

# VAAHDOTUSKENNON MODERNISOINTI

Arto Jäntti

Opinnäytetyö  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Kaivostekniikka  
Insinööri (AMK)

2015

Teollisuuden ja luonnonvarojen  
osaamisala  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutus-  
ohjelma

---

<b>Tekijä</b>	Arto Jäntti	Vuosi	2015
<b>Ohjaaja</b>	Tuomas Pussila		
<b>Toimeksiantaja</b>	Sami Hietalahti, Rikastek II		
<b>Työn nimi</b>	Vaahdotuskennon modernisointi		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	38 + 2		

---

Tämän työn tarkoituksena oli modernisoida kaivostekniikan laboratorion vaahdotuskkenno. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Ammattiopisto Lappian Rikastustekniikan koulutuskeskus (RikasTek).

Työ sisälsi koneensuunnittelua, turvallisuusmääräysten tutkimista sekä elektronikka- ja sähkösuunnittelua. Suunnittelussa otettiin huomioon käytettävyys, ergonomia ja käyttöturvallisuus.

Opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Lopputuloksena syntyi toiminnoltaan helpokäyttöinen laite opetuskäyttöön.

School of Industry and Natural Resources, Kemi  
Degree programme in Mechanical and Production Engineering

---

<b>Author</b>	Arto Jäntti	Year	2015
<b>Supervisor</b>	Tuomas Pussila		
<b>Commissioned by</b>	Sami Hietalahti, Rikastek II		
<b>Subject of thesis</b>	Modernization of the Flotation Cell		
<b>Number of pages</b>	38 + 2		

---

Purpose of this work was to modernize the mining engineering laboratory's flotation cells. Thesis was commissioned by the Vocational College Lappia's Enrichment Technology Training Center (RikasTek).

The work included the design of the machine, the safety investigation, as well as electronics and electrical design. The design took into account usability, ergonomics and safety.

The thesis achieved its objectives. The end result was functionally easy to use device for teaching.

Key words

Flotation, flotation cell

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 RIKASTUS JA VAAHDOTUSPROSESSI .....	7
2.1 Vaahdotusmenetelmä .....	7
2.2 Vaahdotus laboratorio-olosuhteissa .....	9
3 VAAHDOTUSKENNON SUUNNITTELU .....	11
3.1 Oikosulkumoottori .....	11
3.2 Taajuusmuuttaja .....	13
3.3 Kierrosluku .....	16
3.4 Hihnapyöräkäyttö .....	17
3.5 Rotametri .....	20
3.6 Kytkenät .....	21
3.6.1 Sähköiset kytkenät .....	21
3.6.2 Paineilmakytkenät .....	22
3.7 Runkorakenteet .....	23
3.7.1 Pohjalevy .....	23
3.7.2 Korokepala .....	25
3.7.3 Moottoripukki .....	25
3.7.4 Kotelo .....	26
3.7.5 Ohjausyksikön tukirakenne .....	29
3.7.6 Muut rakenteet .....	30
3.8 Maalaus .....	34
4 KÄYTTÖÖNOTTOSUUNNITELMA .....	36
5 POHDINTA .....	37
LÄHTEET .....	39

## ALKUSANAT

Opinnäytetyö tehtiin Ammattioppilaitos Lappian Rikastustekniikan koulutuskeskukselle (RikasTek). Työn aiheena oli vaahdotuskennon modernisointi.

Työn ohjaajana Rikastustekniikan koulutuskeskuksen puolelta toimi projektipäällikkö Sami Hietalahti. Haluan esittää erityiset kiitokset Hietalahdelle opinnäytetyön aikana saamista hyvistä neuvoista ja kommentteista työni edistämisen suhteen.

Lapin ammattikorkeakoulun puolelta ohjaajana toimi Tuomas Pussila. Haluan esittää myös hänelle erityiset kiitokseni kommentteista ja neuvoista, joita sain työni aikana.

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on laboratorion vaahdotuskoneen muutostyö ja nykyaikaistaminen. Vaahdotuskennon modernisoinnin myötä laboratoriotyöskentely helpottuu. Vaahdotuskennon sijoitetaan muutostyön jälkeen Ammattiopisto Lapin Rikastustekniikan koulutuskeskukseen (RikasTek) Tornioon.

Työ sisältää konesuunnittelua, turvallisuusmääräysten tutkimista ja sähkö/elektroniikkasuunnittelua. Vaahdotuskone on variaattorikäyttöinen ja se tulee muuttaa taajuusmuuttajakäyttöiseksi niin, että sekoitusakselin mekaaninen kierrosluvun näyttö korvataan taajuusmuuttajan näytöllä tai kierroslukumittarilla. Taajuusmuuttajan sekä moottorin valinnassa tulee ottaa huomioon sopiva kierros/pyörimisalue, jolloin voidaan taata vaahdotuksen onnistuminen.

Laitteeseen tehdään muutoksia käytettävyyden, ergonomian ja käyttöturvallisuuden näkökulmasta. Laitteeseen lisätään rotametri ilman virtauksen asettamista ja luenta varten. Laitteeseen lisätään hätäseis-kytkin sekä muita turvallisuuteen ja käytettävyyteen liittyviä apulaitteita. Muutoksissa tarvitaan paineilma-, elektroniikka- ja sähkösuunnittelua.

Opinnäytetyössä pyritään käyttämään standardikomponentteja mm. huollettavuuden ja mahdollisten myöhempien muutostöiden vuoksi. Lisäksi opinnäytetyön ohella toimitetaan työn tilaajalle 3D-kuvia laitteesta.

## 2 RIKASTUS JA VAAHDOTUSPROSESSI

### 2.1 Vaahdotusmenetelmä

Malmit tai vastaavat arvomineraalit rikastetaan rikastamoissa. Rikastamoksi sanotaan laitosta, jossa malmi tai vastaava rikastetaan. Rikastamon toimintaan kuuluu rikastettavan raaka-aineen hienontaminen rikastusprosessiin sopivaksi.

Rikastusprosessissa arvomineraalit eli rikaste erotetaan arvottomasta hylkykivi-jätteestä jollakin tunnetulla rikastusmenetelmällä. Rikastettava malmi voi sisältää yhtä, kahta tai useampaakin arvomineraalia tai arvometallia. Rikastusmenetelmien yhdistelyllä pyritään hyvään teknilliseen ja taloudelliseen tulokseen. (Lukkarinen 1987,1,14.)

Rikastusmenetelmistä tärkein on vaahdotus. Muita rikastusmenetelmiä ovat mineraalien tiheyseroihin perustuvat menetelmät, magneettiset erotusmenetelmät, sähköstaattinen rikastus ja poiminta. (Lukkarinen 1987,14,15.)

Tämän työn yhteydessä keskistytään ainoastaan vaahdotukseen. Vaahdottamisen onnistumisen ehtona on se, että hienojakoinen vesilietteessä oleva mineraali on hydrofobinen eli vettä hylkivä. Lietteeseen jäävän mineraalin tulee olla hydrofiilinen eli vesihakuinen (Lukkarinen 1987,18). Näiden ehtojen perusteella voidaan todeta, että vaahdotusprosessiin ottaa osaa kolme faasia, jotka ovat kiinteä, nestemäinen ja kaasumainen. Kiinteä on mineraalirakeiden muodossa, nestemäinen on lähes poikkeuksetta vesi ja kaasumainen on yleensä vaahdotusilma. Nämä kolme faasia muodostavat yhdessä lietteen.

Vaahdotuksessa käytetään apuna erilaisia kemikaaleja. Kemikaalit mahdollistavat sen, että esim. mineraalit tarttuvat ilmakuplien pinnoille, ja näin erottuvat toisista tai lietteeseen jäävästä hylkykivestä. (Lukkarinen 1987,18.)

Useimmilla mineraaleilla on taipumus varautua negatiivisesti tai positiivisesti jou-  
tuessaan veteen vesimolekyylien peittämäksi. Näin tapahtuu siksi, että mineraa-  
lien pinnalle muodostuu sähkövaraus. (Lukkarinen 1987,18.)

Osa mineraaleista ovat sähköisesti neutraaleja. Esimerkiksi grafiitti, talkki, ja mo-  
lybdeenihohde ovat pinnoiltaan sähköisesti neutraaleja. Koska nämä mineraalit  
ovat luonnostaan hydrofobisia, ei tällaisten mineraalien vaahdotukseen tarvita  
välttämättä kemikaaleja avuksi. (Lukkarinen 1987,18.)

