

Henri Halme

Nestejäähdytteisen taajuusmuuttajan jäähdytyspiirin tiiveystestauksen parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

24.5.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Henri Halme Nestejäähdytteisen taajuusmuuttajan jäähdytyspiirin tiiveystestauksen parantaminen 35 sivua 24.5.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Heikki Paavilainen Principal engineer Risto Laurila
<p>Insinöörityön tarkoituksena on parantaa nestejäähdytteisen taajuusmuuttajan jäähdytyspiirin tiiveystestausta. Työ tehtiin ABB:n Pitäjänmäen E-tehtaalla Drives-yksikölle.</p> <p>Työn aloitushetkellä tiiveystestaus ei ollut sillä tasolla, jolla sen pitäisi olla. Tiiveystestauksessa ei pystytty havaitsemaan tarpeeksi tehokkaasti jäähdytysjärjestelmässä ilmeneviä vuotoja. Tuotannon myöhemmässä vaiheessa vuodot aiheuttivat painetestissä ongelmia.</p> <p>Insinöörityön alussa kerrotaan yleisesti ABB Oy:stä ja sen toiminnasta Suomessa. Taajuusmuuttajat on rajattu nestejäähdytteisiin eli LC-tuotesarjaan, ja niiden toiminnasta kerrotaan yleisellä tasolla. Jäähdytyspiiri ja siihen kuuluvien komponenttien tarkoitus ja toiminta käydään läpi komponentti kerrallaan. Jäähdytyspiirissä käytettävistä liitosmalleista käydään läpi millaisia ne ovat rakenteeltaan, miten ne asennetaan ja minkälaisia ongelmia niiden kanssa on ollut.</p> <p>Tiiveystestausmenetelmiä on monia erilaisia, mutta taajuusmuuttajan rakenne ja sen komponentit luovat omat vaatimuksensa testille. Työssä tarkastellaan monia tiiveystestausmenetelmiä, mutta vain muutamalle sopivimmalle tavalle tehtiin testit.</p> <p>Valituille menetelmille tehdyt testit olivat informatiivisia ja ne antoivat kuvan siitä mikä näistä menetelmistä sopii juuri insinöörityön kohteena olevan tuotteen testaukseen. Tulokset esitetään vertailemalla menetelmiä ja pisteyttämällä ne.</p>	
Avainsanat	Taajuusmuuttaja, ABB, nestejäähdytteinen, tiiveystestaus.

Author Title	Henri Halme Developing Tightness Testing for Frequency Converter`s Cooling Circuit
Number of Pages Date	35 pages 24 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Heikki Paavilainen, Senior Lecturer Risto Laurila, Principal Engineer
<p>The objective of this Bachelor`s thesis is to improve the tightness testing of a frequency converter`s cooling circuit. This study was carried out at the Pitäjänmäki E-factory for ABB Drives.</p> <p>The standard of tightness testing was not effective enough when this work was started. In the cooling circuit`s tightness testing, it was not possible to detect leakages efficiently enough. At a later stage of production, the leaks caused problems in the pressure test.</p> <p>ABB Oy and its operations in Finland are presented at the beginning of this study. The frequency converters are limited to liquid cooled (LC series), and functions of converters are presented in general. The cooling circuit and the components of the cooling circuit have been presented one component at a time. This study shows all the coupling models in the cooling circuit; what kind of coupling models there are, how they are installed and what kind of problems they have.</p> <p>There are many different tightness testing methods, but the structure of the converter and its components create their own requirements for the test. Many methods of tightness testing are viewed in the study, but only a few of the most suitable methods were tested.</p> <p>The tests made for the chosen methods were found informative and gave an idea which of these methods is suitable for testing the particular product. The final results are presented by comparing and scoring the methods.</p>	
Keywords	Frequency converter, ABB, Liquid cooled, Tightness test

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn taustaa ja tavoitteet	1
1.2	ABB Suomessa	2
1.3	Työn rakenne	3
2	Nestejäähdytteinen taajuusmuuttaja	4
2.1	Suomen ja EU:n lainsäädäntöjen luomat rajat ja vaatimukset	4
2.2	Taajuusmuuttajien jäähdytysjärjestelmä	6
3	Tiiveystestaus	12
3.1	Yleistä tiiveystestauksesta	13
3.2	Vuotojen yleisimmät aiheuttajat	14
3.3	Tiiveystestaus ultraäänianturilla	16
3.4	Tiiveystestaus heliumilla	17
3.4.1	Alipainetestaus heliumilla	18
3.4.2	Ylipainetestaus heliumilla	20
3.5	Tiiveystestaus vedyllä	21
3.6	Tiiveystestaus savulla	22
4	Käytännön testit	23
4.1	Heliumtesti	23
4.1.1	Alipainetestti	26
4.1.2	Ylipainetestti	26
4.2	Ultraäänitesti	28
4.3	Vertailu ja tulokset	28
5	Yhteenveto	31
5.1	Projektin jatkaminen	32
5.2	Projektin arviointia	32
	Lähteet	33

Lyhenteet

ABB	Asea Brown Boveri.
DN	Nimellisuusputkistojärjestelmän kaikille osille. Yhteinen numeerinen esitystapa osien koolle, lukuun ottamatta osia, joista annetaan ulkohalkaisija tai kierrekoko.
HPD	High Power Drives on osasto, joka tekee korkeatehoisia taajuusmuuttajia.
LC	Liquid cooled eli nestejäähdytetty.
LCU	Liquid cooling unit eli nestejäähdytysyksikkö.
LPD	Low Power Drives on osasto, joka tekee matalatehoisia taajuusmuuttajia.
NPT	Normal pressure and temperature , normaalilämpötila ja –paine.
PED	Pressure Equipment Directive on EU:n direktiivi, johon nestejäähdytteen taajuusmuuntaja kuuluu.
Pmax	Maksimipaine.
ppm	Parts per million , 10 000 ppm on 1 %.
Ps	Käyttöpaine on paine, jota käytetään laitteen ollessa päällä.
V	Tilavuus.

1 Johdanto

1.1 Työn taustaa ja tavoitteet

Työn aiheena on nestejäähdytteisten taajuusmuuttajien jäähdytyspiirin tiiveystestauksen parantaminen. Työn tilaaja on ABB Drives-yksikkö. Tiiveystestaus on tärkeä testausvaihe, se tehdään ennen nesteellä tehtävää painekoetta. Tiiveystestauksella halutaan varmentaa jäähdytysjärjestelmän tiiveys, ennen kuin painekoe tehdään. Testaus on välttämätön, jos halutaan välttyä vahingoilta painekokeessa.

