



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LEVELSENSE™-MITTALAITTEEN PUHDISTUSMEKANISMIN SUUNNITTELU

TEKIJÄ: Pasi Pursiainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Pasi Pursiainen			
Työn nimi LevelSense™-mittalaitteen puhdistusmekanismin suunnittelu			
Päiväys	19.9.2014	Sivumäärä/Liitteet	28+4
Ohjaaja(t) Yliopettaja Risto Rönkä			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Outotec (Finland) Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Outotec (Finland) Oy:n toimeksiannosta. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella LevelSense™ mittalaitteeseen puhdistusmekanismi, jolla pystytään pitämään mittalaitteen ylimmät elektrodit puhtaana vaahdosta ja estämään niiden likaantuminen. Likaantumisen estämisen tarkoituksena on saada tarkempia mittaustuloksia. Työ toteutettiin Savonia-ammattikorkeakoulun laitteistoja ja ohjelmistoja apuna käyttäen.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla markkinoilla oleviin pesusuuttimiin ja niiden ominaisuuksiin. Vertailukohtaksi otettiin kotona olevan bideesuikun virtausnopeus. Virtausnopeuden arvolla pystyttiin varmistumaan veden iskuvoiman riittävydestä puhdistettavassa kohteessa. Esisuunnitelma esitettiin yritykselle. Päämääränä oli suunnitella ja valmistaa komponentti pesua varten. Pesurin täytyi olla automaattinen ja pesujärjestelmän paineita pystyä muuttamaan tarvittaessa.</p> <p>Työn tuloksena kehitettiin uusi komponentti, jota käytetään mittaussauvan puhdistukseen rikastusprosessin aikana. Lisäksi valmistettiin ohjausjärjestelmä, jotta komponentin toimintaa voidaan säätää. Puhdistuksen vaikutusta tarkkailtiin prosessin aikana ja huomattiin sen helpottavan ilmarajapinnan määrittämistä, joka ei enää heilunut pesun jälkeen yhtä paljon kuin ennen.</p>			
Avainsanat LevelSense™, 3D-tulostus, vaahdotus			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Pasi Pursiainen			
Title of Thesis Design of LevelSense™ Probe Cleaning Mechanism			
Date	19 September, 2014	Pages/Appendices	28+4
Supervisor(s) Mr Risto Rönkä, Principal Lecture			
Client Organisation /Partners Outotec (Finland) Oy			
<p>Abstract</p> <p>This final year project was commissioned by Outotec (Finland) Oy. The aim of this project was to develop a cleaning mechanism to the LevelSense™ measurement probe, which can keep the highest electrodes of the measurement probe clean and prevent them from contaminating in order to get more accurate results in measurements. The work was carried out in the premises of Savonia UAS using their machining equipment and software.</p> <p>The work was started by studying the cleaning nozzles available on the market and their specifications. The flow rate of a bidet shower was taken as a reference. The flow rate made it possible to ensure sufficient impact force in the target to be purified. A preliminary plan was presented to the company. The aim was to plan and manufacture a component for cleaning. The washer had to be automatically controlled and the pressure in the cleaning system had to be adjustable when necessary.</p> <p>The result was a new component, which is used for cleaning the measurement probe during concentration. In addition, a control system for the component was manufactured so that the operation can be adjusted. The cleaning effect was monitored during the process and it was found out that it makes it easier to define the air interface which did not swing after washing as much as before.</p>			
Keywords LevelSense™, 3D-printing, flotation			
public			

ESIPUHE

Haluan kiittää avopuolisoani ja muita läheisiäni tuesta ja kannustamisesta. Lisäksi kiitän Outotec (Finland) Oy:n Kuopion yksikön päällikköä Ari Suhosta, projektipäällikkö Jari Kourusta, teknistä asiantuntijaa Teemu Soinia ja muita yksikön toimihenkilöitä avusta ja ohjauksesta opinnäytetyön aikana. Kiitokset myös ohjaavalle opettajalle Ristö Röngälle sekä koneteknikko Reijo Keinäselle erinomaisesta yhteistyöstä.

Kuopiossa 19.9.2014

Pasi Pursiainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	OUTOTEC OYJ	7
2.1	Minerals processing.....	8
2.2	Metals, Energy & Water.....	8
3	MALMIN TUOTANTOVAIHEET	9
4	VAAHDOTUSMENETELMÄ.....	10
5	IMPEDANSSITOMOGRAFIA.....	12
6	LEVELSENSE™	13
7	ESISUUNNITTELU	15
8	SUUNNITTELU	17
8.1	Mallinnus ja 3D-tulostus	19
8.2	Koneistettu kappale	21
9	OHJAUSJÄRJESTELMÄ	22
9.1	Ohjauskeskus	22
9.2	Magneettiventtiili	22
9.3	Paineensäätöventtiili	23
9.4	Järjestelmän komponentit	24
10	TESTAUS JA TULOKSET	25
11	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET.....	28
	LIITE 1: ILMARAJAPINTATRENDI JA JÄNNITEPROFIILI.....	29
	LIITE 2: JÄNNITERAKENNE.....	30
	LIITE 3: KOMPONENTIN YLÄPUOLEN VALMISTUSKUVA	31
	LIITE 4: KOMPONENTIN ALAPUOLEN VALMISTUSKUVA	32

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään Outotec (Finland) Oy:lle ja tarkoituksena on suunnitella vaahdotusteknologiassa käytettävään LevelSense™ pinnanmittauslaitteeseen puhdistusmekanismi. Tavoitteena on ennaltaehkäistä malmin rikastusprosessissa käytettävän pinnanmittauslaitteen likaantuminen. Likaantumisen ennaltaehkäisy antaa paremmat edellytykset vaahdon rajapintojen tarkkailuun.

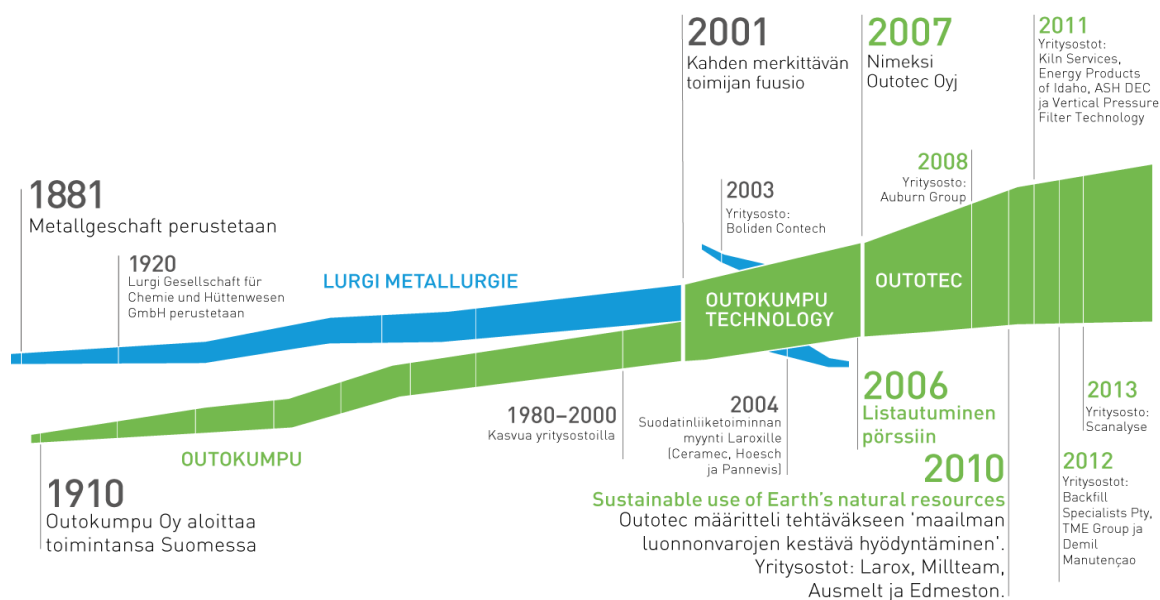
Opinnäytetyön aihe valittiin Outotec (Finland) Oy:llä käydyn haastattelun ja erillisen tapaamisen perusteella. Haastattelussa olivat mukana Outotec (Finland) Oy Kuopion toimipisteen päällikkö Ari Suhonen, projektipäällikkö Jari Kourunen ja konseptikehityksen päällikkö Jani Kaartinen. Lähtökohtana oli etsiä aihe, joka on yritykselle tarpeellinen ja soveltuu opinnäytetyöksi kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmaani.

Puhdistusmekanismista täytyy suunnitella toimiva ja mahdollisimman yksinkertainen järjestelmä mittalaitteen yläosan puhdistukseen. Suunnittelussa on myös tärkeä ottaa huomioon puhdistusjärjestelmän valmistus- ja käyttökustannukset sekä suunnitella siitä helposti asennettava.

Aluksi perehdytään Outotec Oyj:hin yrityksenä, malmin rikastusmenetelmiin, EIT-tekologiaan ja Outotecin valmistamaan LevelSenseen. Suunnitteluosuudessa esitellään pesusuuttimen suunnittelu ja toteutus. Suunnitteluosuuden jälkeen perehdytään pesujärjestelmään valittuihin komponentteihin ja puhdistuksen vaikutukseen pinnanmittauksessa.

2 OUTOTEC OYJ

Outotec Oyj on suomalainen osakeyhtiö, jonka pääpaikka sijaitsee Espoossa. Outotec tunnettiin aiemmin Outotec Technology Oy:nä, joka listattiin Helsingin pörssiin vuonna 2006. Ennen listautumista se oli osa julkista osakeyhtiötä Outokumpu Oy:tä, joka vuonna 2007 vaihdettiin Outotec Oyj:ksi. (Outotec (Finland) Oy a.)



KUVA 1. Yrityksen kehitys (Outotec (Finland) Oy a.)

Maailmanlaajuisen organisaation tavoitteena on tarjota teknologiaratkaisuja ja palveluja luonnon varojen kestävään hyödyntämiseen. Outotec Oyj tarjoaa edistyksellistä teknologiaa mineraali- ja metalliteollisuuteen. Yrityksen liiketoiminta jakautuu kahteen osa-alueeseen, Minerals Processing ja Metals, Energy & Water. (Outotec (Finland) Oy a.)

MINERALS PROCESSING	METALS, ENERGY & WATER
Rikastamot	Värimetallien tuotantoteknologiat
Hienonnusteknologiat	Rautametallien ja -ferroseosten tuotantoteknologiat
Vaahdotusteknologiat	Kevytmetallien tuotantoteknologiat
Vedenpoistoteknologiat	Uusiutuvan ja vaihtoehtoisen energian tuotantoteknologiat
Palvelut	Teollisuusvesien käsittelyn ratkaisut
Käyttö ja kunnossapito	Palvelut
	Käyttö ja kunnossapito

KUVA 2. Outotecin osastot (Outotec (Finland) Oy a.)