Neutraalien mineraalien vaahdotusta voidaan tehostaa silloin, kun lietteeseen pu-  
halletun ilman ilmakuplat ovat veden korkean pintajännityksen vuoksi liian heik-  
koja kantamaan mineraalirakeita (Lukkarinen 1987,19). Lietteeseen voidaan li-  
sätä veden pintajännitystä alentavaa reagenssia eli vaahdotetta, joka tehostaa  
ilmakuplien kykyä nostaa mineraalirakeet pois vaahdotuslaitteesta.

Vaahdotuksessa käytettävät reagenssit ovat kemiallisesti reagoivia aineita tai  
seoksia, joita kutsutaan vaahdotuskemikaaleiksi. Niitä käytetään silloin, kun ha-  
lutaan ohjata prosessin selektiivisyyttä (Lukkarinen 1987,19). Vaahdotuskemi-  
kaalit jaetaan kolmeen ryhmään toimintansa mukaan: kokoojiin, vaahdotteisiin ja  
säännöstelijöihin, joita ovat aktivoivat ja painajat.

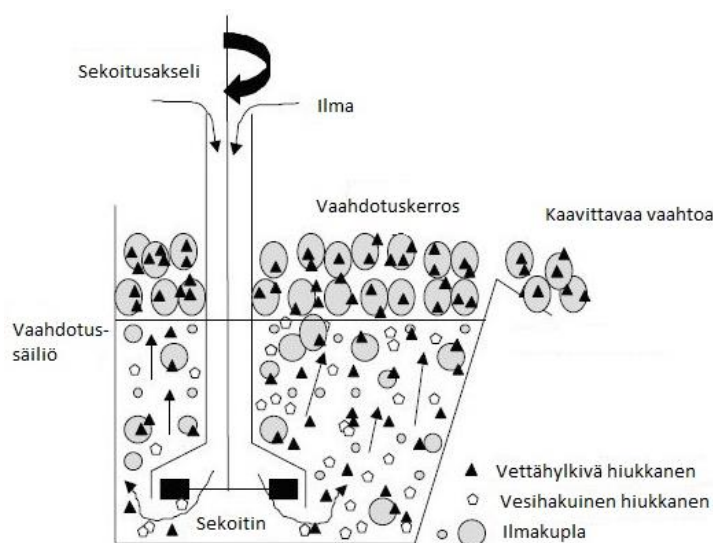
Vaahdotusprosessi on monimutkainen lietteessä tapahtuva prosessi, jossa vuo-  
rovaikutuksessa ovat kiinteiden, nestemäisten ja kaasumaisten aineiden fysikaa-  
liset ja kemialliset aineet. Vaahdotusprosessissa faasien rajapinnoilla tapahtuvat  
ilmiöt ovat määrääviä tekijöitä. Kokonaisnäkemykseen prosessista on mahdol-  
lista päästä tutkimalla vaahdotuksen kutakin tekijää kerrallaan. (Lukkarinen  
1987,19.)



## 2.2 Vaahdotus laboratorio-olosuhteissa

Laboratorio-olosuhteissa käytetään pienehköjä batch-tyyppisiä vaahdotuskennoja, joilla pyritään selvittämään optimaalinen rikastusaste varsinaiselle tuotannolle. Vaahdotuskennojen avulla voidaan seurata ja tukea rikastusprosessia, sillä rikastamolle syötetyn malmin mineraalipitoisuus vaihtelee louhinnasta riippuen.

Vaahdotuskennon toimintaperiaate on yksinkertainen. Sekoitusakselilla sekoitetaan vaahdotussäiliöön lisättyä lietettä. Liete koostuu nesteestä, hienojakoisesta kiviaineksesta ja reagenssista eli vaahdotteesta. Sekoitusakselin läpi lietteeseen syötetään ilmaa siten, että lietteeseen syntyy pieniä kuplia. Sekoitusakselin nopeutta sekä ilman virtausta voidaan säätää, jolloin prosessin tuloksena syntyy vaahtoa, johon rikastettava mineraali kiinnittyy. Vaahto kaavitaan vaahdotussäiliöstä pois. (Extrative Metallurgy 2008.)



Kuvio 1. Mekaaninen vaahdotuskenno. (Extrative Metallurgy 2008.)

Ammattipisto Lappian Rikastustekniikan keskuksen laboratoriossa vaahdotuskennot ovat lähinnä opetuskäytössä. Laboratorio on samanlainen kuin vastaavat teollisuuslaboratoriot, sillä laboratorion varustukseen kuuluu mittava arsenaali laboratorionkäyttöisiä laitteita leukamurskaimesta kuivatusuuniin.

Rikastustekniikan laboratoriossa vaahdotuskennoilla harjoitellaan vaahdotusta oikeilla mineraaleilla. Yksi käytetyimmistä harjoitustöistä on talkin vaahdotusrikastus vuolukivestä. Vuolukivessä toisena päämineraalina on talkki. Sen osuus vuolukivessä voi olla 35 – 50 %.

Talkin vaahdotukseen käytetään vaahdotuskemikaaleja. Yksi käytetyimmistä vaahdotuskemikaaleista on Montanol-niminen vaahdote, jolla on myös kokoojaominaisuuksia. Laboratoriossa talkin vaahdotukseen tarvitaan syötteenä noin 400 grammaa hienonnettua ja siivilöityä vuolukiveä, vaahdotetta pipetillinen eli 3 ml ja vettä, jota lisätään astiassa olevaan merkkiin asti. Ainesosia valmennetaan eli sekoitetaan 60 s 1000 rpm, jonka jälkeen sekoitusakselin kautta syötteeseen lisätään ilmaa. Ilman syöttö pyritään säätämään niin, että syötteeseen tulee runsaasti pieniä kuplia, joihin syntyvä rikaste voi tarttua. Vaahdotusaika on neljä minuuttia. Syntyvää vaahtoa kaavitaan lastalla vaahdotuskennosta pois erilliseen astiaan koko vaahdotusajan. (Hietalahti 2015, 1.)

Kaavittu rikaste suodatetaan lopuksi imusuotimella, minkä jälkeen rikaste kuivatetaan muhveliuunissa 900 °C 15 minuuttia. Kuivatusta jatketaan niin kauan, että rikasteen paino ei enää muutu. (Hietalahti 2015, 2.)

### 3 VAAHDOTUSKENNON SUUNNITTELU

#### 3.1 Oikosulkumoottori

Vaahdotuskennon tärkein yksittäinen komponentti taajuusmuuttajan ohella oli oikosulkumoottori. Alustavassa evaluoinnissa (Taulukko 1.) oikosulkumoottorin tehoksi osoittautui riittävän hyvin 0,25 kWh:n tehoinen yksivaiheoikosulkumoottori, koska sen teho riittäisi vaivatta vaahdotuskennon sekoitukseen.

Oikosulkumoottoriksi valittiin yksivaiheoikosulkumoottori nimenomaan siksi, että laboratoriokäytössä yksivaihepistorasioita on laajasti käytettävissä, kun taas kolmivaihepistorasioita ei välttämättä kaikissa työpisteissä ole käytettävissä. Lisäksi yksivaihesyötön käyttö oli turvallisuusnäkökulmasta käsin perusteltua.

Taajuusmuuttajakäytössä yksivaiheoikosulkumoottori kytketään kolmioon, jolloin yksivaiheoikosulkumoottori toimii käytännössä kuten ns. normaali kolmivaiheoikosulkumoottori. Yksivaiheoikosulkumoottorin nimellisjännite kolmiokytkettynä oli valitussa moottorissa 240 V.

Taulukko 1. ABB:n M2BA 71 MB 4-moottorin tekniset tiedot viimeisellä rivillä. (ABB 2004)

IP 55 - IC 411 - Insulation class F, temperature rise class B  
IE2 efficiency class according to IEC 60034-30-1; 2014

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency IEC 60034-30-1; 2014			Power factor Cosφ	Current		Torque			Moment of inertia J = 1/4 GD <sup>2</sup> kgm <sup>2</sup>	Weight kg	Sound pressure Level L <sub>PA</sub> dB
				Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%		I <sub>N</sub> A	I <sub>v</sub> /I <sub>N</sub>	T <sub>N</sub> Nm	T <sub>v</sub> /T <sub>N</sub>	T <sub>v</sub> /T <sub>N</sub>			
1500 r/min = 4 poles			400 V 50 Hz			CENELEC-design									
0.25	M2BA 71 MA 4	3GBA072211-••B	1365	68.3	70.8	69.7	0.81	0.7	3.5	1.7	1.9	2.0	0.00074	10	45
0.37	M2BA 71 MB 4	3GBA072212-••B	1380	72.4	74.5	74.6	0.83	0.9	4.0	2.5	1.6	2.1	0.00088	11	45

Aikaisemman variaattorikäyttöisen vaahdotuskennon moottorin maksimikierrosnopeus oli 1453 rpm. Alustavasti korvaavan moottorin kierrosnopeus tulisi olemaan 1365 rpm tai 1380 rpm (Taulukko 1.). Kierrosnopeus on riittävä taajuusmuuttajakäytössä, kun tavoiteltava kierrosnopeus on n. 1000 rpm. Taajuusmuuttajalla moottorin nopeutta voidaan säätää halutuksi.