ABB valmistaa nestejäähdytyksellä varustettuja taajuusmuuttajia, nämä tuotteet kuuluvat LC-tuotesarjaan. Nestejäähdytystä käytetään taajuusmuuttajissa silloin, kun haetaan korkeaa IP-luokitusta. Korkeaa tiiveyttä eli IP-luokitusta vaativat kaapit tehdään nestejäähdytteiseksi, koska ilmajäähdytystä ei pysytä toteuttamaan yhtä helposti kuin nestejäähdytystä. Ilmajäähdytys vaatisi suuren ilmavirran kulkeutumista kaapin läpi, ja tämä ei ole helposti toteutettavissa korkeissa IP-luokissa. Nestejäähdytystä käytetään myös taajuusmuuttajissa, joissa tehot ovat suuret. Suuritehoisissa taajuusmuuttajissa häviöt ovat suuria ja nestejäähdytys antaa tehokkaan tavan siirtää lämpöä pois kaapin sisältä.

Tavoitteena työllä oli parantaa vanhaa tiiveystestausta tai kehittää parempi menetelmä vanhan tilalle. Tähän saakka tiiveystestaus on suoritettu paineistamalla jäähdytyspiiri paineilmalla. Paineistuksen jälkeen kuunneltiin, mistä kohtaa jäähdytyspiiriä paineilma vuotaa ulos. Testausmenetelmä ei ole ollut tarpeeksi tehokas, ja pienet vuodot pääsivät liian usein nesteellä tehtyihin painetesteihin asti. Painetestissä käytettävä neste on glykolipitoista jäähdytysnestettä. Tätä nestettä käytetään, koska painetesteistä jää nestejämiä järjestelmään. Normaalin veden jäämät saattavat aiheuttaa jälkeensä jäätymisvaurioita komponentteihin ja putkistoon, joita tämä neste ei aiheuta. Painetestauksessa vuodon sattuessa herkät sähkökomponentit kastuivat ja tekivät komponentit ja pahimmassa tapauksessa koko vuotavan kaapin likaiseksi. Tämä ei ollut vahingollista vain taajuusmuuttajalle vaan myös painetestin tekijä oli vaarassa saada painesuihkusta. Uuden menetelmän pitäisi olla tarpeeksi tehokas havaitsemaan pienetkin vuodot, jotta ne havaittaisiin ennen nesteellä tehtävää painestestiä.

Työstä hankalan tekivät jäähdytysjärjestelmän suuri koko sekä taajuusmuuttajan sisällä olevat herkät sähkökomponentit. Huomioon piti ottaa myös, että jäähdytysjärjestelmään

ei saa jäädä testauksesta sellaisia jälkiä, joista voisi olla haittaa myöhemmin taajuusmuuntajan käytössä. Työssä piti ottaa huomioon Suomen ja EU:n lainsäädäntö ja noudattaa niiden asettamia vaatimuksia tämän tyyppiselle painelaitteelle.

Vain tehokkaimmissa ja korkeaa IP-luokkaa vaativissa taajuusmuuttajissa käytetään vesijäähdytystä. ABB:n nestejäähdytteiset taajuusmuuttajat kuuluvat LC-tuotesarjaan, ja tästä syystä työssä käsitellään vain tämän tuotesarjan taajuusmuuttajia.

1.2 ABB Suomessa

Asea Brown Boveri eli ABB on ruotsalais-sveitsiläinen teknologiayhtymä. Yrityksen päätoimialoina toimivat sähkövoimatekniikka ja automaatiotekniikka. ABB syntyi 1988, kun ruotsalainen ASEA (Allmänna Svenska Elektriska AB) ja sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät. Pääkonttori sijaitsee Sveitsissä ja pääjohtajana toimii Ulrich Spiesshofer. ABB on pörssi-yhtiö, ja se on listattuna Sveitsin, Tukholman ja New Yorkin pörssiin. Tällä hetkellä ABB työllistää yli 135 000 henkilöä ympäri maailmaa ja toimintaa on yli 100 eri maassa. [2.]

Suomessa ABB työllistää yli 5 000 henkilöä yli 20 paikkakunnalla. Suurimmat tehtaat sijaitsevat Helsingissä, Porvoossa, Haminassa ja Vaasassa. Helsingin Pitäjänmäellä tehdään taajuusmuuttajia, moottoreita ja generaattoreita sekä tarjotaan linjakäyttöraatkaisuja, energiahallintaratkaisuja, sähköistysjärjestelmiä ja kunnossapito-palveluita. Helsingin Vuosaarella tehdään meriteollisuuden sähköistys- ja automaatiotratkaisuja sekä ruoripotkurijärjestelmiä, joiden tavaramerkkinä on Azipod. Vaasassa valmistetaan kytkintuotteita, releitä, erikoismuuntajia, moottoreita, sähköverkon ohjausta, sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmiä, energiahallinta- ja instrumentointiratkaisuja sekä tehdastietojärjestelmiä. Porvoossa tehdään sähköasennustuotteita. [3.]

Pääkaupunkiseudulla ABB on suurin teollinen työllistäjä ja koko Suomen mittapuulla suurimpia työllistäjiä. Sen liikevaihto Suomessa oli 2 273 miljoonaa euroa vuonna 2017. Tutkimukseen ja kehitykseen käytettiin 131 miljoonaa euroa vuonna 2017. [11.]

1.3 Työn rakenne

Insinööri työ koostuu seuraavista osista.

2. luvussa kerrotaan yleisesti nestejäähdytteisistä taajuusmuuttajista. Taajuusmuuttajat on rajattu LC-tuotesarjan taajuusmuuttajiin. Luvussa käsitellään myös jäähdytysjärjestelmää, miten se toimii, millaisia osia järjestelmään kuuluu ja mikä vaikuttaa jäähdytysjärjestelmän tehokkuuteen positiivisesti ja mikä negatiivisesti. Lopussa on käsitelty EU:n ja Suomen lakien rajoituksia ja miten ne vaikuttavat jäähdytysjärjestelmän suunnitteluun ja testaukseen.

3. luvussa käsitellään tiiveystestausta. Kerrotaan yleisesti millainen prosessi tiiveystestaus on ja millaisia rajoja taajuusmuuntaja ja tehdasolosuhteet luovat testille. Luvussa on myös esitelty kaikki ideat, joita mietittiin tiiveystestausongelman ratkaisemiseksi. Tässä yhteydessä perustellaan, miksi kyseistä menetelmää on mietitty ratkaisuksi. Selitetään myös miksi menetelmä ei ole ollut soveltuva juuri tähän tiiveystestaukseen tai miksi se on soveltuva tämän työn ongelman ratkaisuksi. Ratkaisumenetelmiä on luvussa yhteensä 5, ja kaikki ovat toisistaan poikkeavia.