2.1 Minerals processing

Outotecilla on yli sadan vuoden kokemus kaivosteollisuudesta ja omat T&K - resurssit, jotka mahdollistavat teknologian jatkuvan parantamisen ja eri tilanteisiin soveltuvan kokonaisuuden löytämiseen. Yritykseltä löytyy kattava tuote- ja palvelutarjonta, jotka ovat edellytyksenä kaiken tyyppisten malmien tehokkaaseen ja tulokselliseen rikastamiseen. Outotecin suunnittelemat ja toimittamat rikastamot ja niihin kuuluvat laitteet ovat alansa huippuja ja mahdollistavat laitteiston nopean ylösajon. Toimitetuissa laitteistoissa on pitkäaikaiset käyttö- ja kunnossapitopalvelut, jotka mahdollistavat asiakkaalle parhaan mahdollisen tuoton. Outotecin tarjoamia vaihtoehtoja rikastukseen ovat hienonnuks, vaahdotus ja veden poisto. (Outotec Oyj b.)

Ratkaisut
Rikastamot
Hienonnuks
Vaahdotus
Vedenpoisto
Palvelut
Käyttö- ja kunnossapito

KUVA 3. Rikastamisen ratkaisut (Outotec (Finland) Oy a.)

2.2 Metals, Energy & Water

Outotecin Metals, Energy & Water osa-alue pitää sisällään malmien ja rikasteiden jalostamisen puhtaiksi metalleiksi sekä tarjoaa teknologioita ja palveluita uusiutumattoman energian tuotantoon. Se pystyy myös tarjoamaan laitoksille ympäristösäädösten mukaiset ratkaisut vesien käsittelyyn, jolloin veden- ja energiankulutus pienenee. Yrityksellä on lisäksi ratkaisuja öljyn erottamiseksi öljyliuskeesta ja fosforin kierrätykseen puhdistamolietteen tuhkaasta. Palvelut ja ratkaisut ulottuvat aina elinkaari palveluihin asti. (Outotec Oyj b.)

Ratkaisut
Värimetallien tuotanto
Rautametallien ja -ferroseosten tuotanto
Kevytmetallien tuotanto
Uusiutuvan ja vaihtoehtoisen energian tuotanto
Vesien käsittely
Palvelut
Käyttö ja kunnossapito

KUVA 4. Ratkaisut (Outotec (Finland) Oy a.)

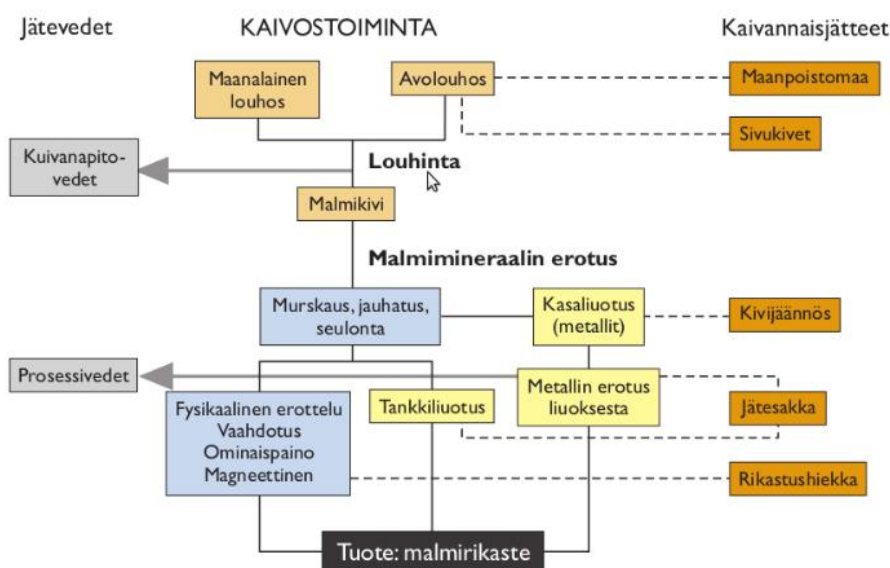
3 MALMIN TUOTANTOVAIHEET

Malmi louhitaan kallioperästä siten, että arvoaineiden pitoisuus malmissa on riittävä. Louhityksessa malmissa on seassa arvotonta sivukiveä, jonka määrää rajoitetaan mahdollisimman vähäiseksi jatkokprosessia varten.

Louhinnan jälkeen malmi esimurskataan nostolaitteilla ja kuorma-autoille sopivaksi. Esimurskauksen jälkeen malmi kuljetetaan kuorma-autoilla, dumppereilla ja joskus myös hihnakuuljettimilla murskauspaikalle. Malmin kappalekoko pienennetään murskauksella sopivaksi, jonka jälkeen se siirretään seulontaan tai muuhun käsittelyprosessiin. Seulonnalla jaetaan murske haluttuihin luokkiin raekoon mukaan ja se siirretään jauhatukseen.

Jauhatuksessa malmi hienonnetaan sellaiseen raekokoon jotta arvomineraalit esiintyvät riittävän puhtaina rakeina ja ne saadaan erotettua sivukivirakeista ennen rikastusprosessia. Jauhatuspiiriin saattaa olla lisäksi kytkettynä karkeavaahdotuskoneita, ominaispainoerottimia tai magneettierottimia, joilla erotetaan arvomineraalien karkeimmat fraktiot. Jauhatus- ja seulonnan jälkeen hienonnettu malmi rikastetaan.

Rikastuksessa malmin ja muiden mineraalisten raaka-aineiden arvomineraalit erotetaan arvottomista tai toisistaan muuttamatta sen rakennetta. Malmista saatu arvomineraalituote on ns. rikastetta ja muu jäljelle jäävä kivijae jätettä. Ennen varastointia rikasteet yleensä kuivataan rumpu-, kiekko- tai paineilmasuotimissa, jonka jälkeen ne varastoidaan tai valmistellaan odottamaan kuljetusta asiakkaalle. (Kauppila, Räisänen & Sari Myllyoja 2011, 18-26.)



KUVA 5. Tuotannon vaiheet (Opasnet)

4 VAAHDOTUSMENETELMÄ

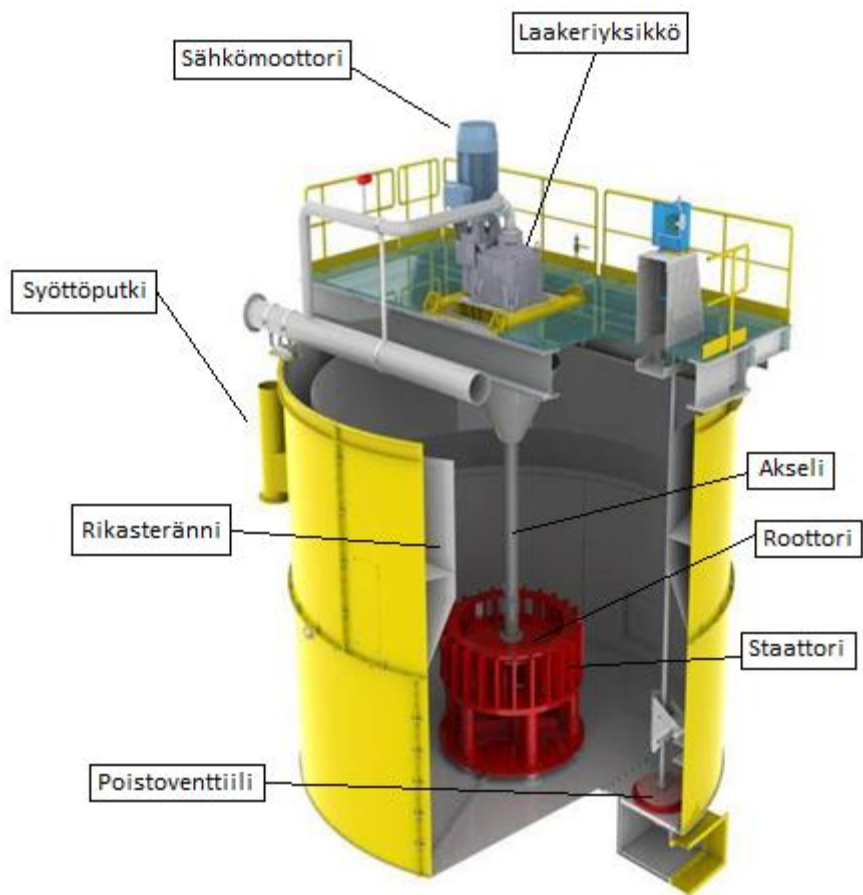
Vaahdotusmenetelmä on ylivoimaisesti eniten käytetty rikastusmenetelmä malmien rikastuksessa ja sillä voidaan erotella periaatteessa mikä tahansa arvomineraali malmilietteestä. Menetelmässä malmilietteeseen lisätään kemikaaleja, joilla muutetaan malmilietteen sähkökemiallisia ominaisuuksia ja mineraalirajapintoja, jolloin mineraalipartikkelit saadaan tarttumaan ilmakupliin, joiden avulla ne nousevat lietteen pintaan. Tämä tehdään vaahdotuskoneissa, joissa lietettä sekoitetaan ja siihen syötetään alhaalta päin ilmaa pieninä kuplina. (Kauppila, Räisänen & Sari Myllyoja 2011, 26.) Vaahdotus tehdään useasti lopullisen rikasteen varmistamiseksi, minkä vuoksi rikastusprosessissa on monia vaahdotuskennoja peräkkäin. Outotecin toimittamat TankCell-kennot ovat toiminnaltaan mekaanisia vaahdotuskennoja ja ne ovat kooltaan $5 \text{ m}^3 - 300 \text{ m}^3$.



KUVA 6. Vaahdotuskennot (Outotec Oy j c.)

Vaahdotuskennot ovat pääpiirteiltään kaikki samanlaisia ja niiden periaate on sama. Liete tuodaan vaahdotuskennoon syöttöputkesta tai syöttölaatikosta. Vaahdotuskennoihin tuotu liete saadaan pyörivään liikkeeseen sähkömoottorilla pyöritettävän akselin vaikutuksesta. Akselin päässä on roottori, joka saa aikaan lietevirtauksen ja samanaikaisesti lietteeseen puhalletaan kaasua onton akselin lävitse. Roottorin ympärillä tai sen yläpuolella sijaitseva staattori eli virtauksenohjain ohjaa kaasukuplat tasaisesti kennon sisälle. Lietteeseen lisättyjen kemikaalien ja kaasun syötön vaikutuksesta kennossa olevan lietteen pinnalle alkaa syntyä vaahtoa. Vaahdotus kulkeutuu rikasteränniin ylittäessään seinämän rajapinnan. (Outotec (Finland) Oy a.)