Sähkökäytön mitoituksessa noudatettiin ABB:n ohjetta nimeltä ”Tekninen opas nro 7 Sähkökäytön mitoitus”. Se on yleisopas sähkökäyttöjen mitoitukseen ja suunnitteluun. (ABB 2001.)

Oikosulkumoottori mitoitettiin sähkökäytön mitoitusohjeen mukaisesti tarkastamalla käytettävä verkkojännite, joka yksivaiheoikosulkumoottorilla on 200 – 240 V. Huomioitavaa on se, että sähköjakeluverkon jännitteen taajuus ei rajoita sovelluksen kierrosalueella taajuusmuuttajakäytössä.

Toiseksi tarkistettiin prosessin vaatimukset vaahdotuskäytössä. Tarkasteltavina olivat käynnistysmomentin tarve, kierrosalue ja kuormitus. Käynnistysmomentin tarve taajuusmuuttajakäytössä on siinä mielessä merkitsemätön, että taajuusmuuttajan asetuksilla käynnistystapahtumat ovat erittäin hyvin hallittavissa eikä siten käynnistysmomenttia tarvinnut ottaa laskennoissa huomioon. Kierrosalue talkkimineraalin vaahdotuskäytössä oli aikaisempien kokemusten mukaan noin 1000 r/min, jolloin taajuusmuuttajalla kontrolloitavan oikosulkumoottorin kierrosnopeus voisi olla kierrosalueella 1000 – 1500 r/min. Kuormitus moottorille oli käytännössä hyvin pieni, sillä sekoitussäiliön koosta riippuen, sillä sekoitettava massa olisi käytännössä noin 3 – 6 litraa. Tästä määrästä mineraalin osuus olisi 7,5 – 15 %. Kuormituksen osalta moottorin kuormitus vastasi puhallin- ja pumpukäyttöä.

Laskennassa käytettiin seuraavia perustietoja: Kuormitus 0,25 kWh kierrosluvulla 1365 r/min, käynnistysmomenttia ei tarvita.

Lasketaan tarvittava momentti 1365 rpm kierrosluvulla:

$$T_n = \frac{9550 * 0,25}{1365} Nm = 1,75 Nm$$

4-napaisen oikosulkumoottorin kuormitettavuus 1380 rpm kierrosluvulla on 75 %. Moottorin miniminimellismomentti on siten:

$$T_n \geq \frac{1,75 Nm}{0,75} = 2,33 Nm$$

4-napaisen oikosulkumoottorin minimiteho on:

$$P_n = \frac{2,33 * 1365}{9550} kW = 0,33 kW$$

Valitaan 0,37 kW moottori (240 V, 0,9 A, 50 Hz, 1380 rpm ja 0,83), joka täyttää lasketut ehdot. Arvioidaan moottorin mitoitusvirtaa  $i_m$  1365 rpm kierrosluvulla (45,5 Hz):

$$i_m = \frac{P_{kuorma}}{P_n} * I_n = \frac{0,33 kW}{0,37 kW} * 0,9 A = 0,8 A$$

Laskemalla saatua mitoitusvirtaa  $i_m$  käytettiin taajuusmuuttajan valintaan.

### 3.2 Taajuusmuuttaja

Oikosulkumoottorin valinnan jälkeen taajuusmuuttajaksi valittiin ABB:n taajuusmuuttaja ACS55 teholtaan 0,37 kWh. Taajuusmuuttajalla säädetään 3-vaiheisen oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta. Jotta taajuusmuuttajan ja moottorin moitteeton toiminta voitiin taata, tuli varmistaa oli se, että moottorina oli oltava oikosulkumoottori nimellisjännitteeltään 200 – 240 V. Moottorin sopivuuden laskettiin olevan mitoitusvirran perusteella 0,8 A, joka täytti mitoitus ehdot, eli moottorin nimellisvirran oli oltava pienempi tai yhtä suuri kuin taajuusmuuttajan nimellislähtövirta. Valittu taajuusmuuttaja ACS55-01E-02A2-2 täytti nämä vaatimukset.

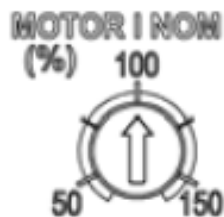
Taulukko 2. Taajuusmuuttaja ACS55-01E-02A2-2:n nimellisvirta on 2,2 A, kun moottorin nimellisvirta (Motor I nom) on 100 %. (ACS55 taajuusmuuttajan käyttö-  
opas)

	Moottorin nimellisvirta (A)										
<b>ACS55-01x-</b>											
<b>-01A4-x</b>	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1		
<b>-02A2-x</b>	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3
<b>-04A3-x</b>	2,2	2,6	3,0	3,5	4,0	4,3	4,7	5,2	5,6	6,0	6,5
<b>-07A6-x</b>	3,8	4,6	5,3	6,1	6,8	7,6	8,4	9,3	10,2	11,4	
<b>-09A8-x</b>	4,9	5,9	6,9	7,8	8,8	9,8	10,8	12,0	13,3	14,7	
<b>MOTOR I NOM</b>	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150%

Taajuusmuuttajan nimellisvirran Motor I nom arvoa voidaan joutua laskemaan tai nostamaan. Nimellisvirran asetuksen määrittämiseksi taajuusmuuttajaan laskettiin nimellisvirran asetus.

Lasketaan Motor I nom nimellisvirran asetus:

$$\text{Motor I nom (\%)} = \frac{\text{Moottorin nimellisvirta (A)}}{\text{ACS55:n nimellisvirta (A)}} * 100\% = \frac{0,9A}{2,2A} * 100\% = 41\%$$



Kuvio 2. Motor I nom asetus prosentteina. (ABB 2010.)

Motor I nom asetus tehdään taajuusmuuttajan etupaneelista ruuvimeisselillä (Kuvio 2.). ACS55 laskee moottorin lämpötilan mitatun lähtövirran ja moottorin nimellisvirran perusteella.

Taajuusmuuttaja ACS55 on helposti asetettavissa dip-kytkimillä tai erillisellä tietokoneohjelmalla. Se soveltuu erittäin hyvin pienitehoisiin taajuusmuuttajakäyttöihin, kuten tässä tapauksessa vaahdotuskennon sekoitustoimintoon.



Kuva 3. Taajuusmuuttaja ACS55. (ABB 2010)

Taajuusmuuttajan nopeuden säätöön valittiin potentiometri ACS55-POT, jossa lisätoimintoina on kytkin käynnistys- ja pysäytystoiminnolle sekä kytkin eteen- ja taaksetoiminnolle. Potentiometri asennetaan suoraan taajuusmuuttajaan, jolloin muita ohjauspainikkeita tai ohjauskytkimiä ei tarvittu.



Kuva 4. Potentiometri ACS55-POT ohjaustoiminnoilla. (ABB 2010)

Taajuusmuuttaja asennettiin erilliseen ohjausyksikköön yhdessä kierroslukunäytön, muuntajan ja hätäseisäkytkimen kanssa. Ohjausyksikön paneeliin leikattiin reiät potentiometriä ja käyttökytkimiä varten.

### 3.3 Kierrosluku

Kierrosluenta päätettiin toteuttaa reaaliaikaisella kierrosluvun mittaamisella, koska valitussa taajuusmuuttajassa ei ole näyttöä. Siksi kierrosluvun seuranta varten tuli valita erillinen kierroslukumittari ja induktiivinen anturi. Kierroslukumittariksi valittiin Omronin takometri H7ER-NV1-B, joka ei tarvitse erillistä jännitelähdettä. Takometri toimii omalla sisäisellä paristollaan vähintään seitsemän vuotta jatkuvassa käytössä. Takometri soveltuu erilaisten kierrosalueiden mittaamiseen, sillä mitattava kierrosalue voidaan valita sovelluksen mukaan. (Omron 2013.)

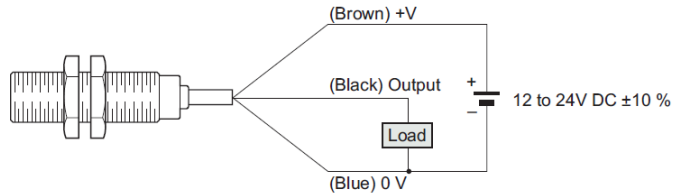
Sekoitusakselin kierrosalue on laboratorion harjoitustöissä käytännössä alueella 800 – 1500 rpm, mikä vastaa 13,3 – 25 pulssia sekunnissa. Omronin takometristä valittiin mittausalueeksi 10,000 min<sup>-1</sup> 60 pulssia kierrosta kohden, jolloin pulssimäärä oli maksimissaan 166 pulssia sekunnissa.