4. luvussa käsitellään testejä. Testejä tehtiin 3 eri tiiveyden varmistamisen tavalle. Eri vaihtoehtoja tiiveystestauksen parantamiseksi oli monia. Testejä ei kumminkaan tehty kaikille parannusehdotuksille, vaan vain niille, jotka todettiin vertailussa muita vaihtoehtoja paremmiksi. Testausluvussa kerrotaan, miten testit erosivat toisistaan ja mikä vaihtoehdosta valittiin parhaaksi vaihtoehdoksi.

5. luvussa tiivistetään työn lopputulos ja kerrotaan kehitysmahdollisuuksista. Lopussa kerrotaan tekijän mietteitä työstä ja sen kulusta, sekä ajatuksia siitä mitä voisi vielä testata tai parantaa tulevaisuudessa niin että jatkuva parantaminen toteutuisi.

2 Nestejäähdytteinen taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajien tarkoituksena on ohjata moottoria tai generaattoria prosessin vaatimalla tavalla. Ne kytketään sähköverkon ja ohjattavan moottorin väliin. Taajuusmuuttajasta tulee osa moottorin käyttöä ja se vastaa moottorin ohjauksesta. Tärkein taajuusmuuttajan tehtävä on sovittaa pyörimisnopeus ja momentti prosessin vaatimalle tasolle. Teollisuudessa pyörivät prosessit eivät aina ole samaa nopeutta tai momenttia vaativia, vaan usein niissä pitää moottorin vaihtaa momenttia ja pyörimisnopeuttaan prosessin eri osa-alueilla.

Suurin syy taajuusmuuttajien käyttöön on niiden mahdollinen uudelleen ohjelmointi, portaaton kierrosnopeudenvaihto ja energiansäästö. Portaattomasti kierrosnopeutta muutetaan vaihtamalla moottorille syötettävää taajuutta. Jos taajuusmuuttajaa ei käytetä moottorinohjauksessa, kierrosnopeuden vaihtoon on käytettävä esimerkiksi vaihteistoja, tällöin kierrosnopeuden säätö ei ole portaatonta ja energiatehokkuus kärsii. Energiatehokkuus on teollisuuden alalla noussut tärkeäksi osaksi monen yrityksen tavoitteita. Tämä johtuu lisääntyvästä vihreästä ajattelutavasta ja kiristyvästä kilpailusta, jolloin pienetkin laitteiden energiasäästöt ja hyötysuhteet tuotetta käytettäessä tulevat tarpeeseen, kun kilpaillaan muita taajuusmuuttajia valmistavien yritysten kanssa.

Suomessa ABB valmistaa taajuusmuuttajia Pitäjänmäen E-tehtaalla. Tämä nykyinen ABB:n valmistama taajuusmuuttajatuoteperhe kulkee nimellä ACS880, aikaisempi tuote oli nimeltään ACS800. Nestejäähdytteinen taajuusmuuttaja kulkee nimellä ACS880 LC. Lyhenne LC tulee englannin kielen sanoista Liquid cooled.

2.1 Suomen ja EU:n lainsäädäntöjen luomat rajat ja vaatimukset

Nestejäähdytteisten taajuusmuuttajien on noudatettava Suomen ja EU:n lainsäädäntöä. Laite on PED direktiivin alainen, koska sen jäähdytysjärjestelmässä käyttämä paine on yli 0,5 baria. [22];[23.]

Työssä käsiteltävä ABB:n valmistama nestejäähdytteinen taajuusmuuttaja lajitellaan PEDin mukaan kategoriaan 0. Kattegoria 0 tarkoittaa, että laite on valmistettu hyvän konepajataavan mukaisesti. Kattegoria ei anna laitteelle EU:n käyttämää CE-merkintää. [22];[23.]

PEDin vaatimat kriteerit kategoriaan 0:

- Järjestelmässä käytettävä neste ei saa olla vaaralliseksi luokiteltu
- Putkikoko saa olla maksimissaan DN200
- Testipaine pitää olla vähintään 1,3-kertainen verrattuna maksimi käyttöpaineseen

Kuvasta 1 voimme nähdä vaatimuksia, joita PED vaatii, jotta laite on hyvän konepajataivan mukainen. Laitteen jäähdytysjärjestelmän tilavuus saa siis olla 1 600 litraa, jos maksimi käyttöpaineline on alle 6 baria. [22];[23.]

Compliance with the Pressure Equipment Directive (PED)

The cooling unit has been designed, and it is manufactured in accordance with the Sound Engineering Practices (SEP) defined in the European Pressure Equipment Directive (PED). The SEP category equipment cannot be CE marked under the PED.

For the SEP, the customer-defined external cooling circuit must meet these criteria:

- max. pressure is PS 10 bar
- max. volume is 1000 l
- pipe diameter smaller than DN200.

For the SEP, the internal cooling circuit must meet these criteria:

- pressure max. PS 6 bar
- volume max. 1600 l.

The internal cooling circuit meets the SEP criteria as when the cooling unit is attached to the drive cabinet: The ABB Drives design meets the criteria above as standard. For a stand-alone unit with a customer-defined internal cooling circuit, the customer must make sure that the criteria will be met.

Kuva 1 Leikattu asiakkaalle olevasta LCU-käyttöohjeesta, joka kertoo jäähdytysjärjestelmän rajoituksista eräässä tapauksessa.

2.2 Taajuusmuuttajien jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytysjärjestelmän tarkoitus on estää taajuusmuuntajan ylikuumeneminen. Järjestelmässä käytetään nestettä, jota pumppu kierrättää taajuusmuuntajan komponenttien läpi, pitäen lämpenevät komponentit mahdollisimman viileinä.

Nestejäähdytysyksikkö eli LCU on suurin ja tärkein osa jäähdytysjärjestelmää. Se sijoitetaan normaalitilanteessa taajuusmuuttajakaapin päähän. Pumpulta lähtee kaksi putkea ulospäin, toinen niistä pumppaa viileää nestettä järjestelmään ja toinen palauttaa kaapista tulevaa lämmennyttä nestettä takaisin pumpulle, jolloin jäähdytinnesteen tekemä kierros on päättynyt. LCU-kaapissa on lämmönvaihdin, joka erottaa asiakkaan ja taajuusmuuttajan nestekierron toisistaan. Taajuusmuuttajan oma nestejäähdytyspiiri pidetään erillään asiakkaan jäähdytysjärjestelmästä, koska siellä saattaa kulkea eri jäähdytin nestettä. Tällöin vältetään korroosiovaaroilta. Taajuusmuuttajan painerajat saattavat myös erota asiakkaan jäähdytyspiirin rajoista. LCU-kaapissa on myös paisunta-astia, joka pitää järjestelmässä paineen tasaisena, sellaisissa tilanteissa, joissa se muuten muuttuisi. Esimerkiksi jos jäähdytinjärjestelmä sammutetaan ja neste palautuu normaaliin lämpötilaan, se laajenee ja paisunta-astia vastaanottaa paisunnan. Järjestelmän jäähtyessä nesteen tilavuus laskee ja paisunta-astia palauttaa nestettä järjestelmään, ylläpitäen järjestelmän paineen.