Vaahdotus eli rikaste kerätään rikasterännistä pois ja jäteliete poistetaan kennon alaosan poistoventtiilistä. Jos vaahdotuskennoja on useita peräkkäin, kennon alaosa poistettava liete kuljetetaan putkistoa pitkin seuraavalle kennolle jossa se rikastetaan uudelleen. Jäljelle jäävä jäteliete kuljetetaan jättesäiliöön, josta se tarvittaessa otetaan jatkokäsittelyyn, jos lietteessä on muita rikastettavia mineraaleja. (Outotec (Finland) Oy a.)



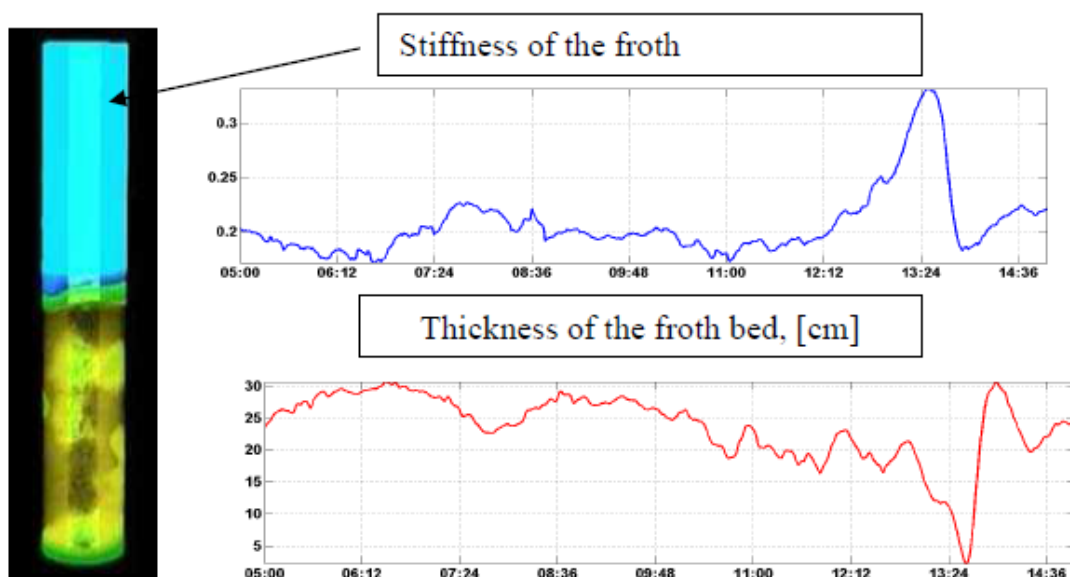
KUVA 7. Halkaisukuva vaahdotuskenno. (Outotec (Finland) Oy a.)

5 IMPEDANSSITOMOGRAFIA

Impedanssitomografia (EIT) on kuvantamismenetelmä, jossa tutkitaan vaihtovirran avulla kohteen erilaisia sähköisiä ominaisuuksia. Impedanssitomografiassa kohteeseen syötetään heikkoa vaihtovirtaa elektrodien kautta ja siitä syntyvät jännite-erot mitataan kyseessä olevilta elektrodeilta. Elektrodeille syötettävä vaihtovirta on yleensä taajuudeltaan 10 kHz - 100 kHz. Elektrodien välisiin jänniteeroihin vaikuttaa väliaineen rakenne eli kuinka paljon väliaine vastustaa virran kulkua.

Mittaus tapahtuu yksinkertaisimmillaan syöttämällä virta kahden elektrodin väliltä kohteeseen. Samanaikaisesti kyseisiltä elektrodeilta mitataan muodostuneet jännitteet kohteessa. EIT-laitteistoon kuuluu yleensä virransyöttöyksikkö, jännitteen mittaussyksikkö, elektrodit ja laitteistoa ohjaava kontrollointiyksikkö. Tietokoneen tehtävänä on ohjata korttia ja ottaa vastaan mittaustieto. Laitteiston ohjausta varten on tehty graafinen käyttöliittymä, jonka kautta mittaus on helppo suorittaa. EIT-menetelmässä on paljon virhelähteitä, jotka pyritään minimoimaan erilaisilla kalibrointi- ja viritysmenetelmillä. (Kourunen 2004, 5-25.)

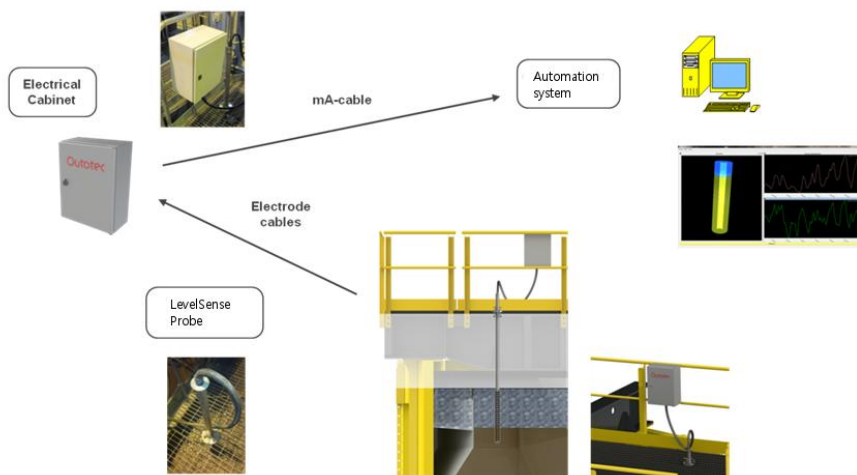
Kuvassa 8 on graafinen kuva mittauksista ja vieressä on vaahdotuskennoon syntyvän vaahdon paksuuden ja jäykkyyden diagrammit.



KUVA 8. Näkymä käyttöliittymästä (Lehikoinen, Laakkonen, Vauhkonen, Rinne, Saloheimo & Lähteenmäki, 3)

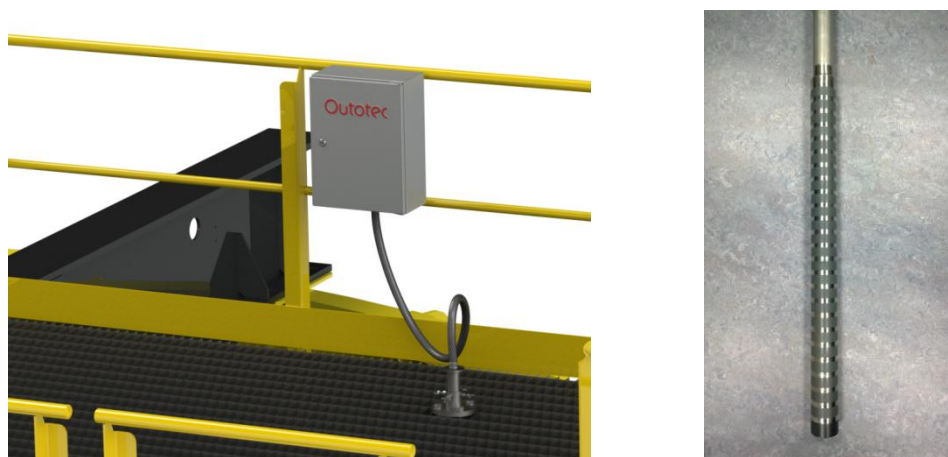
6 LEVELSENSE™

LevelSense on Outotecin valmistama impedanssitomografiaan perustuva vaahdon rajapintojen mittaamiseen tarkoitettu instrumentti. LevelSensen antamaa informaatiota käytetään prosessin säätämiseen. Mittauslaitteisto koostuu mittaussauvasta, ohjausyksiköstä, elektrodikaapeleista ja ohjelmistosta.



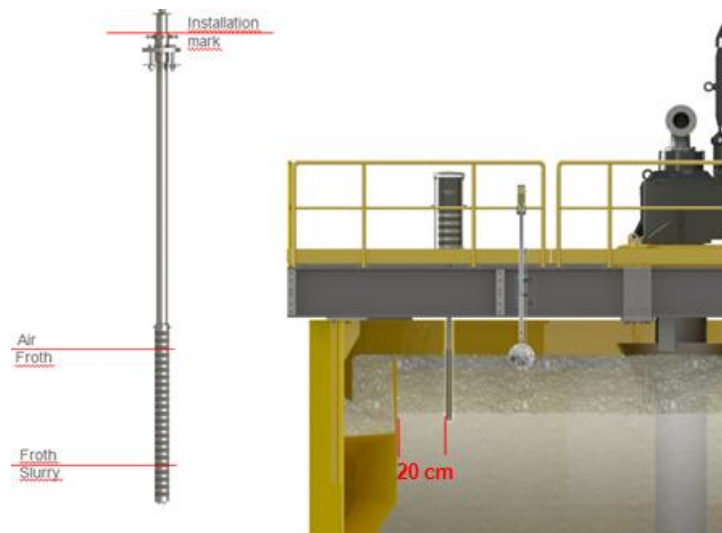
KUVA 9. Mittauslaitteisto. (Outotec (Finland) Oy a.)

Mittaus-sauvassa on tasavälein 24 elektrodia ja mittaussauvaa on saatavilla eri kokoja lähtien 2165-7500 mm saakka. Mittaus-sauva asennetaan kohteessa olevaan vaahdotusyksikköön yleensä asennuslaipalla. Asennuslaippa kiinnitetään vaahdotuskennon ritilään, johon on leikattu reikä. Laippa asennetaan ritilään pulteilla, jonka jälkeen mittaussauva työnnetään laipan läpi ja säädetään halutulle korkeudelle. Korkeuden säätö tehdään laipassa olevilla siipimuttereilla. Tämän jälkeen sauvan johdot kytketään ohjausyksikköön, josta mittaustieto kulkeutuu laitetta ohjaavalle tietokoneelle jatkokäsittely varten. (Outotec (Finland) Oy a.)



KUVA 10. Ohjausyksikkö ja mittaus-sauva (Outotec (Finland) Oy a.)

Asennuksessa täytyy huomioida mittaussauvan etäisyys kennon seinämästä ja 2 ylintä elektrodia on jätettävä vaahdon yläpuolelle. (Outotec (Finland) Oy a.)



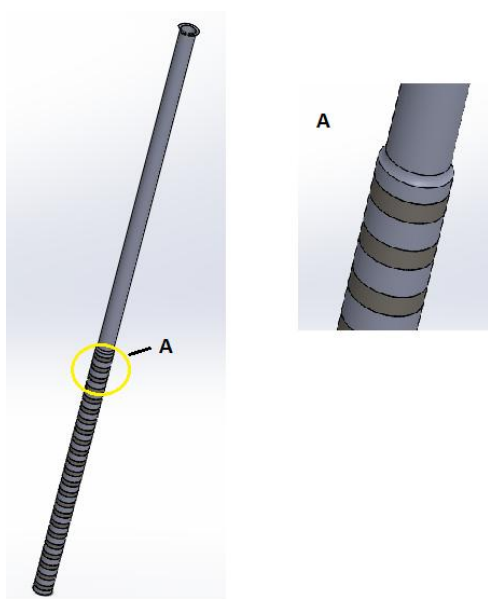
KUVA 11. Asennuskuva (Outotec (Finland) Oy a.)

