}} - \frac{\rho_f - \rho_m}{(\rho_f - \rho_{si})^2} \right| \cdot |\Delta \rho_f|$$

Kiintoaineen massaprocentti:

$$C_w(\rho_s, \rho_m, \rho_f) := \frac{\rho_s \cdot (\rho_m - \rho_f)}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)}$$

Massaprocentin virhe:

$$|\Delta C_w| \leq \left| \frac{d}{d\rho_s} C_w(\rho_s, \rho_m, \rho_f) \right| \cdot |\Delta \rho_s| + \left| \frac{d}{d\rho_m} C_w(\rho_s, \rho_m, \rho_f) \right| \cdot |\Delta \rho_m| + \left| \frac{d}{d\rho_f} C_w(\rho_s, \rho_m, \rho_f) \right| \cdot |\Delta \rho_f|$$

2 (4)

Derivaatta  $\rho_s$  suhteen:

$$\left| \frac{d}{d\rho_s} C_w(\rho_s, \rho_m, \rho_f) \right| \rightarrow \left| \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m)}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)^2} - \frac{\rho_f - \rho_m}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)} \right|$$

Derivaatta  $\rho_m$  suhteen:

$$\left| \frac{d}{d\rho_m} C_w(\rho_s, \rho_m, \rho_f) \right| \rightarrow \left| \frac{\rho_s}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)} + \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m)}{\rho_m^2 \cdot (\rho_s - \rho_f)} \right|$$

Derivaatta  $\rho_f$  suhteen:

$$\left| \frac{d}{d\rho_f} C_w(\rho_s, \rho_m, \rho_f) \right| \rightarrow \left| -\frac{\rho_s}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)} - \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m)}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)^2} \right|$$

--&gt;

$$\Delta C_w = \left| \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m)}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)^2} - \frac{\rho_f - \rho_m}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)} \right| \cdot \Delta \rho_s + \left| \frac{\rho_s}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)} + \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m)}{\rho_m^2 \cdot (\rho_s - \rho_f)} \right| \cdot \Delta \rho_m + \left| -\frac{\rho_s}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)} - \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m)}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)^2} \right| \cdot \Delta \rho_f$$

Veden tiheys:

Veden tiheyden virhe:

$$\rho_f := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta \rho_f := 2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kiintoaineen keskimääräinen paikallinen tiheys:

$$\rho_{\text{si}} := 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kiintoaineen arvioidun paikallisen tiheyden virhe:

$$\Delta \rho_{\text{si.a}} := 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kiintoaineen mitatun paikallisen tiheyden virhe:

$$\Delta\rho_{\text{si.m}} := 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kiintoaineen kuivatiheys:

Kiintoaineen arvioidun kuivatiheyden virhe:

$$\rho_s := 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta\rho_{\text{s.a}} := 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kiintoaineen mitatun kuivatiheyden virhe:

$$\Delta\rho_{\text{s.m}} := 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Lietteen kokonaistiheys kiintoaineen massaprocentin funktiona:

$$C_w = \frac{\rho_s \cdot (\rho_m - \rho_f)}{\rho_m \cdot (\rho_s - \rho_f)} \quad \rightarrow \quad \rho_m(C_w) := \frac{\rho_s \cdot \rho_f}{\rho_s - \rho_s \cdot C_w + \rho_f \cdot C_w}$$

Lietteen tiheyden virhe massaprocentin funktiona:

$$\Delta\rho_m(C_w) := \rho_m(C_w) \cdot 0.5\%$$

Paikallinen tilavuusprosentti massaprocentin funktiona:

$$C_{\text{vsi.a}}(C_w) := \frac{\rho_m(C_w) - \rho_f}{\rho_{\text{si}} - \rho_f}$$

Paikallisen tiheyden virhe arvioidulla arvolla:

$$\Delta C_{\text{vsi.a}}(C_w) := \frac{1}{|\rho_f - \rho_{\text{si}}|} \cdot |\Delta\rho_m(C_w)| + \frac{|\rho_f - \rho_m(C_w)|}{(|\rho_f - \rho_{\text{si}}|)^2} \cdot |\Delta\rho_{\text{si.a}}| + \left| \frac{1}{\rho_f - \rho_{\text{si}}} - \frac{\rho_f - \rho_m(C_w)}{(\rho_f - \rho_{\text{si}})^2} \right| \cdot |\Delta\rho_f|$$

Paikallisen tiheyden virhe mitatulla arvolla:

$$\Delta C_{\text{vsi.m}}(C_w) := \frac{1}{|\rho_f - \rho_{\text{si}}|} \cdot |\Delta\rho_m(C_w)| + \frac{|\rho_f - \rho_m(C_w)|}{(|\rho_f - \rho_{\text{si}}|)^2} \cdot |\Delta\rho_{\text{si.m}}| + \left| \frac{1}{\rho_f - \rho_{\text{si}}} - \frac{\rho_f - \rho_m(C_w)}{(\rho_f - \rho_{\text{si}})^2} \right| \cdot |\Delta\rho_f|$$