Itse taajuusmuuntajassa on kaksi pääputkea, joissa neste virtaa eri suuntiin. Putket on tehty alumiinista. Alumiini on valittu materiaaliksi sen hyvän korroosionkestävyyden, helpon muokattavuuden ja kevyen rakenteen takia. Pääputket tilataan jokaiseen kuljetuspiirityteen erikseen piirustusten mukaan, jolloin saadaan putkiin tehtävien reikien jako kohdalleen. Reikiin tehdään kierteet ja laitetaan karatyypiset nipat. Nipoilta haaroitetaan järjestelmä kulkemaan jakotukkien kautta jäähdytettävien komponenttien luo. Jäähdytettäviä komponenttia ovat esimerkiksi invertterit ja tasasuunninyksiköt, kuristimet ja erilaiset lauhduttimet.



Kuva 2 Kaksi pääputkea ja niistä haarautuvat liitokset.

Neste siirretään pääputkilta PA-putkia eli muoviputkia pitkin jakotukkipaketille, johon on liitetty sulkuventtiili. Muoviputket on valmistettu muovista, jonka kitkakerroin on mahdollisimman pieni, jotta se ei vaikuta negatiivisesti virtaukseen. Putket on tehty materiaalista, jota on helppo muokata lämmittämällä putkea kuumailmapuhaltimella, minkä jälkeen sitä voi taivuttaa haluttuun muotoon. Jakotukki on tehty muutamasta eri osasta, siinä on alumiinista suunniteltu nesteen jako-osa, jossa on yleensä 4 kierteillä varustettua reikää. Yhteen aukoista on kierretty sulkuventtiili, josta neste virtaa jakotukkiin. Muihin jakotukin reikiin laitetaan liittimet, joista päästään haaroittamaan neste eri komponenteille. Komponentteja saattaa olla vain yksi, jolloin ylimääräisiin reikiin asennetaan tulpat, josta neste ei pääse läpi. Kuvasta 3 voi nähdä millainen jakotukki on.

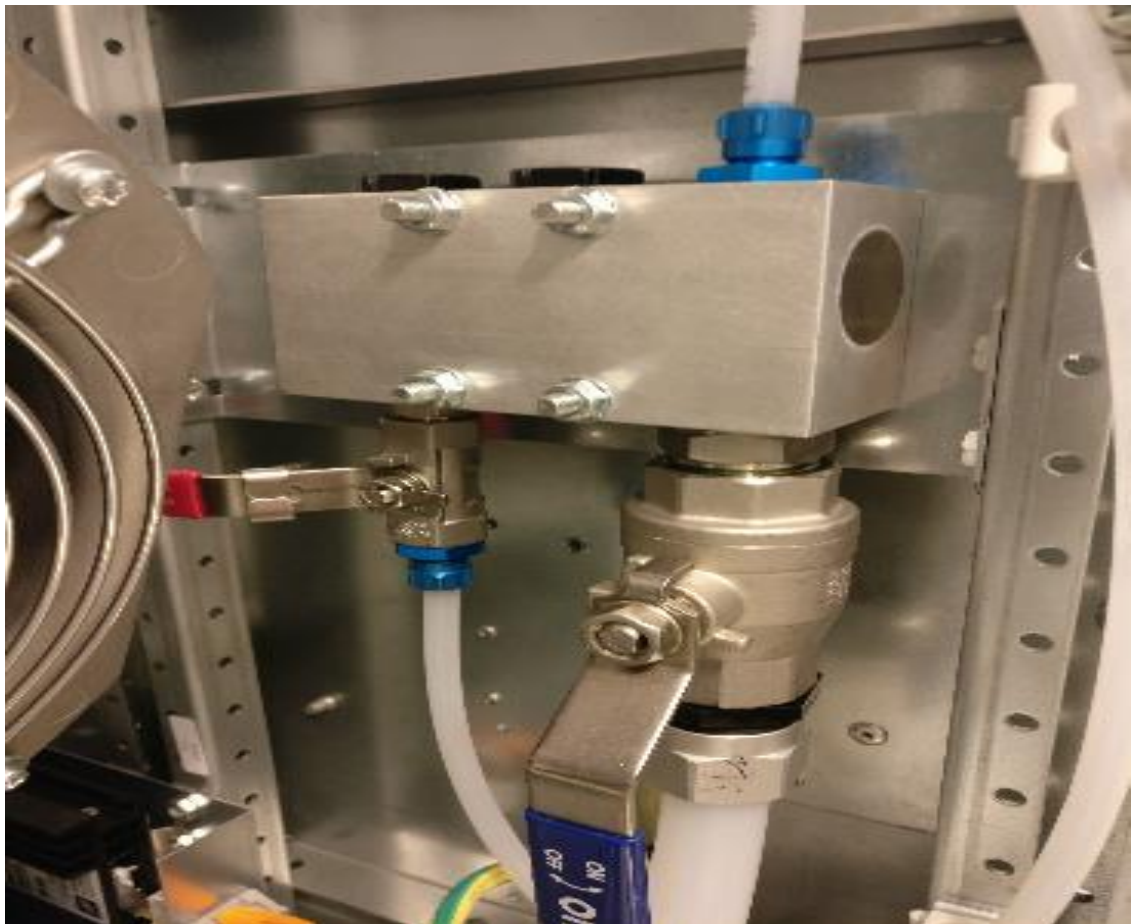


Kuva 3 Jakotukki johon liitetty 3 kpl pistoliittimiä ja yksi sulkuventtiili, joka tulee pääputkelta, ja toinen pienempi sulkuventtiili poistoletkua varten.