Mittauslaite lähettää dataa tietokoneelle, jonka käyttöliittymästä nähdään vaahdon ja ilmarajapinnan muutokset.

7 ESISUUNNITTELU

Projektin ensimmäinen työvaihe on esisuunnittelu, joka määrittää projektin sisällön, aikataulun ja kustannusarvion. Projektin sisältö saatetaan määrittää hyvinkin tarkasti jo esisuunnitteluvaiheessa tai sitä voidaan muuttaa projektin mukaan. Tarkka sisällön määrittäminen on edellytyksenä päästöksiä tehtäessä.

Opinnäytetyön aiheen sisältö rajattiin Outotec Oyj:n toimihenkilöiden kanssa pidetyssä palaverissa. Palaverissa perehdyttiin kohteessa oleviin kenttälaitteisiin sekä päätettiin suunniteltavan pesujärjestelmän vaatimukset. Vaatimuksena oli suunnitella pesujärjestelmästä helposti valmistettava, asennettava ja huollettava. Lisäksi sen täytyy olla automaattinen. Suunnittelun lähtökohtana oli kuvan 12 mittausauva, joka mittaa vaahdotusprosessia ja antaa siitä informaatiota. Pesujärjestelmällä on tarkoitus pitää puhtaana ylimpiä elektrodirenkaita, jotka jäävät vaahdon yläpuolelle. Puhtaana pidettävä alue (A) on 20 - 30 cm suuruinen ja siihen tarttuvan vaahdon kertyminen pyritään estämään.



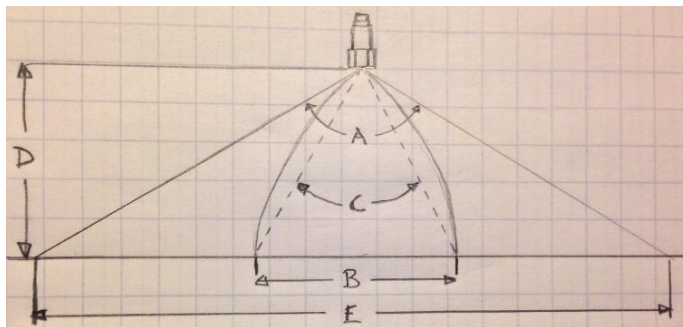
KUVA 12. Mittaus - sauva

Tuotteen suunnittelun lähtökohtana oli vertailla markkinoilla olevia pesusuuttimia ja niiden ominaisuuksia, jotka olivat: vedenpaine, tilavuusvirta, nopeus, suihkutuskuvio ja suihkutuskulma. Suuttimia tutkiessa ongelmaksi osoittautui vertailukohtan puute. Vertailukohteeksi otettiin huoneiston bideesuihku. Bideesuihkusta tulevan vedennopeus ja sen iskuvoima oli riittävä mittausauvan puhdistukseen etsityn suuttimen vertailuarvoksi, joten kaavan 1 tulos otettiin lähtöarvoksi. Kaavassa 1 on laskettu vedennopeus ottaen huomioon kaikki bideesuihkun suuttimen reiät.

$$v = \frac{q_m}{\rho \cdot A} = \frac{\frac{0,171 \text{ kg}}{\text{s}}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \pi \cdot 0,004^2 \text{ m}} = 3,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (1)$$

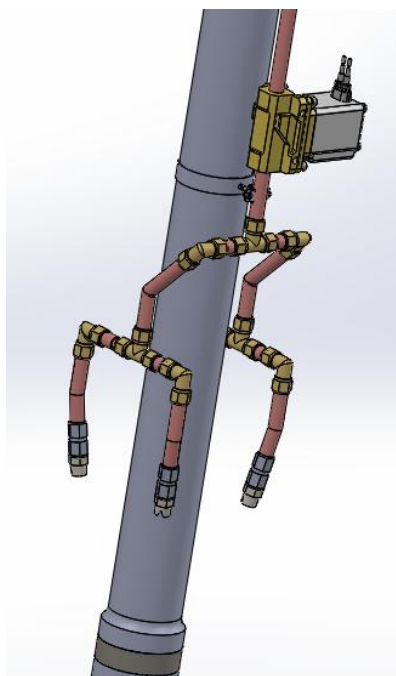
Kaavassa käytetty massavirta q_m on laskettu arvo, joka saadaan lasketusta vedenmäärästä ajan suhteen. Vedentiheys ρ on vakio ja bideesuihkun putken poikkipinta-ala on A.

Tutkimuskohteeksi valittiin Beten WL- täyskartiosuutin, jonka nimi tulee sen muodostamasta pesukuvioista. Suuttimia on saatavilla eri liitännöillä, suihkutuskulmilla ja tilavuusvirroilla. Valmistajan sivuilta löytyi suuttimen tekniset tiedot sekä teoreettiset suihkutusalueet eri etäisyyksiltä.



KUVA 13. Teoreettiset suihkutusalueet.

3D-kuvat mallinnettiin Solidworksillä. Pesujärjestelmän ensimmäinen suunnitelma koostui neljästä pesusuuttimesta, putkiliittimistä ja kupariputkista. Vedenohjaukseen oli tarkoitus käyttää magneettiventtiiliä. Suuttimista tulevan vesisuihkun nopeuden määrittämiseen käytettiin Solidworksin flowsimulatioita. Testien jälkeen idea esitettiin yritykselle.

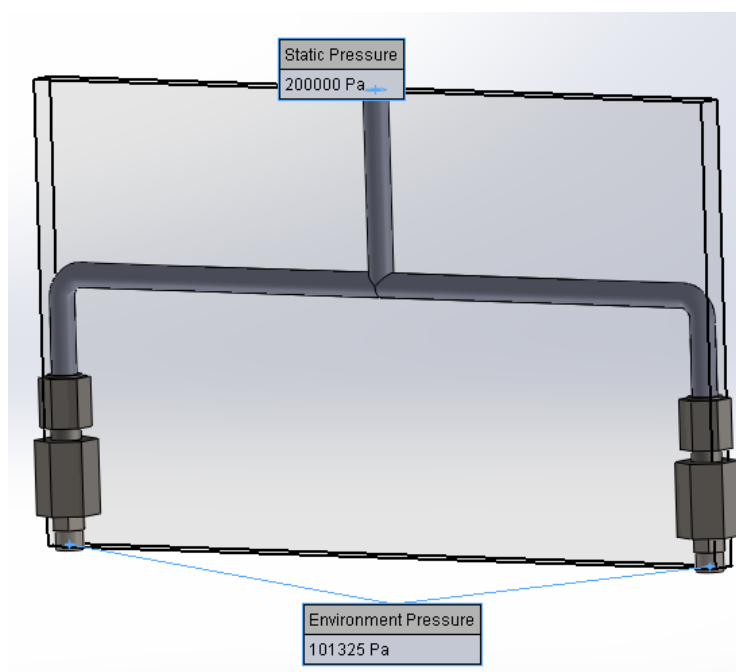


KUVA 14. Kokoonpano 1

Palaverin tuloksena valmiit suuttimet jätettiin pois suunnitelmasta ja sille täytyi kehittää oma komponenttinsa. Komponentille määritettiin reunaehdot, joista tärkein oli sen rengasmainen muoto. Rengasmainen muoto on teknisesti ottaen paras vaihtoehto. Ohjaukseen käytetään magneettiventtiiliä ja sen täytyy olla automaattisesti ohjattu. Automaattiohjauksen lisäksi magneettiventtiilille tuleva vedenpaine täytyy olla säädettävissä paineensäätöventtiilillä.

8 SUUNNITTELU

Suunnittelu aloitettiin aiemmin tehdyn esiselvitystyön perusteella. Suunniteltavalle komponentille pystyi määrittelemään mitat aiemmin selvitettyillä reunaehdoilla. Komponentin kokoon vaikuttivat muodon lisäksi esisuunnittelussa käytetyn kupariputken sisähalkaisija ja suuttimien reikien koko. Kyseisillä reunaehdoilla varmistetaan tuotteen toimivuudesta veden virtauksen ja vesisuihkun nopeuteen nähden. Solidworksin flowsimulationilla suoritetun testin testauspaineet näkyy kuvassa 15 ja tulokset kuvassa 16. Kuva on mallinnettu esisuunnitteluvaiheen kupariputken sisähalkaisijan (8 mm) ja suuttimien reikien halkaisijan (3 mm) mitoilla. Tulopaine rajattiin 200 000 Pa eli 2 bar ja ympäristöpaine normaaliin ilmanpaineeseen eli 101325 Pa eli n. 1 bar.



KUVA 15. Suuttimen Solidworks malli.

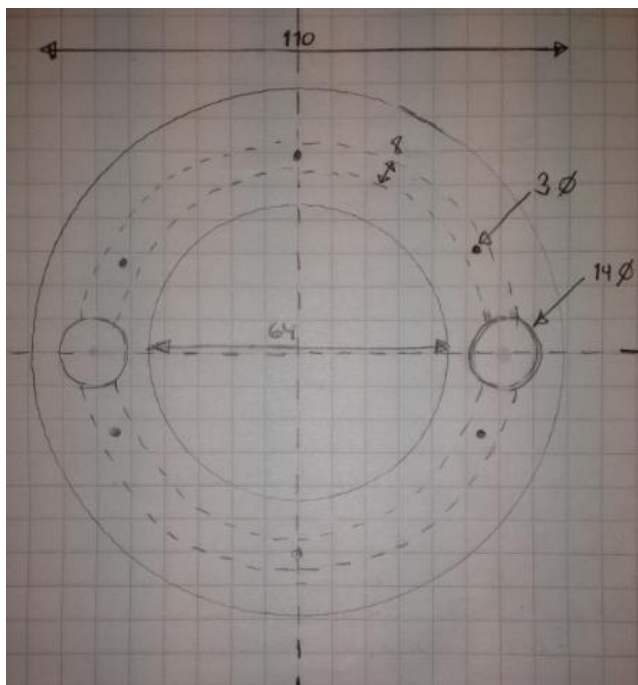
List of Goals				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Comment
SG Av Static Pressure 1	199999 Pa	Achieved (IT = 94)	39.1725 Pa	Checking criteria
SG Av Static Pressure 2	101325 Pa	Achieved (IT = 114)	0.0172196 Pa	Checking criteria
SG Av Velocity 1	3.49051 m/s	Achieved (IT = 74)	0.101415 m/s	Checking criteria
SG Av Velocity 2	12.9476 m/s	Achieved (IT = 74)	0.375761 m/s	Checking criteria
SG Av Velocity 3	12.9517 m/s	Achieved (IT = 74)	0.37565 m/s	Checking criteria

KUVA 16. Flowsimulation tulokset.