Paikallisen tilavuusprosentin suhteellinen virhe kiintoaineen massaprocentin funktiona:

$$\Delta sC_{\text{vsi.a}}(C_w) := \frac{\Delta C_{\text{vsi.a}}(C_w)}{C_{\text{vsi.a}}(C_w)}$$

$$\Delta sC_{\text{vsi.m}}(C_w) := \frac{\Delta C_{\text{vsi.m}}(C_w)}{C_{\text{vsi.a}}(C_w)}$$

Massaprocentin virhe massaprocentin funktiona arvioidulla kiintoaineen kuivatiheyden arvolla:

$$\Delta C_{w.a}(C_w) := \left| \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m(C_w))}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)^2} - \frac{\rho_f - \rho_m(C_w)}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)} \right| \cdot \Delta \rho_{s.a} + \left| \frac{\rho_s}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)} + \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m(C_w))}{\rho_m(C_w)^2 \cdot (\rho_s - \rho_f)} \right| \cdot \Delta \rho_m(C_w) + \left| \frac{\rho_s}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)} - \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m(C_w))}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)^2} \right| \cdot \Delta \rho_f$$

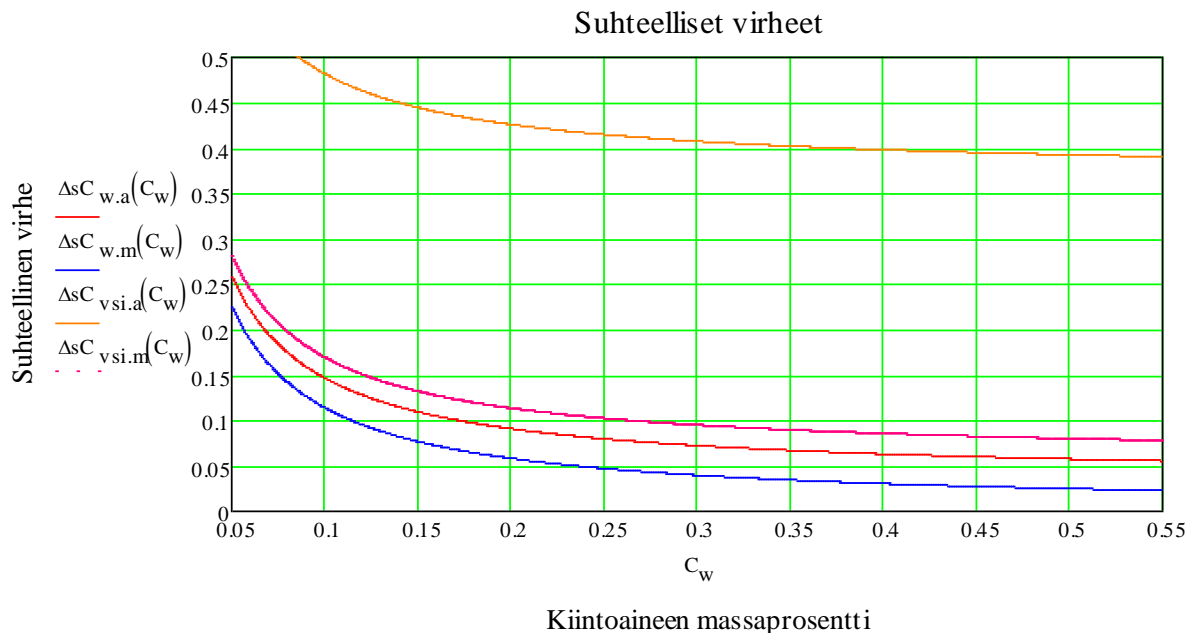
Massaprocentin virhe massaprocentin funktiona mitatulla kiintoaineen kuivatiheyden arvolla:

$$\Delta C_{w.m}(C_w) := \left| \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m(C_w))}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)^2} - \frac{\rho_f - \rho_m(C_w)}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)} \right| \cdot \Delta \rho_{s.m} + \left| \frac{\rho_s}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)} + \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m(C_w))}{\rho_m(C_w)^2 \cdot (\rho_s - \rho_f)} \right| \cdot \Delta \rho_m(C_w) + \left| \frac{\rho_s}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)} - \frac{\rho_s \cdot (\rho_f - \rho_m(C_w))}{\rho_m(C_w) \cdot (\rho_s - \rho_f)^2} \right| \cdot \Delta \rho_f$$

Massaprocentin suhteellinen virhe massaprocentin funktiona:

$$\Delta sC_{w.a}(C_w) := \frac{\Delta C_{w.a}(C_w)}{C_w}$$

$$\Delta sC_{w.m}(C_w) := \frac{\Delta C_{w.m}(C_w)}{C_w}$$



## Liite 3. Putkien valmistuskuvat