Jakotukilta voidaan haaroittaa neste muoviputkella inverttereille, niihin laitetaan niin sanotut pistoliittimet. Pistoliittimissä on leuat, jotka lukittavat putken paikoilleen. Leukojen takana on o-rengas, joka tiivistää liitoksen. Pistoliittimet on helppo asentaa ja muoviputket on helppo poistaa invertterin vaihdon aikana. Pistoliittimet on valittu kenttiin, koska inverttereitä joudutaan vaihtamaan kenttäolosuhteissa ja huoltotoimenpide on tällöin paljon nopeampi toteuttaa. Pistoliittimien etuna on myös, että liittimet eivät muokkaa muoviputkea, toisin kuin karatyypiset liittimet, jolloin sama putki voidaan asentaa laitteeseen takaisin huoltotoimien jälkeen. Ero pistoliittimien ja pikaliittimien välillä on, että pistoliittimet eivät sulkeudu, kun liitoksesta ottaa putken pois, vaan ne jäävät avonaiseksi, jolloin neste pääsee valumaan pois vapaasti. Invertteri-moduuleita on ABB:n valmistamissa taajuusmuuntajissa maksimissaan 3 vierekkäin per kaappi ja kaappeja voi olla linjakäytöjen kuljetuspituuksissa todella monta, riippuen ohjattavien moottoreiden määrästä. Inverttereissä on aina 2 liittintä, sisään- ja ulostuloliitin. Ulostuloliittimen kautta neste ohjataan takaisin toiselle jakotukille, joka ohjaa taajuusmuuttajan lämmenneen jäähdytysnesteen pääputkelle, josta se virtaa LCU-kaappiin. LCU-kaapissa lämmin jäähdytysneste siirtää lämpöä lämmönvaihtimen kautta asiakkaan jäähdytysnestejärjestelmään.

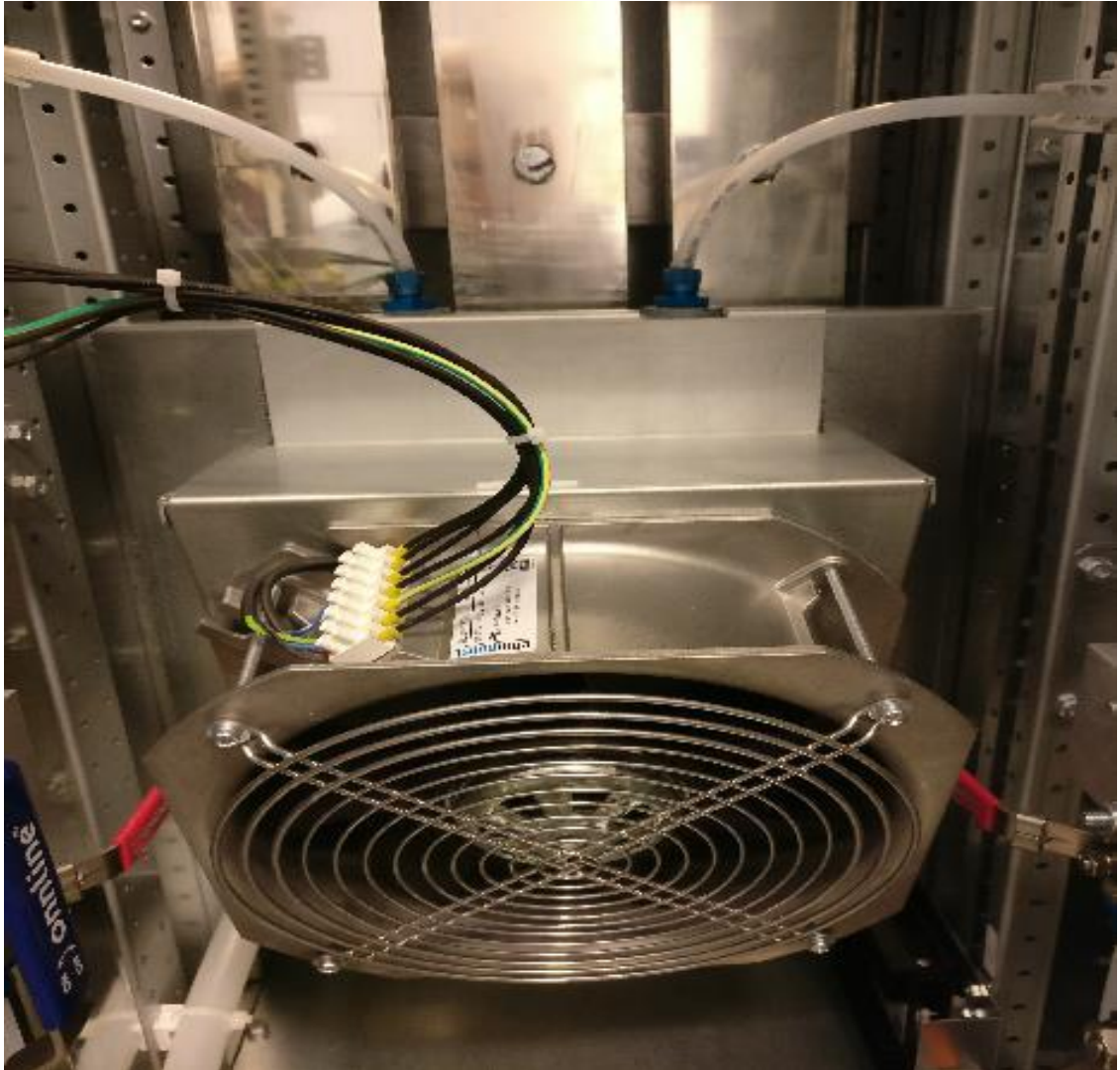
Jakotukilta järjestelmä voi myös haarautua kaappiin, joka sisältää kuristimia, jotka ovat myös nestejäähdytteisiä. Näissä käytetään karatyypisiä liittimiä. Kuristimien jäähdytysputket kiertävät kuristimien läpi ja palaavat sen jälkeen pääputkeen, joka palauttaa nesteen kiertoon. Kuristimia saattaa olla yhdessä kaapissa maksimissaan 3, ja niiden tiiveys on testattu jo kuristimien valmistajalla.

Kolmas komponentti johon jakotukilta voidaan nestekierto viedä, on lauhduttimet. Lauhduttimien tarkoituksena on jäähdyttää kaapissa olevaa ilmaa ja siirtää lämpöä pois jäähdytysnesteen mukana. Lauhduttimien läpi kierrätetään nestettä ja samalla sen päälle tai alle on asennettu puhallin, riippuen tuotteen suunnittelusta. Puhallin saa ilmvirran kulkemaan lauhduttimen läpi, jolloin ilma viilenee kaapin sisällä ja jäähdytysneste vie siirtää lämpöä pois. Lauhduttimet on yleensä sijoitettu alaosaan kaappia. Lauhduttimien tehoa pystytään säätämään vaihtamalla nesteen virtausnopeutta tai säätämällä puhaltimien pyörimisnopeutta tarpeen mukaan. Kuvista 4 ja 5 voi nähdä, millainen liitännä lauhduttimiin laitetaan ja millainen jakotukki on.



Kuva 4 Jakotukki lauhduttimelle.