Tuloputken virtausnopeus oli 3,49 m/s ja molempien suuttimien ulostulon nopeudet 12,94 m/s. Esi-suunnitelman kokoonpanossa käytettiin neljää suutinta, joten jokaisen suuttimen ulostulon virtausnopeudeksi jää n. 6,47 m/s. Virtuaalisesti testatut virtausnopeudet olivat kaksinkertaiset verrattuna bideesuihkun virtauksen nopeuteen.

Komponenttiin päätettiin tehdä kuusi suutinreikää tasaisemman pesutuloksen saavuttamiseksi, koska virtausnopeudet tulevat olemaan riittävät suoritettulla testauspaineella. Komponentin suutinreikien virtausnopeudet tulevat olemaan n. 4,31 m/s.

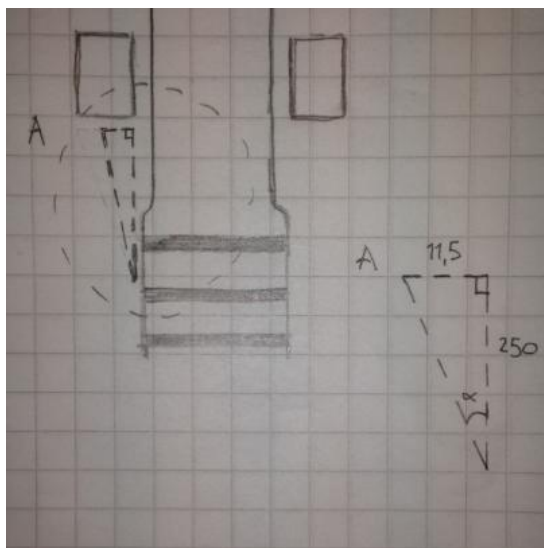
Seuraavaksi komponentille määriteltiin mitat. Mitat määräytyivät mittaussauvan putken ulkohalkaisijan, tuloputken sisähalkaisijan ja suutinreikien perusteella. Komponentin sisähalkaisijan täytyi olla suurempi kuin mittaussauvan ulkohalkaisijan, jotta se pystytään asentamaan putkeen alhaalta päin. Tuloputkien halkaisijoiden ollessa 8 mm, mitoitettiin niiden kiinnityspisteiden kierteet putkiliittimille sopiviksi. Putkiliittimillä liitetään tuloputket suunniteltavaan komponenttiin. Virtauskanavat ovat halkaisijaltaan samat kuin tuloputken halkaisija ja suutinreikien kanavien samat kuin pesusuuttimissa (3 mm).



KUVA 17. Komponentti 2D

Suutinreikien suihkutuskulma mitoitettiin trigonometrian avulla. Suihkutuskulma määräytyy virtauskanavan etäisyydestä mittaussauvaan ja etäisyydestä pestävään pintaan kohtisuoraan katsottaessa. Kaavassa 2 on laskettu alfa (α) kulma eli suihkutuskulma etäisyyden a ja b suhteen.

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} = \tan^{-1} \frac{11,5mm}{250mm} = 2,63^\circ \quad (2)$$



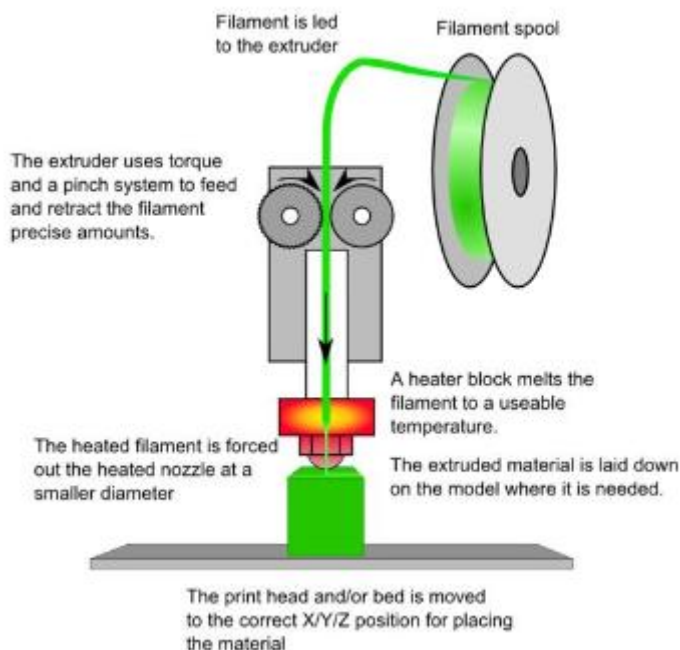
KUVA 18. Suihkutuskulma

Komponentin ensimmäinen versio suunniteltiin tulostettavaksi 3D-tulostimella, joka mahdollistaa kappaleen testaamisen.

8.1 Mallinnus ja 3D-tulostus

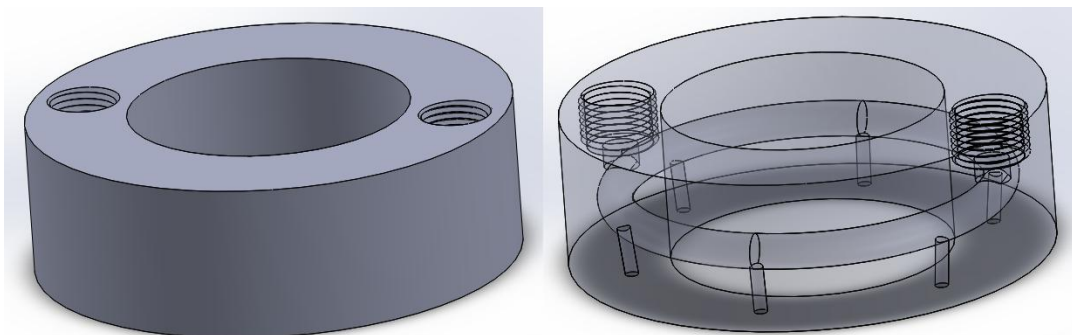
Mallinnukseen käytettiin 3D suunnitteluohjelmisto Solidworksia. Ohjelmalla pystyy mallintamaan kappaleita 3-ulotteisesti ja niitä pystytään käyttämään tulostettaessa kappaleita 3D-tulostimella.

3D-tulostuksesta voidaan käyttää termiä ainettalisäävä valmistusteknologia. 3D-tulostettavat kappaleet mallinnetaan tietokoneella ja ohjelma muodostaa niistä STL tiedoston. STL tiedosto on ns. viipalemalli jonka mukaan tietokone lähettää käskyt tulostimelle tulostuksen aikana. Kappaleen tulostus tapahtuu joko nestettä kovettamalla, pulveria sulattamalla tai tulostuslankaa pursottamalla. Prototyyppi tulostettiin sulatusmenetelmällä, jossa kuumennusyksikkö sulattaa siihen pursotettavaa lankaa tietokoneohjelman muodostamaa reittiä pitkin. Kyseistä menetelmää kutsutaan FDM (Fused Deposition Modeling) ja FFF (Fused Filament Fabrication) menetelmäksi. (Nagy 2014, 9-13.)



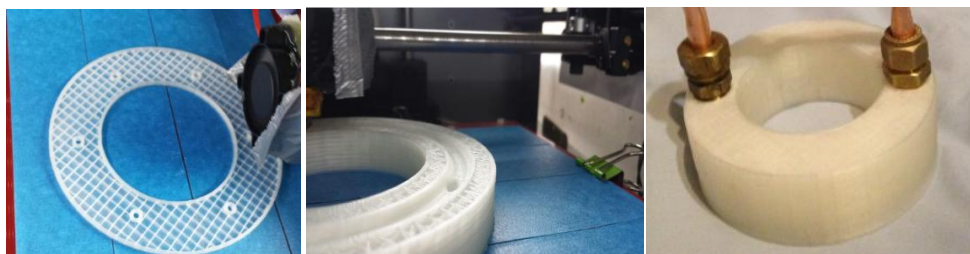
KUVA 19. FDM (Nagy 2014, 13.)

Solidworksillä mallinnetusta kappaleesta muodostettiin STL tiedosto, joka tulostettiin 3D-tulostimella. Kuvassa 20 on kappale normaalinäkymässä sekä läpivalaisukuvana.



KUVA 20. Mallinnettu kappale

Kappaleen tulostus onnistui hyvin ja siihen tulostetut kierteet sopivat putkiliittimille. Testattaessa kappale osoittautui rakeenteeltaan heikoksi, koska siinä oli vuotokohtia. Vuotokohtat peitettyä vesisuihkut tulivat oikein suutinreikistä, mutta olivat suunniteltua pienemmät. Vesisuihkujen vajavaisuus johtui luultavasti 3D-tulostuksen epätarkkuudesta. Todennäköisesti lämmitinyksikkö on sulattanut lankaa liian voimakkaasti ja suutinreikien kanavat ovat jääneet liian pieniksi.



KUVA 21. Tulostettu kappale.

Testauksen jälkeen komponentti valmistettiin metallista. Koneistettaessa vältetään vuotojen aiheuttamilta painehäviöiltä ja saadaan vesisuihkut tulemaan oikeassa kulmassa. Tulostettu komponentti osoitti tulevat parannukset, jonka edellytyksenä valmistuskustannuksissa säästettiin.

8.2 Koneistettu kappale

Komponentin suutinkanavien kulmat muutettiin 3 asteesta 6 asteeseen, joka mahdollistaa asentamisen lähemmäksi pestävää kohdetta. Virtauskanavien koneistuksen takia kappale valmistettiin kahdesta osasta. Kappaleisiin suunniteltiin ruuvikiinnitys, jolla kappaleet liitettiin tiiviisti toisiinsa. Kappaleen yläpintaan koneistettuista laipoista se kiinnitetään mittaussauvaan puristamalla. Kappaleen protomalli koneistettiin Savonian ammattikorkeakoulun koneistamossa.



KUVA 22. Koneistettu komponentti

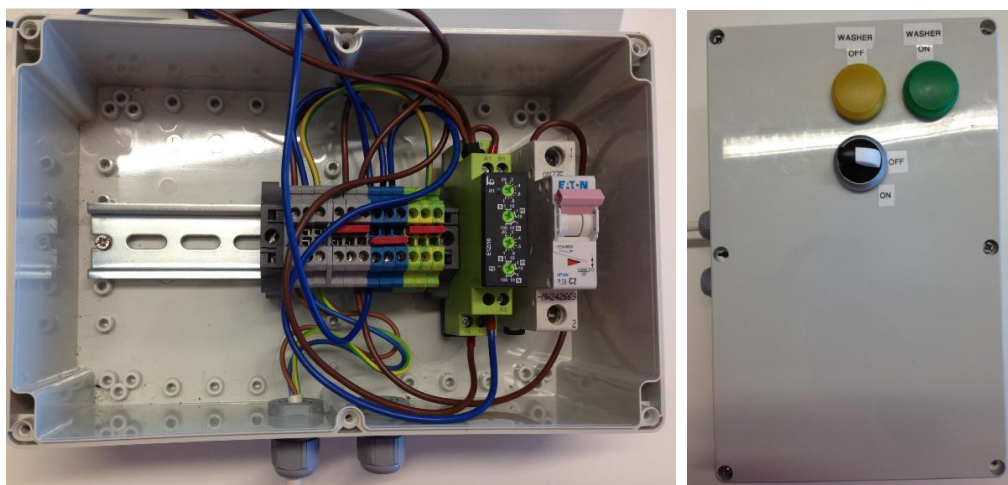
9 OHJAUSJÄRJESTELMÄ

Komponentille suunniteltiin pieni ohjausjärjestelmä, jolla ohjataan komponentin läpi virtaavaa vettä. Ohjausjärjestelmään kuuluu ohjauskeskus, magneettiventtiili ja paineensäätöventtiili. Ohjausjärjestelmän avulla pystytään muuttamaan järjestelmän asetuksia haittaamatta rikastamon muuta toimintaa ja laite toimii myös mahdollisten sähkökatkojen jälkeenkin.