Kuva 5. Omronin takometri H7ER-NV1-B. (Omron 2013.)

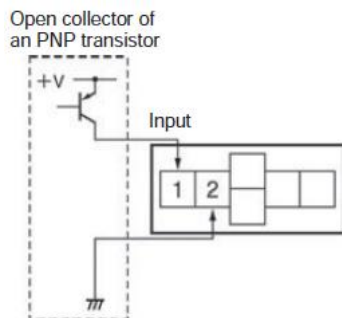
Induktiiviseksi anturiksi valittiin Panasonicin GX-M8A-P, jossa on PNP-ulostulo. Anturin maksimireaktiotaajuus on 5 kHz, mikä riittää hyvin tähän sovelluskäyttöön. (Panasonic 2011.)



**PNP output type**

Kuva 6. Induktiivisen anturin kytkentäkaavio. (Panasonic 2011.)

Induktiivinen anturi tarvitsee toimiakseen tasajännitteen 12 – 24 VDC. Sopiva jännite 12 VDC saatiin taajuusmuuttajalta, jolloin erillistä jännitelähdettä ei tarvittu. Takometri saa käyttöjännitteensä sisäisestä paristosta. Kierrosluvun mittaus toteutettiin minimikomponentein.



Kuva 7. H7ER takometrin ja induktiivisen anturin kytkentäkaavio. (Omron 2013.)

### 3.4 Hihnapyöräkäyttö

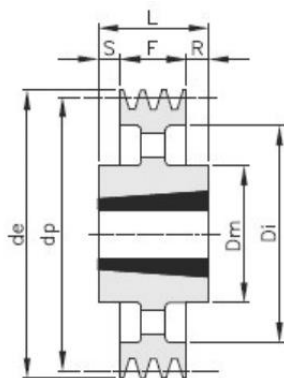
Variaattorikäytössä pyöritettävän akselin hihnapyörän alempi hihnapyörän kiila oli kiinteä ja ylempi hihnapyörän kiila oli jousikuormitteinen. Akselinpuoleisen pyörittävän akselin hihnapyörän alempi hihnapyörän kiila oli samoin kiinteä, mutta ylempi hihnapyörän kiila pääsi liikkumaan käytännössä vapaasti alas- ja ylöspäin akselin suuntaisesti. Nopeuden säätö saatiin aikaan säädettävällä ruuvilla, joka painoi moottorin akselilla olevaa ylempää hihnapyörän kiilaa alas- tai ylöspäin.

Variaattorikäytön säädettävyys oli periaatteessa ihan toimiva, mutta hankala käyttää. Opetuskäytössä käytettävyys ja työn suorittamisen kannalta tärkeintä on laitteen helppo käyttö. Sen vuoksi variaattorikäyttöiset 80 mm halkaisijaltaan olevat hihnapyörät poistettiin laitteesta.

Hihnapyörien tilalle tuli valita sopiva hihnapyöräkäyttö joko hammashihnalla tai kiilahihnalla. Molempien hihnakäyttöjen etuja ja haittoja arvioitiin huolella. Hammashihnakäytön etuina oli se, että säädettävää moottoripukkia ei välttämättä tarvitsisi rakentaa ja asennus olisi mahdollisesti helpompaa. Suoranaisena haittana oli saatavuus ja tuen puute paikallisissa alan liikkeissä.

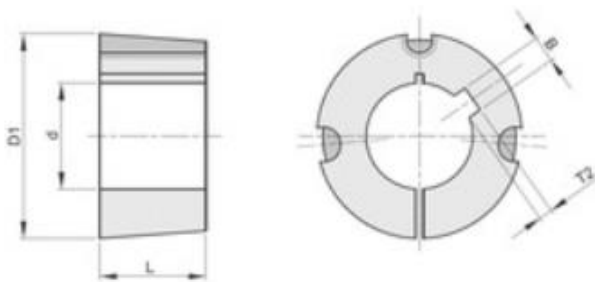
Kiilahihnapyöräkäytön etuina olivat saatavuus ja tuki alan liikkeissä. Liikkeissä käytettävissä oli valmistajien laskentaohjelmia kiilahihnakäytön kuormituksen ja käyttötarkoituksen mukaan. Käytännössä valinta oli helppoa, kun tiedossa oli kiilahihnapyöriin kohdistuva rasitusaste, kiilahihnapyörien halkaisija ja niiden etäisyys. Ainoana todellisena haittana oli se, että säädettävä moottoripukki tulisi rakentaa laitteeseen.

Hihnapyöräkäytöksi valittiin kiilahihnakäyttö. Kiilahihnapyöriksi valittiin kaksi 80 mm:n kiilahihnapyörää tyypiltään SPA 80X1 TL/1201. Kiilahihnapyörä ei sellaisenaan ollut toimiva, vaan se tarvitsi akseliin kiinnittämistä varten parikseen kartioholkin. SPA-tyypin kiilahihnapyörät (kuvio 8). oli valmistettu GG20-valuraudasta. Niiden suurin kehänopeus oli 30 m/s, joka sopi tähän käyttötarkoitukseen hyvin. (Etra 2014a.)



Kuvio 8. Kiilahihnapyörän SPA/Taper Lock mallisarjan yleiskuva. (Etra 2014a.)

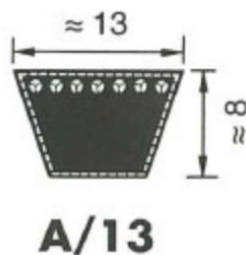
Kiilahihnapyöriin valittiin lisäksi sopivat kartioholkit moottorin akselille ja sekoitus-akselille. Moottorin akselille valittiin 14 mm:n kartioholkki tyypiltään 1210/14 Taper Lock ja sekoitusakselille 19 mm:n kartioholkki tyypiltään 1210/19 Taper Lock. Nämä kartioholkit olivat tähän käyttötarkoitukseen erittäin sopivia, sillä näitä oli mahdollista käyttää myös ilman kiilaa. Moottorin akselissa oli kiila, mutta sekoitusakselissa ei. (Etra 2014b.)



Kuvio 9. Kartioholkin 1210 yleiskuva. (Etra 2014b.)

Akselin halkaisijaa (kuvio 9.) kuvaa kirjain  $d$ , kartion suurinta halkaisijaa  $D1$ , kiilan levyttä  $B$  ja kiilan maksimikorkeutta kartioholkissa  $T2$ .

Kiilahihnan pituus laskettiin Etran Oulun liikkeessä liikkeen omalla laskentaohjelmalla. Kiilahihnapyörien etäisyydeksi haarukoitiin 350 – 360 mm:n säätövara. Laskentaohjelmaa apuna käyttäen laskettiin kiilahihnan jakopituudeksi  $L_d$  955 ja sisäpituudeksi  $L_i$  925 mm. Laskennan perusteella kiilahihnaksi valittiin Optibeltin VB kiilahihna A/13 tyypiltään A37. Kiilahihnan suurin sallittu hihnanopeus on 42 m/s, joten se soveltuu erittäin hyvin tähän käyttötarkoitukseen. (Etra 2014c.)



**A/13**

Kuvio 10. Optibelt VB kiilahihnan A/13 poikkileikkauskuva. (Etra 2014c.)

Kiilahihnapyörät asennettiin ja linjattiin moottorin akselille ja sekoitusakselille kiilahihnapyörien ja kartioholkkien mukana tulleen ohjeen mukaisesti. Aluksi kartioholkit ja kiilahihnat puhdistettiin säilytysrasvasta. Seuraavaksi kartioholkit asennettiin kiilahihnapyörien sisäpuolelle. Kiristysruuvien kierteet öljyttiin kevyesti ja ne asennettiin kartioholkeissa ja kiilahihnapyörissä oleviin kierteisiin ja ruuvattiin sisään niin, etteivät ne vielä kiristyneet. Moottorin akseli ja sekoitusakseli puhdistettiin rasvasta, minkä jälkeen kootut kiilahihnapyörät asetettiin akseleille ja esilinjattiin ne toisiinsa. Kiilahihna asetettiin kiilahihnapyörien uraan ja moottoripukkia kiristettiin hieman. Kiilahihnapyörien linjaus tarkastettiin ja kartioholkkien ja kiilahihnapyörien kierteissä olevat kuusiokoloruuvit kiristettiin ohjeen mukaan momenttiin 20 Nm.



Kuva 11. Kiilahihnapyörät asennettuna akseleille.