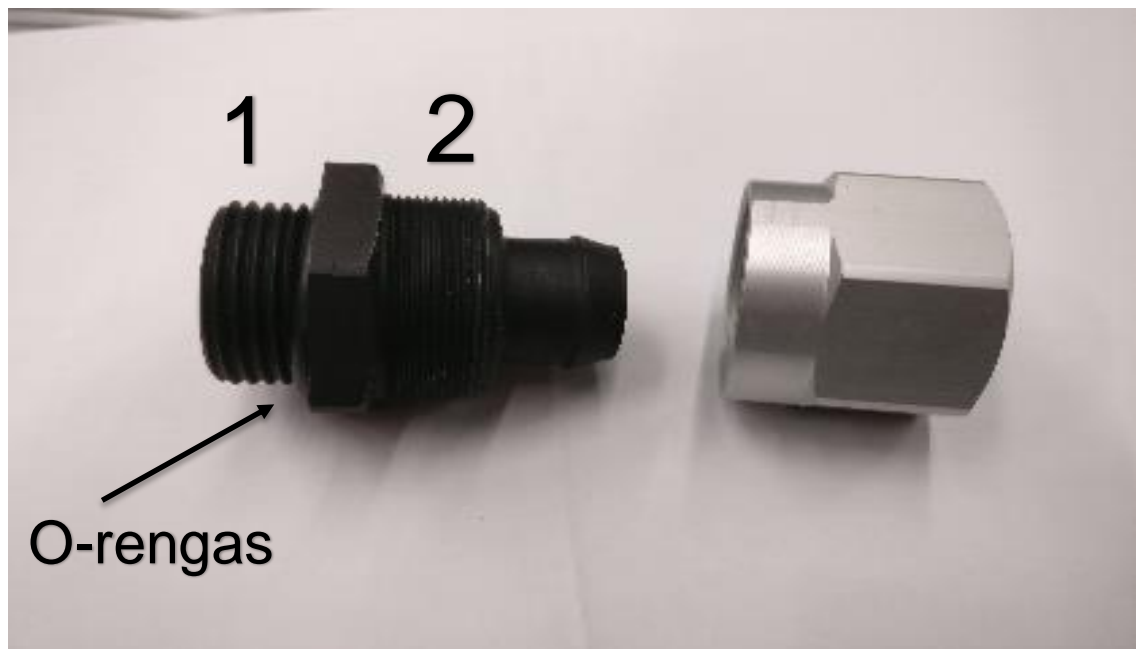
Kuvassa 5 on puhallin ja sen takana lauhdutin. Lauhduttimelle kulkee kaksi nesteputkea, joista toinen kuljettaa nestettä lauhduttimeen ja toinen taas vastaavasti pois lauhduttimelta.



Kuva 5 Puhallin ja lauhdutin (lauhdutin puhaltimen takana).

Seuraavaksi menemme liittimiin, joita käytetään jäähdytysjärjestelmässä. Liittimiä esitellään 3 erilaista, ja ne ovat yleisimmät käytössä olevat liitinmallit. Liitinmallit on nähtävissä kuvassa 7. Liittimissä on aina kaksi puolta, toiseen puolista laitetaan aina PA-putki ja toinen kiinnitetään valittuun komponenttiin, esimerkiksi inverterimoduuliin, pääputkeen, jakotukkiin tai lauhduttimeen.

Kuvassa 6 on merkittynä numerolla 1 liitospuoli, joka kiinnitetään aina komponenttiin. Näissä liitoksissa on kierre sekä tiiviste, tiivistemalleja on erilaisia eri liitoksissa. Kierteeseen laitetaan tällä hetkellä aina liimaa. Liimalla varmistetaan liitoksen pitävyys. Tiivisteitä on kahta erilaista, o-rengas (merkitty kuvaan 6) ja integroitu tiivistemalli (kuvassa 7 merkattu numerolla 1, harmaa tiiviste). O-rengas rasvataan kevyesti ennen liitoksen tekemistä, rasvaus estää kitkan muodostumisen renkaan pinnalle. Jos rasvan unohtaa voi o-rengas katketa liian suuren kitkan takia. Harmaa tiiviste on integroitu tiiviste, jossa on kaksi osaa (kuva 7). Harmaan osan tarkoituksena on ottaa vastaan kiristysmomentin aiheuttama kiritysvoima. Harmaa osa näkyy tiivisteen ulkoreunassa. Tiivisteessä oleva toinen osa on elastomeeri, joka sijaitsee harmaan osan sisällä, sen tarkoituksena on liitoksen varsinainen tiivistys.

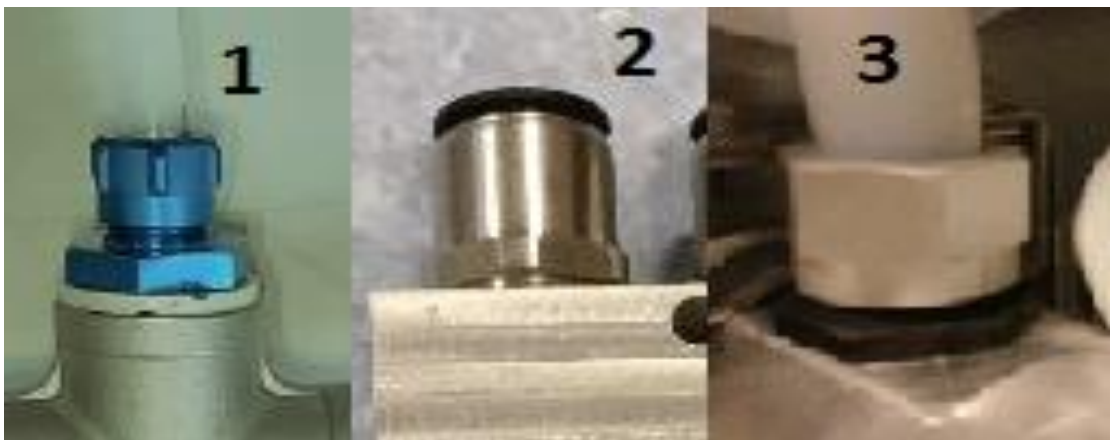


Kuva 6 Karatyypin nippa, joka asennetaan pääputkeen.

Toinen puoli liittimissä on tarkoitettu liitettäväksi putkiin (tämä puoli kuvassa 6 merkitty numerolla 2). Näitä liitoksia on kahden mallisia, toinen malleista on karamalli ja toinen taas pistoliitinmalli.

Karamallin liitoksessa muoviputki lämmitetään ja painetaan karan yli. Kun putki on karan takana liittimen pohjalla, liitos vielä kiristetään ja tiivistetään kiertämällä liittimen hattu kierteelle, niin että putki jää hatun ja karan väliin puristukseen. Kuvassa 7 numerolla 1 ja 3 on merkitty kaksi erilaista karamallin liitosta.