9.1 Ohjauskeskus

Ohjauskeskus on pieni sähkökeskus, joka pitää sisällään järjestelmän komponentit ja niiden väliset kytkennät. Ohjauskeskuksella ohjataan olemassa olevaa järjestelmää ja tehdään siihen tarvittavia muutoksia. Tässä työssä ohjauskeskusta käytetään magneettiventtiin ohjaukseen.

Aikareleen valintaan päädyttiin sen monipuolisuuden vuoksi, koska sillä pystytään määrittämään erikseen työ- ja taukoajan pituus. Releessä aikojen pituus voidaan säätää 0,05 sekunnista aina 100 tuntiin asti. Lisäksi ohjauskeskuksen kanteen asennettiin kytkin, jolla ohjataan aikarelettä ja merkkivalot asennettiin ilmoittamaan releen tila.



KUVA 23. Ohjauskeskus (PURSIAINEN 2014.)

9.2 Magneettiventtiili

Magneettiventtiin tehtävä on ohjata nesteiden ja kaasujen virtaus. Magneettiventtiin valintaan vaikutti järjestelmän paine ja putkikoon nimellishalkaisija, joka oli tässä tapauksessa tuloputken nimellishalkaisija. Tuloputken nimellishalkaisija on sama kuin komponentin virtauskanavan suuruus (8 mm). Tämä vastaa magneettiventtiileissä ilmoitettujen tuumakokojen 3/8" -liitäntää. Lisäksi venttiin valintaan vaikutti vesiverkon paine ja venttiin ns. normaaliasento. Normaaliasennolla tarkoitetaan venttiin tilaa sen ollessa lepoasennossa eli jännitteettömänä.

Sopivaksi magneettiventtiiliksi kyseisten ominaisuuksien perusteella osoittautui SIRAI:n 182 kaksitieventtiili. Kaksitieventtiilillä tarkoitetaan venttiiliä jossa on yksi tulo ja lähtö.

9.3 Paineensäätöventtiili

Paineensäätöventtiilin tehtävä on näyttää siitä virtaavan nesteen tai kaasun paine ja lisäksi sillä voidaan säätää myös läpivirtausta. Läpivirtaus säädetään pyöritettävällä säätönupilla, jolla on tarkoitus säätää veden virtaus sopivaksi ennen magneettiventtiiliä ja suunniteltua komponenttia. Venttiili valittiin samojen tietojen perusteella kuin magneettiventtiili.



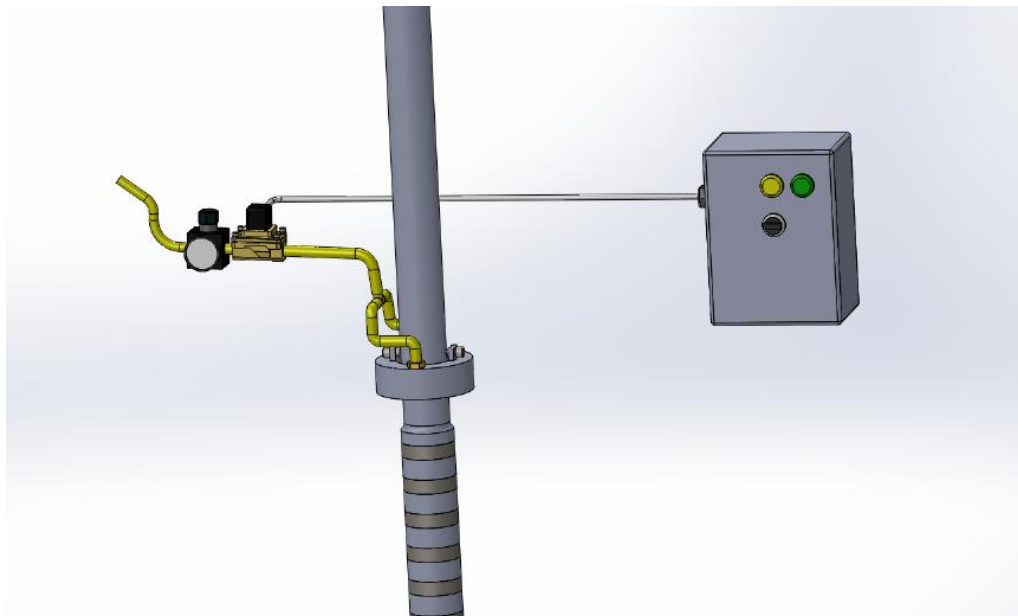
KUVA 24. Paineensäätöventtiili ja magneettiventtiili (PURSIAINEN 2014.)

9.4 Järjestelmän komponentit

Järjestelmän komponentit ja tarvikkeet tilattiin lukuunottamatta komponenttia, joka koneistettiin Savonian ammattikorkeakoulun koneistamossa. Kuvassa 25 on listattu järjestelmän tarvikkeet. Taulukon alapuolella on kuva järjestelmän kokoonpanosta.

Järjestelmän tarvikkeet		
Tuote	Selitys	Määrä
Pesukomponentti	Koneistus	1
Johdonsuojakatkaisija Eaton 6A 230/400V	Johdonsuojakatkaisija	1
Tele E1Z110 250V	Työ/Tauko -rele	1
Sirain L182B01-3/8" 24VDC	Magneettiventtiili	1
Paineensäädin Numatics G1/2 16 bar	Paineensäädin	1
Merkkivalo vihreä 230V	Merkkivalo	1
Merkkivalo keltainen 230V	Merkkivalo	1
Kytkin 230V	Kytkin	1
Riviliitin harmaa	Riviliitin	6
Riviliitin sininen	Riviliitin	3
Riviliitin kevi	Riviliitin	3
Päättypuristin	Päättypuristin	4
Letkuliitin 3/8"	Letkuliitin	4
Sovitin 3/8" to 1/4"	Sovitin	1
T-liitin 3/8"	T-liitin	1
Puutarhaletkua 20m	Puutarhaletku	1

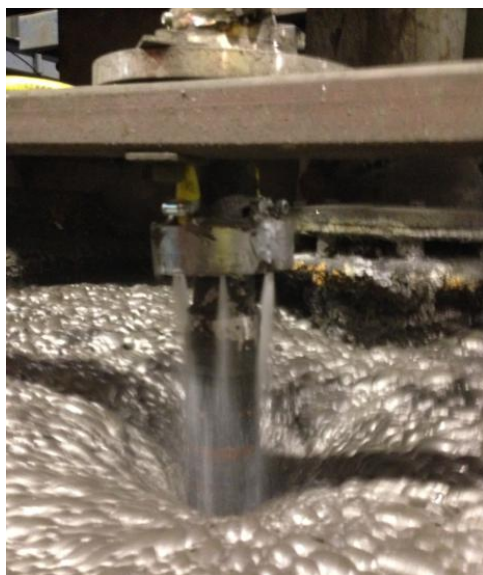
KUVA 25. Lista tarvikkeista.



KUVA 26. Järjestelmän kokoonpano

10 TESTAUS JA TULOKSET

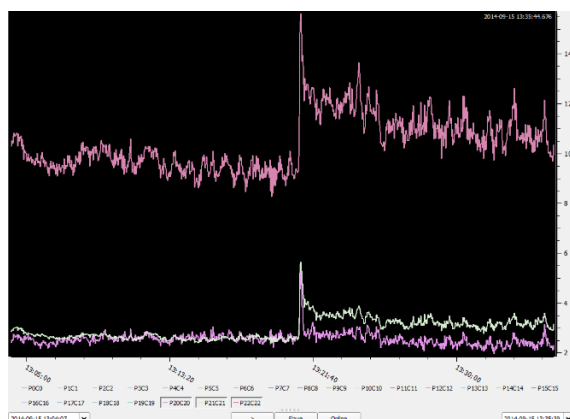
Ohjausjärjestelmän ja suunnitellun komponentin testaaminen tehtiin Kaavilla Luikonlahden rikastamolla. Komponentti asennettiin mittaussauvaan ja ohjauskeskus lähelle kohdetta. Releelle säädettiin ensimmäisen testauksen työajaksi 3 s ja tauon ajaksi 10 s. Tämän jälkeen järjestelmän toimintaa seurattiin ja komponentin korkeus säädettiin sopivaksi. Vesisuihkut osuivat pestävään alueeseen oikealla tavalla ja puhdistivat sen. Uusina asetuksina työajaksi säädettiin 5 s ja tauon ajaksi 1 h.



KUVA 27. Testaus (PURSIAINEN 2014.)

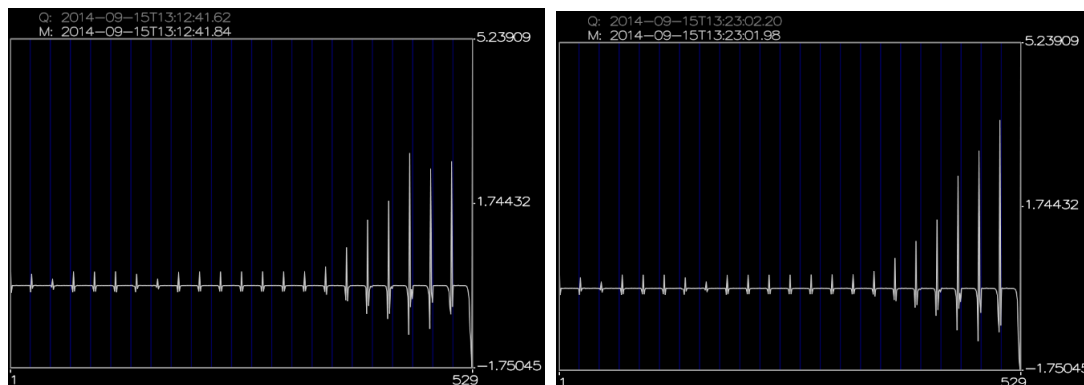
Testauksen ja oikeiden asetusten löytämisen jälkeen järjestelmä jätettiin rikastamolle. Sauvan puhdistamisen vaikutusta mittauksiin seurattiin pidemmällä aikavälillä tallentaen mittausdata erilliselle tietokoneelle.