### 3.5 Rotametri

Vaahdotuskennoon haluttiin lisätä rotametri eli virtausmittari, jolla sekoittajan ilmamäärää voitaisiin säätää tarkasti ja hallitusti. Rotametria valittaessa päähuomio oli ilmamäärässä, sillä vaahdotusprosessia olisi pystyttävä hienosäätämään vaahdotettavan materiaalin mukaan. Lisäksi rotametri upotettaisiin mahdollisesti kotelon sisälle, jolloin kiinnitettävyyden ja käsiteltävyyden nousivat yhdeksi valintakriteeriksi.

Rotametrin valinta tehtiin Kytola Instrumentsin (Kytölä) valikoimasta. Kytölä valmistaa virtausmittareita eri kaasuille ja teollisuuden sektoreille, joten sieltä löytyi

vaahdotuskennoon sopiva virtausmittari. Valintaan käytettiin Virtausmittarin valintatyökalua osoitteesta <http://www.kytola.com/fi/tuotteet/virtausmittarit/valintatyokaluu>. Valittu rotametri oli tyypiltään LH-5CR-V, joka on muuttuva aukkoinen virtausmittari ja se on tarkoitettu pienten kaasuvirtausten asetteluun ja valvontaan. Rotametri on valmistettu akryylista ja mittausalue ilmalle on 2 – 14 NI/min. (Kytola Instruments 2014.)



Kuva 12. Rotametri mallin I yleiskuva. (Kytola Instruments 2014.)

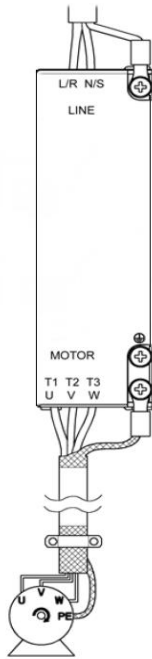
Työn edetessä rotametrin lopullinen sijoituspaikka varmistui. Rotametri sijoitettiin vaahdotuskennoon rungon etuoikealle kotelon sisälle. Rotametrin ja sekoitusakselin ilmakehän putkitus saatiin tällä sijoituksella optimoitua. Lisäksi vaahdotuskennoon käyttömukavuus saatiin hyväksi, kun rotametri oli helposti luettavissa ja asetettavissa laitteen etuosasta.

### 3.6 Kytkennät

#### 3.6.1 Sähköiset kytkennät

Moottorin ja taajuusmuuttajan kytkentä

Moottorin kytkentään käytettiin konsentrisella suojalla varustettua 1,5 mm<sup>2</sup>:n nelijohdinkaapelia.



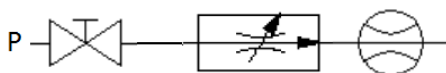
Kuvio 12. Taajuusmuuttajan kytkentä. (ABB 2010.)

Kun taajuusmuuttajan ja moottorin vaiheet kytketään järjestyksessä U-U, V-V ja W-W, ja kun pyörimissuunnaksi on valittu eteen, pyörii akseli myötapäivään akselin päästä katsottuna (kuvio 12).

### 3.6.2 Paineilmakytkenät

Vanhat paineilmakytkenät purettiin laitteesta. Laitteeseen tehtiin kokonaan uudet paineilmakytkenät ja lisättiin rotametri ilmavirtauksen säätöä varten. Säätöalue valitulle virtausmittarille oli 2 – 14 l/min, joka sopi hyvin vaahdotettaville mineraaleille.

Kytkenät laitteen toimilaitteiden välillä tehtiin laitteeseen käyttämällä halkaisijaltaan 6 mm:n muovista paineilmaputkea.



Kuva 13. Paineilman kytkentä.

Paineilma P syötetään sulkuventtiiliin kautta rotametrille, jossa ilmanvirtaus asetetaan sopivalle tasolle 2 – 14 l/min välillä.

### 3.7 Runkorakenteet

Vaahdotuskennon kaikkia alkuperäisiä runkorakenteita ei voitu suoraan käyttää laitteen modernisointiin. Osaa rakenteista oli joskus korjattu hitsaamalla. Nämä osat tuli valmistaa uudelleen. Esimerkiksi laitteen pohjalevy oli yksi uudelleen valmistettavista osista. Modernisointiin liittyen valmistettavia osia olivat moottoripukki, rotametrin ja induktiivisen anturin kiinnikkeet, induktiivisen anturin lukurengas, kotelo ja ohjausyksikön tukirakenne.

Vaahdotuskennon on amerikkalaista alkuperää, ja sen vuoksi mitoitus ja kaikki kiinnikkeet olivat tuumamitoituksella. Yllättäen sekoitusakseli osoittautui olevan metrijärjestelmän mukainen ja halkaisijaltaan 14 millimetriä. Tämä helpotti vaahdotuskennon modernisointia sekoitustoiminnan osalta.

#### 3.7.1 Pohjalevy

Alkuperäinen valetusta alumiinista valmistettu pohjalevy osoittautui käyttökelvottomaksi. Tämän vuoksi laitteelle jouduttiin valmistamaan uusi pohjalevy. Pohjalevy piirrettiin SolidWorks-ohjelmistolla. Piirros tallennettiin dxf-muotoon, minkä jälkeen se leikattiin teräksestä CNC-käyttöisellä plasmaleikkurilla.

Leikattu pohjalevyaihio oli paksuudeltaan 10 millimetriä. Sen paksuuden valintaan vaikutti alkuperäisen pohjalevyn tiivisteosan reunan syvyys, joka oli 10 millimetriä. Hyvänä puolena vahvalla pohjalevyllä oli se, että se tukevoitti koko vaahdotuskennon rakennetta.



Kuva 14. Plasmaleikattu pohjalevy.

Pohjalevyyn alareunaan hitsattiin 10 millimetriä paksu ja 30 millimetriä leveä teräksinen lattarauta mag-hitsausmenetelmällä. Lattaraudan ja pohjalevyn sisä- ja ulkopuolen liitoskohdat hitsattiin molemmin puolin työstämisen helpottamiseksi. Lopulta lattaraudan ja pohjalevyn ulkopinnan hitsausauma pyöristettiin hiomalla sitä kulmahiomakoneella.



Kuva 15. Pohjalevyyn hitsattiin lattarauta kiinni.

Pohjalevyyn ei leikattu plasmaleikkurilla reikiä korokepala ja runkorakennetta varten. Syynä oli se, että plasmaleikkauksessa leikattavan pinnan rakenne muuttuu teräksen sulamisen johdosta kovaksi, mikä olisi vaikeuttanut lopullisen reiän



poraamista ja kierteiden tekemistä. Siksi pohjalevyyn porattiin 12 mm:n paksuisella poralla neljä reikää, jotka kierteitettiin 14 mm:n pultteja varten. (Vaakkutech 2012.)

Rungon vaakatason tuli olla säädettävissä. Tämän vuoksi pohjalevyn alapinnan kulmiin hitsattiin neljä 30 mm:n pitkää kartiomutteria säädettäviä jalkoja varten. Näin varmistettiin rungolle riittävän suuri säädettävyys.

### 3.7.2 Korokepala

Laitteen uusi pohjalevy oli rungon liitoskohdasta erilainen kuin vanha pohjalevy, sillä vanhassa pohjalevyssä oli 8 mm korkea kieleke rungon liitoskohdassa. Jotta rungon toiminta olisi vastaava, täytyi kieleke korvata korokepalalla. Korokepala piirrettiin SolidWorks-ohjelmistolla ja teräksinen kappale leikattiin plasmaleikkurilla. Kappaleella ei ollut toleranssivaatimuksia reikien tai muodon suhteen, minkä vuoksi myös pohjalevyn ja rungon välisten läpivientipulttien reiät voitiin leikata plasmaleikkurilla.

### 3.7.3 Moottoripukki

Moottorin kiinnittämistä varten valmistettiin yksinkertainen säädettävä moottoripukki. Moottoripukki valmistettiin kahdesta 3 mm:n vahvuisesta teräslevystä ja neljästä 10 mm:n vahvuisista pulteista. Levyihin leikattiin plasmaleikkurilla 11 mm:n suuruiset reiät, joiden avulla levyihin saatiin hieman säätövaraa moottorin linjaamista varten. Moottoripukin toinen levy kiinnitettiin tukevasti runkoon. Toista levyistä oli mahdollista säätää monipuolisesti niin, että moottoriakseli oli linjattavissa sekoitusakselin kanssa.

Toiseen levyistä leikattiin plasmaleikkurilla neljä 8,3 mm:n reikää runkoon kiinnittämistä varten. Reikien halkaisija oli millimetreissä sama kuin entisen kiinteärakenteisen moottoripukin reiät tuumamitoituksella. Levy kiinnitettiin runkoon alkuperäisillä tuumamitoitetuilla pulteilla.