Pistoliittimen toiminta perustuu sen sisällä oleviin leukoihin ja leukojen takana olevaan o-renkaaseen. Pistoliitin on kuvassa 7 merkitty numerolla 2. Leukojen tarkoituksena on lukita putki liittimeen, niin että se ei lähde käytössä irti. Paineen kasvaessa putki puristuu enemmän leukoja vasten ja kiristää liitosta. Leukojen takana oleva o-rengas tekee liitoksesta tiiviin. Tätä liitinmallia käytetään komponenteissa, joita saatetaan joutua vaihtamaan laitteen huollon aikana, esimerkiksi invertteri-moduuli. Liitoksen etuna on sen nopea asentaminen ja huoltotöissä putken saa nopeasti irti.



Kuva 7, 1. Pieni karatyypinen nippa, 2. Pistoliitin, 3. Suuri karatyypinen nippa.

O-renkaita käytetään tiivisteinä kuvan 7 numerolla 2 ja 3 merkityissä liittimissä. Integroitu tiivistemalli on kuvassa 7 numerolla 1. Keskellä kuvassa on pistoliitin.

3 Tiiveystestaus

Tässä luvussa käsitellään yleisesti eri tiiveystestausmenetelmiä teoriatasolla. Itse käytännössä tehdyt testit ovat luvussa 4. Tässä luvussa on 5 eri tiiveystestausmenetelmää, joita mietittiin ratkaisuksi tiiveystestauksen parantamiseksi.

3.1 Yleistä tiiveystestauksesta

Tiiveystestauksen tarkoituksena on varmistaa jäähdytysjärjestelmään kuuluvien liitosten ja komponenttien tiiveys. Tällä hetkellä tuotannossa tapahtuva tiiveystestausmenetelmä ei ole tarpeeksi tehokas havaitsemaan kaikkia vuotoja. Se on tehty tuotannossa ilmalla paineistamalla järjestelmä maksimissaan 6 barin paineella. Testaus on pystytty tekemään koko kuljetuspituus kerrallaan tai vaihtoehtoisesti sulkuventtiilejä sulkemalla on pystytty rajaamaan aluetta ja kyetty testaamaan pienempiä alueita kerrallaan. Järjestelmä on paineistettu täyttämällä se poistoletkun kautta, joka on kiinni jakotukissa. Kun järjestelmä on paineistettu, kuunnellaan kuuluuko mahdollisista vuodoista vuotavan ilman aiheuttamaa ääntä eli suhinaa. Kuuntelu suoritetaan paljaalla korvalla ja mahdollisesti kokeillaan kädellä, jos paineilma mahdollisesti tuntuisi käden pinnalla. Koskettaessa vuotokohtaa järjestelmästä pakenevan ilman pitäisi pystyä tuntemaan käden selkäpuolella olevalla herkällä iholla tai käyttämällä ponnekaasupullossa olevaa vuodonetsintänestettä, joka kuplii vuotokohdassa.

Eri kaasuseoksia käyttämällä saadaan erilaisia ominaisuuksia. Jotkin kaasut ovat helppoja tunnistaa, mutta niiden molekyylien koko ei ole tarpeeksi pieni, jota ne pääsisivät tunkeutumaan ulos pienimmistä vuotokohdista. Käytettävän kaasun pitäisi olla turvallinen, syttymätön, syövyttämätön ja ympäristöystävällinen. Tiheys ja molekyylikoko ovat tärkeitä ominaisuuksia kaasuille, ne kertovat pitkälle sen kuinka pienestä raosta kyseinen kaasu pystyy tunkeutumaan läpi. Taulukossa 1 näkyy eri kaasujen tiheyksiä. Tiheydet on otettu alkuainetaulukosta, jossa aineet ovat puhtaita ja NTP:ssä. Joidenkin kaasun tuottajien antamat tiheystiedot kaasuista saattavat poiketa tämän taulukon lukemista. He ovat mitanneet sen omasta tuotteestaan ja siinä saattaa olla epäpuhtauksia tai jotain muuta seosta mukana, jolloin tiheys on eri.

Taulukko 1 Aineiden tiheydet kaasujen NTP:ssä. [1.]

Aine	Lyhenne	Tiheys (kg/m ³)	Kiehumispiste (C)	Sulamispiste (C)
Vety	H	0,09	-253	-259
Helium	He	0,18	-269	-272
Typpi	N	1,25	-196	-210
Ilma		1,29	-	-
Vesi	H ₂ O	998,00	100	0
Antifrogen L		1043,00	155	-58

Monissa menetelmissä on mahdollista tunnistaa jopa vuodon suuruus. Vuodon suuruudella ei tiiveystestauksessa ei ole niin suurta merkitystä, koska jokainen vuoto on korjattava niin tiiviiksi, että ainakaan järjestelmässä käytettävä jäähdytinneste ei pääse tunkeutumaan ulos raoista. Menetelmän valintaan vaikuttaa, kuinka tehokkaasti vuodot pystytään tunnistamaan ja paikantamaan, sekä kuinka turvallinen se on käyttäjälle ja taajuusmuuntajalaitteelle, laitteen koko elinkaaren ajalla mitattuna.

Ongelmana vanhassa tiiveystestauksessa ovat olleet pienten vuotojen tunnistaminen, joita ihminen ei pysty kuulemaan paljaalla korvalla. Liian usein jäähdytysjärjestelmään on jäänyt pieniä vuotoja, jotka on huomattu vasta kun ollaan tekemässä painetestiä nesteellä. Nämä vuodot olisi tarkoitus saada tunnistettua jo kaasulla tehtävässä tiiveystestauksessa.

3.2 Vuotojen yleisimmät aiheuttajat

Vuotoja tulee tällä hetkellä liian usein, ja jokainen vuoto on liikaa. Kun järjestelmä on tarpeeksi suuri ja liitoskohtia on useita, korostuu tiiveystestauksen tehokkuus ja sitä pitäisi pystyä kehittämään samaa tahtia kuin itse taajuusmuuttajaa. Vuotojen pois saamiseen tuotantovaiheessa on tiedettävä syyt, jotka vuotoja aiheuttavat ja miksi.

Useimmat vuodot aiheutuvat asennusvirheistä. Virheiksi luokitellaan vinoon leikatut putkenpäät, se että liitos on jätetty liian löysälle tai liitos on kiristetty liian tiukaksi, jolloin tiiviste on mennyt rikki, sekä asennusvaiheessa aiheutuneet kolhut, joista komponentit tai putket ovat vaurioituneet. Vuotoja aiheuttavat myös epäpuhtaudet. Epäpuhtauksia ovat liitoksien väliin jääneet kaikki ulkopuoliset partikkelit, joita ei ole sinne suunniteltu.