Tietokoneelle tallennetusta mittausdatasta nähdään pesun vaikutus ylimpiin elektrodeihin. Myöhemmin esitetyissä kuvissa on mittaussauvan antama jänniteprofiili ja ilmarajapinta. Mittaussauvan jännitteen mittauskuvassa on esitetty kolme ylintä jännitettä, joista nähdään jännitteiden nousevan merkittävästi pesun jälkeen. Jännitteiden nouseminen kertoo sauvan pinnan puhdistuneen vaahdotta.



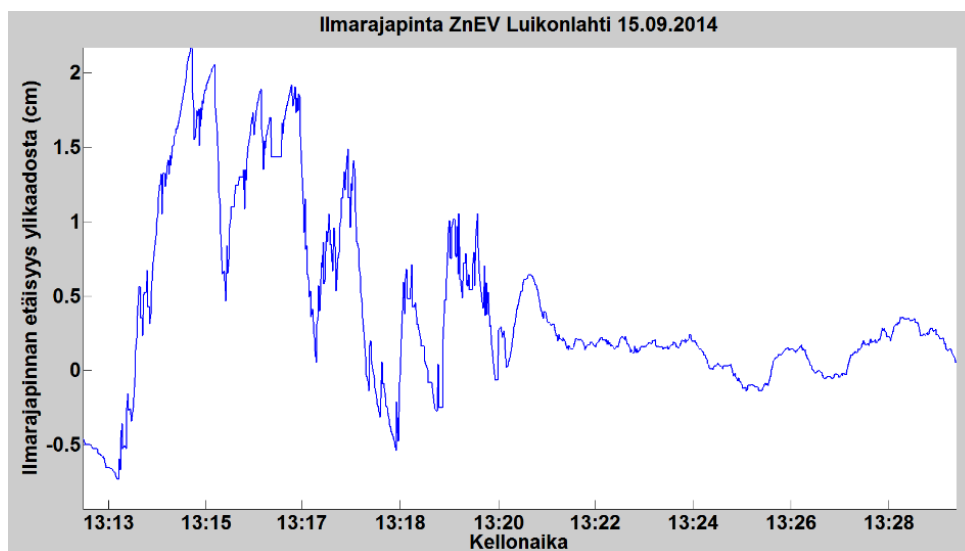
KUVA 28. Jännitemittaukset.(Outotec Oyj a.)

Pesun vaikutus ilmenee lisäksi jänniterakennekuvassa 29. Huomataan, että pesun jälkeen jänniteprofiili on selkeämpi ja mittaukset kasvavat lineaarisesti, jolloin ilmarajapinta pystytään määrittämään selkeämmin.



KUVA 29. Jänniterakenne ennen ja jälkeen. (Outotec Oyj a.)

Kuvassa 30 on sama tilanne kuvattuna ilmarajapintatrendinä, joka näyttää selkeämmin pesun vaikutuksen mittaukseen. Kuvassa nähdään pesun tapahtuneen noin klo:13.20. Pesun jälkeen ilmarajapinta ei enää heilu yhtä paljon kuin ennen, joten sen arvo on realistisempi pesun jälkeen.



KUVA 30. Ilmarajapintatrendi. (Outotec Oyj a.)

11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella vaahdotusteknologiassa käytettävään pinnanmittauslaitteeseen puhdistusmekanismi. Tarkoituksena oli valmistaa koko järjestelmä markkinoilta saatavilla olevista tarvikkeista, mutta täysin sopivaa ratkaisua olemassa olevaan pinnanmittauslaitteeseen ei ollut suoraan tarjolla. Uutena tavoitteena oli suunnitella järjestelmään oma komponentti ja sen testausta varten täytyi kehittää automaattinen ohjausjärjestelmä. Lisäksi asennuksen täytyi olla mahdollinen rikastusprosessin aikana. Projektin edetessä täytyi käyttää hyödyksi Solidworksin flowsimulationin virtaustestejä sekä hyödyntämään kyseistä ohjelmistoa ensimmäistä prototyyppiä suunniteltaessa. Mallinnettu prototyyppi tulostettiin 3D-tulostimella. 3D-tulostuksen ansiosta projektin kuluissa säästettiin ja korjausmuutokset pystyttiin tekemään ennen kuin komponentti valmistettiin alumiinista. Projektia voisi jatkaa mahdollisesti tutkimalla eri valmistusvaihtoehtoja kyseiseen kappaleeseen.

Komponentista tehtiin 3D-mallit ja piirustukset Solidworks- suunnitteluohjelmistolla, sekä kappale valmistettiin Savonian ammattikorkeakoulun koneistamossa. Pesukomponentille tehtiin pieni ohjauskeskus, jolla sen toiminta-aikoja pystytään säätämään. Lisäksi järjestelmään hankittiin magneettiventtiili ja paineensäädin. Kokonaisuudesta saatiin toimiva ja se asennettiin Luikonlahden rikastamolle.

Järjestelmän valmiiksi saattamisen lisäksi tutkittiin sen vaikutusta rikastusprosessista saataviin mitauksiin ja käyttöliittymästä saatu mittausdata osoitti pesun tarkentavan mitattuja jännitearvoja.

LÄHTEET

OUTOTEC (FINLAND) OY a. Sisäinen aineisto.

OUTOTEC OYJ b. Liiketoiminta-alueet. [Viitattu 30-8-2014]. Saatavissa:
<http://www.outotec.com/fi/Yhtio/Liiketoiminta-alueet/>

OUTOTEC OYJ c. [kuva]. Saatavissa: <http://www.outotec.com/en/Products--services/Process-equipment/Flotation-cells/Tank-cells/>

LUKKARINEN, Toimi. 1987. Mineraalitekniikka osa 2, mineraalien rikastus. Helsinki: Painomerkki Oy.

KAUPPILA Päivi, RÄISÄNEN Marja Liisa ja MYLLYOJA Sari 2011. Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt. Helsinki: Edita Prima Oy.

OPASNET 2014. [kuva]. Saatavissa:
<http://fi.opasnet.org/fi/Tiedosto:Kaivostoiminnanyleisprosessi.png>

KOURUNEN, Jari 2004. Impedanssitomografialaitteiston mittaustarkkuus ja sen parantaminen. Itä-Suomen Yliopisto. Pro gradu-tutkielma. [Viitattu 30-8-2014].

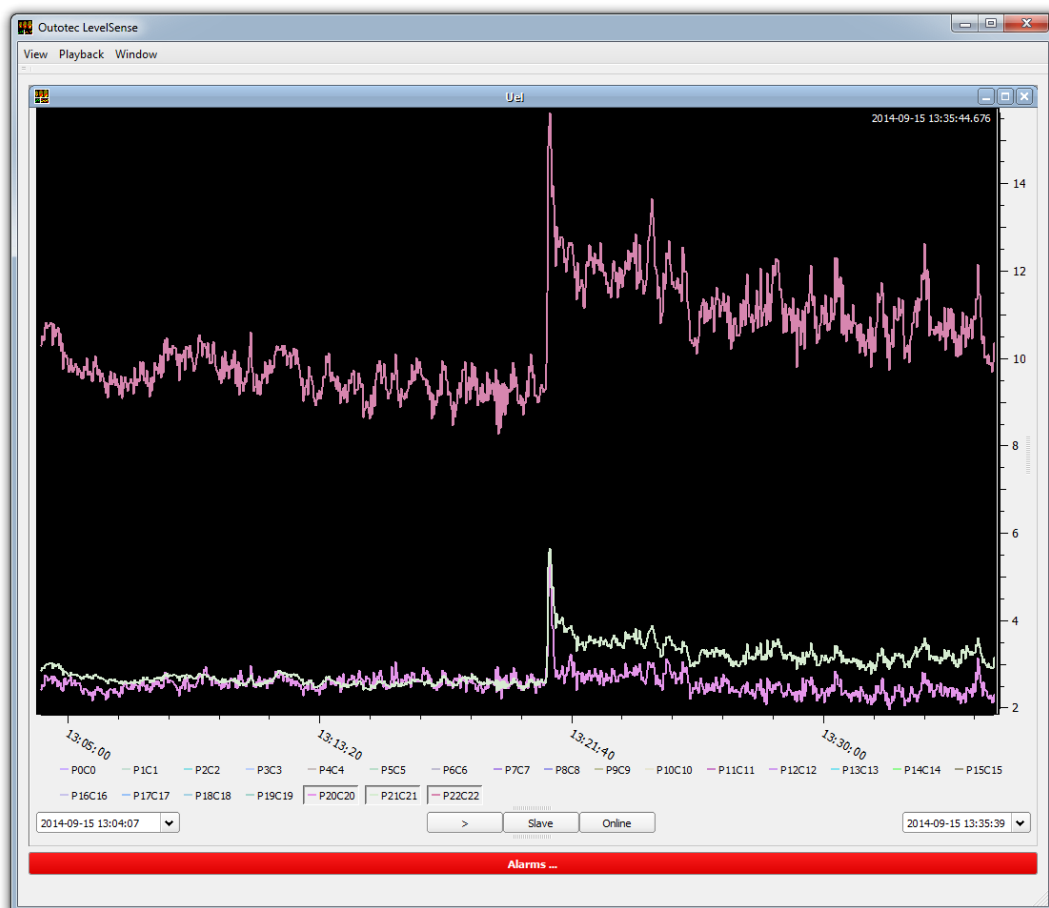
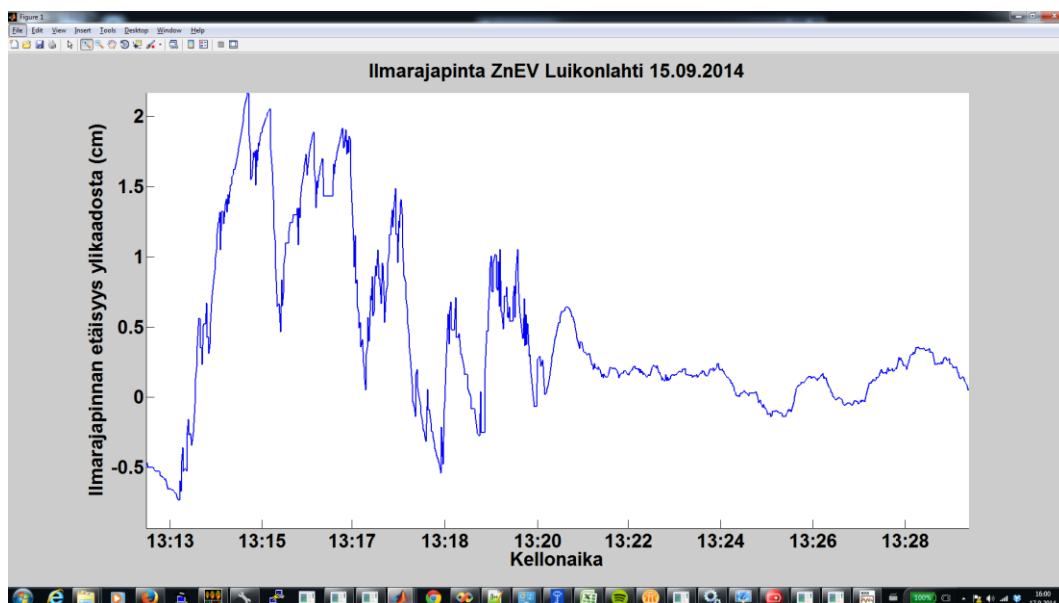
NAGY, Sandor 2014. 3D-muovitulostus ja pinnoitus. Savonian ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [Viitattu 31-8-2014]. Saatavissa:
http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/75331/Nagy_Sandor.pdf?sequence=1

JAUHIAINEN, Antti 2009. Laboratoriovaahdotuskoneen konseptointi. Metropolian ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [Viitattu 30-8-2014].