Toiseen säädettävään levyyn kiinnitettiin sähkömoottori. Moottorin kiinnittämistä varten levyyn porattiin neljä 5 mm:n reikää, jotka kierteitettiin 6 mm:n pultteja varten. (Vaakkutech 2012.)



Kuva 16. Moottori kiinnitettynä moottoripukkiin.

#### 3.7.4 Kotelo

Alkuperäinen kotelo oli valmistettu lasikuidusta. Sitä ei voitu käyttää enää laitteen modernisoinnissa uuden sähkömoottorin vaatiman tilan vuoksi, joten sen tilalle jouduttiin rakentamaan kokonaan uusi kotelo. Uuden kotelon rakentamista ei alun perin otettu huomioon vaahdotuskennon modernisointia määriteltäessä. Vaikka uusi kotelo aiheutti ylimääräistä työtä, toi se myös etuja. Se nimittäin mahdollisti rotametrin upottamiseen kotelon sisälle kotelon oikeaan etuosaan, josta se oli helposti luettavissa ja säädettävissä. Kotelon sisätilan kasvaessa induktiivisen anturin kiinnikkeen asennuskin helpottui.

Kotelo päätettiin valmistaa käsityönä 2 mm vahvasta teräksestä, koska sitä on kohtuullisen helppo tig-hitsata, ja sillä vaahdotuskennon kokonaispaino pysyisi

jotakuinkin kohtuullisena. Tig-hitsausmenetelmä valittiin käytännön syistä, sillä se soveltuu erinomaisesti ohuen materiaalin hitsaukseen eikä tarvitse lisäainetta juuri lainkaan – kappaleet sulatetaan käytännössä vain toisiinsa kiinni. Etuna on myös se, että hitsauksen onnistumiseksi riittää hyvin se, että osat sopivat mahdollisimman tiiviisti toisiinsa ennen hitsauksen suorittamista. Kotelon muotoa päätettiin muuttaa alkuperäisestä työstön helpottamiseksi. Käytännössä näkyvimpiä muutoksia olivat kotelon kokonaistilan kasvu sekä kotelon muodon muutos lähinnä kotelon etuosasta.

Kotelosta tehtiin alustava mittapiirros paperille, jonka jälkeen kotelo päätettiin valmistaa viidestä osasta työstettävyyden ja hitsausmenetelmän valinnan jälkeen hitsausjärjestyksen ehdoilla. Tarvittavat osat leikattiin CNC-käyttöisellä levyleikkurilla. Sen jälkeen kotelon etu- ja takaosat sekä sisätuet särmättiin CNC-käyttöisellä särmäimellä. Kaikki hitsattavat liitospinnat puhdistettiin ja muotoiltiin hitsausta varten.

Kotelon etuosan ja päällysosan liitoskohdat heftattiin mag-hitsaamalla kotelon sisäpuolelta. Tämän jälkeen osien varsinainen liitossauma tig-hitsattiin kotelon ulkopuolelta nurkkaliitoksena. Koska hitsattava materiaali oli vain 2 mm paksuista, varsinainen hitsaustyö oli hidasta, sillä hitsattavan sauman pituus ei saanut olla kovin pitkä mahdollisten lämpötilasta johtuvien muutoksien vuoksi. Siksi hitsaustyössä tarvittiin taukoja materiaalien jäähtymisen vuoksi.

Työ eteni samoin kuin edellä kotelon takaosan ja päällysosan liitoskohtien hitsausten suhteen. Kotelon etu- ja takaosan välinen liitos hitsattiin tig-hitsausmenetelmällä päittäisliitoksena. Kotelon sisätuet käytännössä vain heftattiin kotelon sisälaidoille niin, että kotelon toiminta vastasi alkuperäistä koteloa leveyden suhteen. Viimeisenä vaiheena kaikki hitsausseamat hiottiin kulmahiomakoneeseen kiinnitetyllä lamellilaikalla.



Kuva 17. Kotelon sisätukien hitsausta.

Tässä vaiheessa alkuperäisen kotelon kiinnitysreistä otettiin mitat. Kiinnitysreikien mitat siirrettiin uuteen koteloon, jonka jälkeen siihen porattiin kaksi halkaisijaltaan 9 mm:n reikää. Seuraavaksi koteloa sovitettiin runkoon ja se kiinnitettiin ruuveilla paikalleen.

Rotametria sovitettiin koteloon sille suunniteltuun kohtaan. Lopullisen paikan mitoitus tehtiin rotametrin kiinnikkeen ja pahvisen mallinteen avulla. Kotelo irrotettiin rungosta. Koteloon piirrettiin rotometriä vastaava kuvio, joka leikattiin halkaisijaltaan 25 mm:n reikäporaa ja kulmahiomakonetta apuna käyttämällä. Aukon reunapinnat hiottiin viilan ja hiomapaperin avulla. Loppusilauksena kotelon etu- ja takaosien väliset hitsausliitokset pakkeloitiin. Kuivumisen jälkeen kuivunut pakkelikieli ja koko kotelo hiottiin tasohiomakoneella maalaamista varten.



Kuva 18. Rotametri asennettuna valmiin kotelon sisälle.

### 3.7.5 Ohjausyksikön tukirakenne

Vaahdotuskennon toimintaa ohjaavalle ohjausyksikölle tuli rakentaa joko kiinteä tai siirrettävä tukirakenne. Alustava suunnitelma oli integroida ohjausyksikkö kiinteästi vaahdotuskennon kotelon yläosaan. Näin kaikkia laitteen toimintoja olisi voinut kontrolloida periaatteessa yhdestä paikasta. Suunnitelma kuitenkin muuttui hiljalleen kotelon rakennusvaiheen aikana. Suurimpana syynä suunnitelman muuttumiselle oli laitteen painon nousu 9,5 kg:aan, joka ei enää kotelon valmistuksen yhteydessä ollut niin hyvä asia. Vanhan kotelon paino oli 5 kg.

Ohjausyksikölle päätettiin lopulta rakentaa yksinkertainen helposti liikuteltava tukirakenne, jota voitaisiin siirtää laitteen oikealla tai vasemmalla puolella portaattomasti käyttäjän toivomusten mukaan. Kriteereinä tukirakenteelle olivat pääasiassa keveys, liikuteltavuus ja käyttömukavuus. Tukirakenteeseen oli tarkoituksena kiinnittää muovinen sähkölaiterasia, johon asennettaisiin taajuusmuuttaja, kierroslukumittari sekä ohjauskytkimet.

Osoittautui, että sopiva kulma pöytätasolle asetettavan ohjausyksikön käytettävyydelle käyttömukavuutta ajatellen olisi 110°. Käyttömukavuus olisi hyvä riippumatta siitä, työskenteleekö käyttäjä istuen vai seisten. Käyttömukavuutta voisi säätää yksinkertaisesti vain siirtämällä ohjausyksikköä eteen tai taakse.

Tukirakenne päätettiin rakentaa sellaisesta materiaalista, joka olisi kevyttä, tukevaa ja heti käytettävissä. Materiaaleiksi valittiin vahvuudeltaan 2 mm:n teräspelti sekä 25 x 25 mm huonekaluteräsputki, jotka olivat heti hyllystä saatavissa. Tukirakenne tehtiin käsityönä taivuttamalla kooltaan 510 x 200 mm ja vahvuudeltaan 2 mm:n teräspelti sopivaan muotoon ohjausyksikköä ja käytettävää huonekaluteräsputkea varten. Huonekaluteräsputki katkaistiin määrämittäisiin ja käytännössä vain heftattiin teräspeltiin kiinni. Suurimmat saumakohtat mag-hitsattiin ja hitsausseamat hiottiin kulmahiomakoneeseen kiinnitettyllä lamellilaikalla.



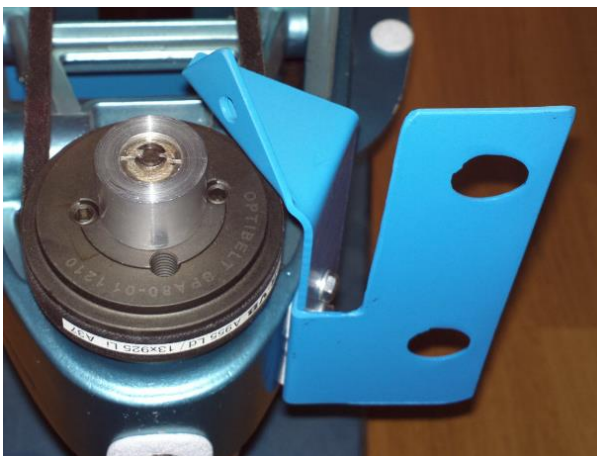
Kuva 19. Ohjausyksikön tukirakenne.

### 3.7.6 Muut rakenteet

Vaahdotuskennon toiminnan kannalta rakennettavia uusia osia olivat rotametrin ja induktiivisen anturin kiinnikkeet, induktiivisen anturin lukurengas, pidempi kammen akseli, kevennysjousen kiinnike, läpivientilevy sekä rotametrin taustakilpi.

#### **Rotametrin kiinnike**

Rotametri suunniteltiin sijoitettavaksi vaahdotuskennon runkoon kotelon sisäpuolelle. Sitä varten tuli suunnitella yksinkertainen kiinnike. Pahvista muotoiltiin sopiva malline, joka vastasi valmistettavaa kiinnikettä. Kiinnike leikattiin 3 mm:n vahvuisesta teräspellistä CNC-käyttöisellä plasmaleikkurilla. Reunat ja leikkausjäysteet hiottiin kulmahiomakoneeseen kiinnitetyllä lamellilaikalla.



Kuva 20. Rotametrin kiinnike laitteen oikealla puolella.

**Rotametrin taustakilpi**

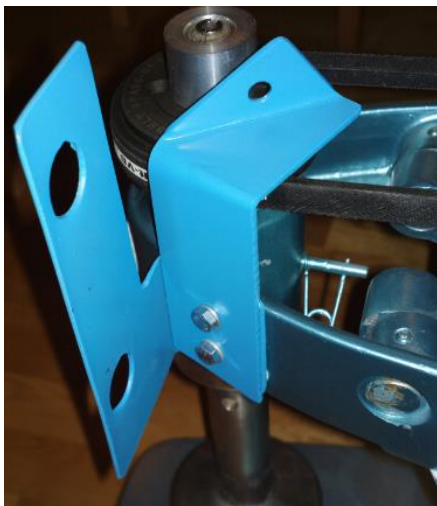
Rotametriin leikattiin taustakilpi 0,5 mm:n vahvuisesta ruostumattomasta teräksestä CNC-käyttöisellä plasmaleikkurilla. Taustakilpi toimi käytännössä jousen tavoin, ja esti rotametriä naarmuuntumasta ja hankautumasta koteloa vasten.



Kuva 21. Rotametrin taustakilpi asennettuna.

**Induktiivisen anturin kiinnike**

Induktiivisen anturin kiinnikkeen malline leikattiin pahvista. Malline muotoiltiin runkoon ja rotametrin kiinnikkeeseen sopivaksi. Lopulta kiinnike leikattiin 3 mm:n vahvuisesta suorasta teräspellistä ja taivutettiin pahvisen mallinteen mukaisesti.



Kuva 22. Induktiivisen anturin kiinnike kuvassa keskellä.

### **Induktiivisen anturin lukurengas**

Induktiivinen anturi tarvitsi toimiakseen metallisen vastakappaleen lukutoimintoa varten. Lukutoiminnon toteuttamiseksi sekoittajan akselille sorvattiin alumiinista rengas, joka kiinnitettiin akseliin 6 mm:n pultilla. Pultin pää toimitti renkaan kiinnittämisen lisäksi toista tehtävää induktiivisen anturin lukutoimintana.



Kuva 23. Induktiivisen anturin lukurengas.

### **Kammen akseli**

Vaahdotuskennon uuden kotelon vaatiman tilan vuoksi alkuperäinen kammen akseli oli liian lyhyt ja siten käyttökelvoton. Tämän vuoksi tehtiin uusi kammen akseli.



Kuva 24. Kammen akseli.



### **Kevennysjousen kiinnike**

Vaahdotuskennon runko on painava. Rungon toiminnalliseen osaan kuuluu ylös/alas-liike. Tätä liikettä varten runkoon on lisätty kevennysjousi, jonka tarkoituksena on keventää ylös/alas-liikettä. Kevennysjousen kiinnike valmistettiin CNC-käyttöisellä plasmaleikkurilla.



Kuva 25. kevennysjousen kiinnike asennettuna.

### **Läpivientilevy**

Laitteen takaosaan valmistettiin läpivientilevy 2 mm:n teräspellistä. Läpivientilevyn tehtävänä oli toimia kiinnitysalustana paineilmaliitännälle sekä moottorikaapelin läpiviennille. Läpivientilevyyn kiinnitettiin palloventtiili sekä kaapelin läpivientiholkki.



Kuva 26. Läpivientilevy maalattuna.

### 3.8 Maalaus

Kaikki runkorakenteet maalattiin. Työn alkupuolella sovittiin, että kaikki näkyviin tulevat rakenteet maalattaisiin Ammattiopisto Lappian väreihin. Maalausohjeina oli Ammattiopisto Lappian virallinen värikartta, jonka mukaisesti maalit tulisi valita sen mukaan, jos se kustannuksellisesti olisi järkevää. Käytännön esteeksi nousi lähinnä työpaikallani oleva metalliosaston laajennus, jonka vuoksi osastolla olevaa maalaamoja ei voinut käyttää lainkaan. Tämän johdosta sovittiin, että kaikki maalattavat pinnat maalattaisiin spraymaaleilla. Maalaussuunnitelma oli maalata runko turkoosinväriseksi ja kotelo valkoiseksi.

#### **Pohjamaalaukset**

Laitteen kaikki osat puhdistettiin ja hiottiin. Alustavana työnä oli poistaa vuosikymmenien aikana kertynyt pöly, rasva ja muu kiintoaine. Tähän käytettiin penseliä ja rasvanpoistoainetta, jossa oli yhtenä seosaineena asetoni. Uusien valmistettujen osien pinnat ja reunat hiottiin. Osa laitteen osista suojattiin muovilla ja maalarinteipillä niin, etteivät ne värjäytyisi maalauksessa. Kaikki osat maalattiin harmaalla spray-pohjamaaleilla ennen lopullista pintamaalausta. Osa maalausta osista pohjamaalattiin sekä ruskealla että harmaalla spraypohjamaalilla. (CRC Industries Europe bvba 2011.)



Kuva 27. Rungon pohjalevy ja korokerengas ruskeaksi pohjamaalattuna.

#### **Runkorakenteiden pintamaalaus**

Kaikki näkyvät vaahdotuskennon runkorakenteet maalattiin turkoosin värisiksi. Maaliksi valittiin Motonetin valikoimasta löytyvä Motip-akryylimaaali. Maalikarttaa

apuna käyttäen ei löytynyt halutun sävyistä turkoosinväristä maalia perussävyistä. Tästä syystä maalikarttaa täytyi laajentaa, jolloin sopivan sävyinen turkoosinvärinen maali löytyi metallinhohtoisena artikkelinumerolla 54400. (Motip Dupli B.V. 2012.)



Kuva 28. Pintamaalattu runko osittain kasattuna.

Tilojen puutteellisuuden vuoksi voitu kaikkia osia ei voitu maalata kerrallaan vaan ne maalattiin osissa. Akryylimaalit kuivuvat nopeasti, ja siksi työskentely maalattujen osien kanssa oli suhteellisen nopeaa.

### **Muiden rakenteiden pintamaalaus**

Laitteen kotelo maalattiin valkoiseksi CRC:n kiiltävän valkoisella Pro Paint -akryylimaalilla. Maali hankittiin Haapaveden ammattiopiston keskusvarastosta. (CRC Industries Europe bvba 2011.)

Ohjausyksikön tukirakenne, läpivientien kiinnityslevy ja rungon kevennysjousi maalattiin mattamustalla CRC:n spraymaalilla. (CRC Industries Europe bvba 2011.)

Piiloon tulevat rakenneosaset maalattiin sinisellä spraymaalilla. Näitä osia olivat rotametrin ja induktiivisen anturin kiinnikkeet, moottoripukin osat sekä kevennysjousen kiinnike. (CRC Industries Europe bvba 2011.)

#### 4 KÄYTTÖÖNOTTOSUUNNITELMA

Vaahdotuskenno otetaan käyttöön Torniossa Rikastustekniikan koulutuskeskuksen laboratoriossa 20.2.2015. Vaahdotuskenno tarvitsee pöytätilaa noin 120 cm x 80 cm sekä paineilmaliihtännän ja yksivaihepistorasialiihtännän. Laitteelle on varattu laboratoriosta sopiva tila, johon se asennetaan.

Vaahdotuskennon toiminta koeajetaan ja varmistetaan harjoitustyöllä. Koeajoon käytettävä harjoitustyö on talkin rikastus vuolukivestä. Koeajon yhteydessä tarkastetaan laitteen kierrosluvun näyttämän paikkansapitävyys. Samalla taajuusmuuttajan ja moottorin toiminta säädetään harjoitustehtäviä tukevaksi. Harjoitustyön suorittamisen jälkeen vaahdotuskenno luovutetaan Ammattiopisto Lappian Rikastustekniikan koulutuskeskukselle.