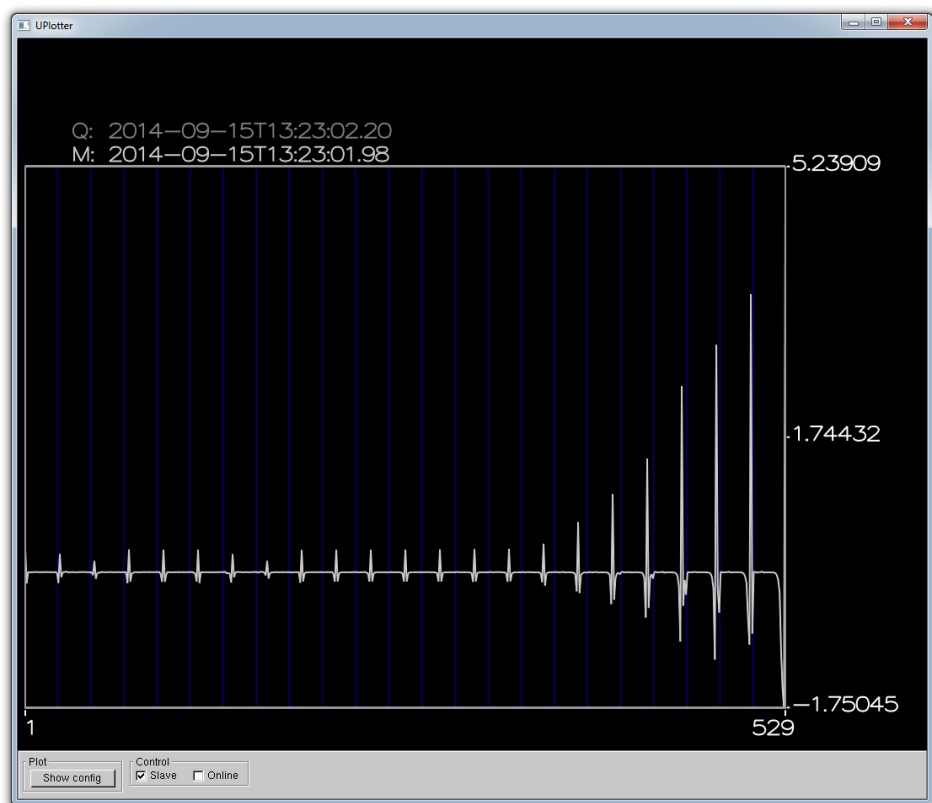
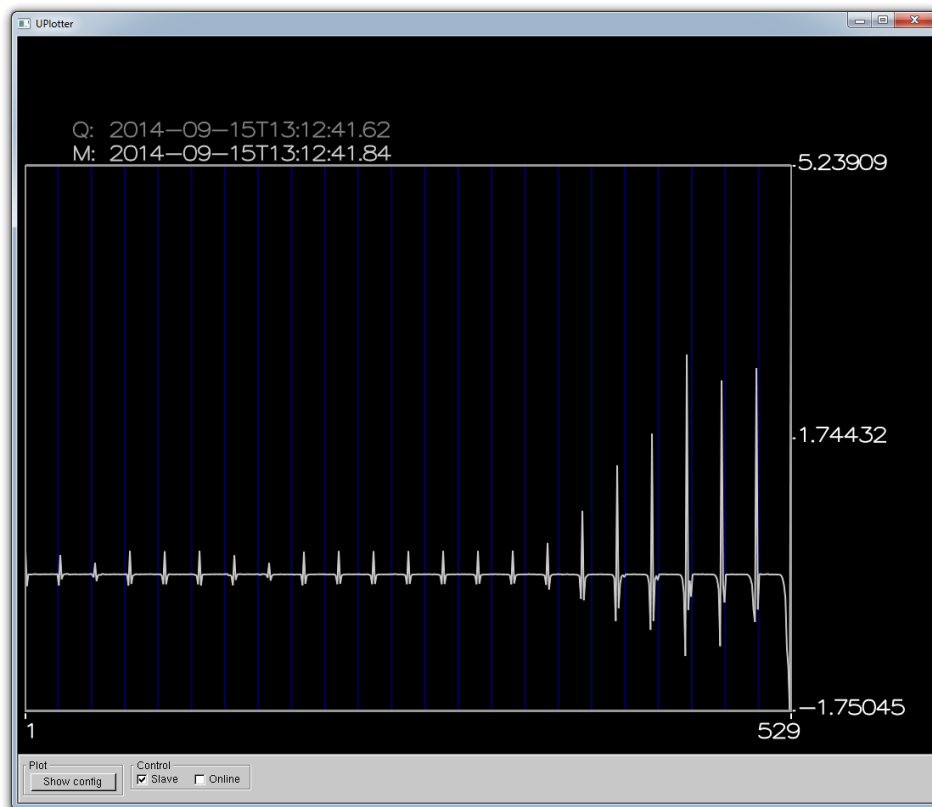
LEHIKONEN A, LAAKKONEN P, VAUHKONEN M, RINNE A, SALOHEIMO K & LÄHTEENMÄKI S 2009. Measuring flotation process using probe sensor based on 3D electrical resistance tomography. [Viitattu 30-8-2014].

PURSIAINEN, Pasi 2014. [valokuva]. Henkilökohtainen arkisto.

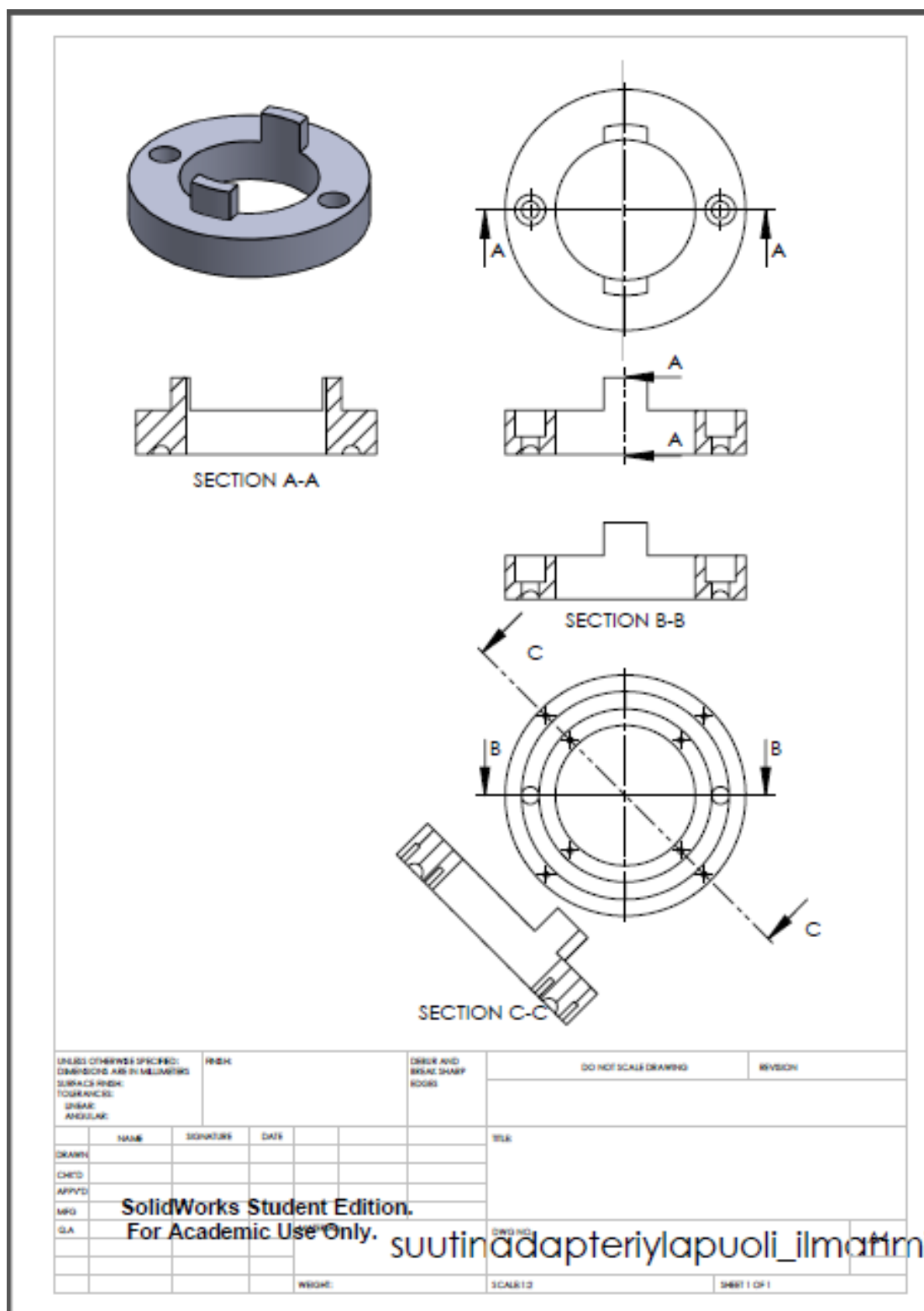
LIITE 1: ILMARAJAPINTATRENDI JA JÄNNITEPROFIILI



LIITE 2: JÄNNITERAKENNE



LIITE 3: KOMPONENTIN YLÄPUOLEN VALMISTUSKUVA



LIITE 4: KOMPONENTIN ALAPUOLEN VALMISTUSKUVA

The drawing includes an isometric view of a ring with a central hole and a flange. It also features three section views: SECTION A-A (a longitudinal section showing the ring's thickness and internal features), SECTION B-B (a cross-section of the ring's wall), and SECTION C-C (a section through the ring's diameter showing the internal structure and holes). Section lines and cutting plane symbols (A-A, B-B, C-C) are used to indicate the locations of these sections.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH	DRAWING AND MAKE SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACES FINISH: TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:						
NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE	
DRAWN						
CHEK						
APPVD						
MFG						
QA						
WEIGHT				SCALE 1:2	SHEET 1 OF 1	

SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.

suutinaadapterialapuoli_ilmam