Kuva 29. Vaahdotuskenno valmiina luovutettavaksi.

## 5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen. Mielenkiintoa työhön lisäsi se, että pääsin käyttämään vastaavanlaista vaahdotuskennoa Rikastustekniikan koulutuskeskuksen laboratoriossa Torniossa kevättalvella 2014. Laitteen toiminta ja sillä tehtävä työ oli siten hyvin tiedossa.

Rikastustekniikan koulutuskeskuksen vaahdotuskennot on saatu lahjoituksena kaivosyhtiöiltä. Opinnäytetyön kohteena ollut vaahdotuskenno oli toimimaton. Sen tekniikka oli vanhanaikaista ja laitteen osat olivat suurimmaksi osaksi käytökelvottomia. Sovittiin, että vaahdotuskenno modernisoitaisiin tekniikaltaan nykyaikaiseksi.

Modernisointiin sovittiin käytännössä pääperiaatteet, joita tarkennettiin työn aikana. Muutoin modernisoinnin suorittamisessa oli vapaat kädet. Alussa sovittiin, että laite olisi kytkettävissä käytettävyyden vuoksi yksivaihepistorasiaan. Vaatimuksiin kuului myös rotametri, jolla ilmanvirtausta voitaisiin säätää. Laite muutettaisiin taajuusmuuttajakäyttöiseksi ja siihen lisättäisiin kiinteätoimiset hihnapyörät. Laitteen kierrosnopeutta tuli voida lukea ja säätää. Lisäksi laitteen vialliset ja rikkiäiset osat valmistettaisiin ja modifioitaisiin uudestaan uusia toimintoja vastaavaksi.

Työn tekeminen lähti liikkeelle laitteen purkamisella. Osien toimintaperiaatteet selvitettiin, jotta vastaavat toiminnot voitaisiin suunnitella ja valmistaa uudelleen.

Osien piirtäminen, suunnittelu ja valmistus veivät yllättävän paljon aikaa. Yksittäisistä osista kotelon valmistus vei ajallisesti yli kaksi viikkoa. Monista osista valmistettiin pahvinen malline, jolla voitiin varmistaa osan sopivuus ennen varsinaisen osan valmistamista.

Laitteen sähköisistä osista moottorin ja taajuusmuuttajan valinta veivät aikaa useita viikkoja. Moottorin haluttiin olevan teholtaan ja fyysiseltä kooltaan pieni.

Pienehkön yksivaiheoikosulkumoottorin valinta ei kuitenkaan ollut mahdollista pitkien toimitusaikojen vuoksi. Tämän vuoksi moottorin valinta oli käytännössä monen asian kompromissi, joihin vaikuttivat käyttöympäristö, teho vaatimukset sekä saatavuus. Taajuusmuuttajan valinta tehtiin laskemalla moottorin vaatima nimellisvirta.

Aikataulullisesti työ vei enemmän aikaa kuin siihen oli arvioitu menevän. Monen asian selvittämiseen kului aikaan huomattavasti enemmän kuin alun perin oli kaavailtu. Lisäksi työssä tuli jatkuvasti eteen pieniä muutosvaatimuksia toimintojen kannalta kriittisiin osiin, kuten kammen akseli ja moottoripukki. Moottoripukista valmistettiin peräti neljä versiota ennen kuin toimivin ja yksinkertaisin ratkaisu löydettiin.

Oppimiskokemuksena työ oli antoisa. Periaatteessa modernisointityö oli suoraviivainen. Käytännössä kuitenkin kaikki laitteeseen tehtävä työ tuli perustella ja todistaa oikeaksi. Hyvänä esimerkkinä oli moottorin valinta, jonka valinta tehtiin laskennallisesti. Työ toteutettiin kaikilta komponenttivalinnoiltaan käyttämällä standardikomponentteja.

Tässä työssä tuli käytännön kokemusta yksivaiheoikosulkumoottorin ja taajuusmuuttajakäytön toteuttamisesta pienen laitteen yhteydessä. Yleensäkin säädetävän moottorin toteuttaminen taajuusmuuttajakäyttöisenä on edullinen ratkaisu monenlaiseen sovellukseen.

Työn suorittamisen yhteydessä selvitettiin mahdollisuutta lisätä vaahdotuksen yhteyteen kaavintatoiminto. Kaavintatoiminto voitaisiin toteuttaa paineilmatoimimisena tai sähkömoottoritoimimisena. Myös kaavintaa alipainetoimintoisena mietittiin. Kaavintatoiminnon suunnittelu, valmistus ja käyttöönotto veisivät yhden opinnäytetyön verran aikaa, joten vaahdotuksen kaavintatoimintaa ei tämän työn yhteydessä toteutettu. Kaavinta voitaisiin toteuttaa mahdollisesti erillisenä opinnäytetyönä.

## LÄHTEET

ABB 2001. Tekninen opas nro 7 – Sähkökäytön mitoitus. Viitattu 5.1.2015.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11dafe92973be93c1256d2800415027/\\$file/tekninen\\_opasnro7.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11dafe92973be93c1256d2800415027/$file/tekninen_opasnro7.pdf)

ABB 2010. User Guide for ACS55. Viitattu 5.1.2015.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9ffc1fd4879ef179c1257754003ed04e/\\$file/acs55\\_ug\\_multilingual\\_c\\_screenres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9ffc1fd4879ef179c1257754003ed04e/$file/acs55_ug_multilingual_c_screenres.pdf)

ABB 2014. Catalog/October 2014. Viitattu 5.1.2015.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/17eb43a1fd55cb54c1257d86002ad5e0/\\$file/GPM%20acc.to%20EU%20MEPS%209AKK105789%20EN%2010-2014.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/17eb43a1fd55cb54c1257d86002ad5e0/$file/GPM%20acc.to%20EU%20MEPS%209AKK105789%20EN%2010-2014.pdf)

CRC Industries Europe bvba 2011. Pro Paint käyttöturvallisuustiedote. Viitattu 3.1.2015.  
<http://tuotteet.etra.fi/tuotekuvat/e16883192/>

Etra 2014a. Kiilahihnapyörä SPA/Taper Lock. Viitattu 4.1.2015.  
<http://tuotteet.etra.fi/fi/g14680870/kiilahihnapyora-spataper-lock>

Etra 2014b. Kartioholkki 1210. Viitattu 4.1.2015.  
<http://tuotteet.etra.fi/fi/g7996387/kartioholkki-1210>

Etra 2014c. Optibelt VB kiilahihna A/13. Viitattu 4.1.2015.  
<http://tuotteet.etra.fi/fi/g7996132/optibelt-vb-kiilahihna-a13>

Extrative Metallurgy 2008. Extraction Process For Pb and Zn from Galena (PbS) and Sphalerite (ZnS) Ores. Viitattu 4.1.2015.  
[http://extractivemetallurgy.blogspot.fi/2008\\_11\\_01\\_archive.html](http://extractivemetallurgy.blogspot.fi/2008_11_01_archive.html)

Hietalahti, S. 2015. Vaahdotus harjoitustyö. Email arto.jantti@jedu.fi 20.2.2015. Tulostettu 20.2.2015

Kytola Instruments 2014. Virtausmittari malli I. Viitattu 4.1.2015.  
<http://www.kytola.com/fi/tuotteet/virtausmittarit/rotametrit/malli-I>

Lukkarinen, T. 1987. Mineraalitekniikka Osa II Mineraalien rikastus. 1. painos. Helsinki: Insinööritieto Oy.

Motip Dupli B.V. 2012. Catalog No. 1 in Europe. Viitattu 3.1.2015.  
[http://www.motip.com/upload/files/MOTIP\\_120087\\_FIN.pdf](http://www.motip.com/upload/files/MOTIP_120087_FIN.pdf)

Omron 2013. H7ER. Viitattu 3.1.2015.  
[http://www.mouser.com/ds/2/307/h7e\\_-n\\_ds\\_e\\_9\\_1\\_csm119-253052.pdf](http://www.mouser.com/ds/2/307/h7e_-n_ds_e_9_1_csm119-253052.pdf)

Panasonic 2011. Panasonic GX-M8A-P data sheet. Viitattu 3.1.2015

<http://www.audin.fr/pdf/documentations/panasonic/capteurs-de-proximite-inductifs/GX-M.pdf>

Vaakkutech 2012. Kierretaulukko. Viitattu 4.1.2015.

<http://www.vaakkutech.net/kierretaulukko.html>