Vuotojen välttämiseksi asentajalta vaaditaan täsmällisyyttä ja kärsivällisyyttä tehdä työ kerralla kunnolla. Asentajan on tarkastettava ennen työn aloittamista työkalujen kunto. Esimerkiksi putkileikkurien on oltava terävät, sillä jos ne eivät ole, putki ei leikkaannu puhtaasti, vaan se painaa putken kasaan ja leikkaa putkelle vinon pään. Tällä tavalla järjestelmään liitetään viallinen putki, jolloin mahdollisuus että järjestelmä vuotaa on olemassa. Asentajan on myös huomioitava putken kunto. Putkiin on saattanut tulla viiltoja tai epämuodostumia kuljetuksen tai valmistuksen aikana, jolloin putken kestävyys ei ole sillä tasolla, jolla sen pitäisi olla. Putken kunto tarkastetaan silmämääräisesti ja asennetaan vasta se jälkeen kiinni jäähdytysjärjestelmään.

Putkien sisä- ja ulkohalkaisijoissa on eroja, nämä koon vaihtelut aiheuttavat vuotoja yleensä vasta tuotteen myöhemmässä käyttövaiheessa, kun järjestelmä on joutunut rasiin. Jos putkien koossa on suuria vaihteluja, ne eivät välttämättä vuoda vielä tehtaalla tehtävässä tiiveystestauksessa tai painetestissä. Vuodot aiheutuvat vasta asiakkaalla, kun putki on lämpötilan vaihtelun vuoksi joutunut laajenemaan ja kutistumaan useaan kertaan. Karaliitin on arka venymiselle ja pistoliitin taas kutistumiselle. Parannuskeino tällaisen ongelman korjaamiseksi olisi parempi laadunvalvonta. Putkien toimittajien pitäisi pystyä tekemään parempaa laadunvalvontaa omasta tuotteestaan tai vastavuoroisesti ABB:llä pitäisi pystyä mittaamaan asennettavien putkien koot, jotta sinne ei asennettaisi toleranssien ulkopuolisia putkikokoja, jotka aiheuttavat vuotoja jälkepäin.

Pistoliittimet noudattavat standardia ISO 14743 ja putket standardia DIN 74324-1. Näiden standardien toleransseissa on eroja, jotka mahdollistavat vuotojen aiheutumisen liitoskohtiin.

Taulukoista 2 ja 3 voidaan nähdä, että pistoliittimien noudattaman standardin toleranssit ovat liitettävien putkien halkaisijoille tiukemmat, kuin itse putkien noudattaman standardin toleranssit. Tämän vuoksi liittimiin asennetaan putkia, jotka eivät ole aina liittimien vaatiman putkikoon mukaisia.

Taulukko 2 Standardi ISO 14743, putkientoleranssit

Table A.1 — Dimensions and tolerances for polyamide tubes for testing

Dimensions in millimetres

Tube outside diameter <i>D</i>		Wall thickness <i>e</i>		Tube inside diameter <i>d</i>	Minimum bending radius at 23 °C ^a
nom.	tol.	nom.	tol.	ref.	
3	± 0,08	0,6	± 0,08	1,8	15
4	± 0,08	0,75	± 0,08	2,5	20
6	± 0,08	1	± 0,08	4	35
8	± 0,08	1	± 0,08	6	55
10	± 0,08	1,25	± 0,08	7,5	75
12	± 0,1	1,5	± 0,08	9	75

NOTE Ovality is included in general tolerances.

^a The method of determining the bending radius shall be in accordance with ISO 1746.

Taulukko 3 Standardi DIN 74324-1, putkien toleranssit

Table 1: Dimensions

Nominal size	d_1		d_2		Minimum thickness, s	Suitable for connectors for type W ports to DIN 3861	Suitable for fittings with insert profile ²⁾	Minimum bending radius, r ¹⁾
		Limit deviations		Limit deviations				
4 × 1	4	± 0,1	2	± 0,1	0,90	×	–	20
6 × 1	6		4			×	×	30
8 × 1	8		6			×	×	40
9 × 1,5	9	± 0,15	6		1,35	–	×	45
10 × 1	10	± 0,1	8		0,90	×	×	60
10 × 1,25	10	± 0,12	7,5		1,12	×	×	60
11 × 1,5	11	± 0,15	8		1,35	–	×	60
12 × 1,5	12		9	×	×	60		
14 × 2	14		10	± 0,15	1,80	×	×	75
15 × 1,5	15		12	± 0,1	1,35	×	×	90
16 × 2	16		12	± 0,15	1,80	×	×	95
18 × 2	18	14	×			–	100	

The sizes printed in bold type are to be given preference.
¹⁾ Based on a 180° bend, at (23 ± 5) °C.
²⁾ As in DIN 73377.

Seuraavissa kappaleissa käsitellään ratkaisuja, joista voisi olla apua tiiveystestauksen ongelmiin. Kaikkia näistä ei ole testattu, vaan osa näistä on suljettu pois testeistä, koska on huomattu niistä olevan vaaraksi laitteelle tai niiden vuotojen havaitsemiskyky on todettu riittämättömäksi jo ennen testejä.

3.3 Tiiveystestaus ultraäänianturilla

Ultraäänellä tapahtuva testaus on menetelmistä helpoiten toteutettavissa. Siihen tarvitaan vain paineilmaa ja ultraäänianturi. Vuodonetsintä ultraäänellä perustuu vuotokohdasta vuotavan kaasun aiheuttamaan ultraääneen.

Useimpiin markkinoilla oleviin ultraäänitestauslaittepaketteihin kuuluu normaalisti jonkinlainen kädessä pidettävä anturi ja anturiin liitettävä kuulolaite. Anturi havaitsee ultraääninen ja näyttää äänen suuruuden, joko graafisesti näytöltä, tai suurimmassa osassa laitteista ohjaamalla äänen tehostetusti kuulokkeisiin. Antureiden päähän on myös mahdol-

lista vaihtaa erilaisia suulakkeita, jotka mahdollistavat ultraäänimittaamisen pienemmissä tiloissa, joihin on vaikea päästä. Suulakkeet auttavat myös rajaamaan vuotokohdat erittäin tarkasti.

Tämä menetelmä perustuu vahvasti samoihin periaatteisiin, joita ABB:n tehtaalla on jo käytetty eli vuodon aiheuttaman äänen havaitsemiseen. Ultraäänianturi mahdollistaisi tehokkaamman ja yksinkertaisen tavan havaita vuotoja. Verrattuna nyt tehtaalla käytävään tiiveystestausprosessiin etuna on, että se havaitsee ääniä tehokkaammin ja tehostaa vuotojen rajaamista. Tehokkaampi havainnointi perustuu siihen, että anturit pystyvät havaitsemaan taajuuksia, joita ei normaalilla korvalla pystytä kuulemaan ollenkaan, sekä anturi tehostaa ääniä, jotka ovat liian matalia.

Mahdollinen huono puoli tämän tyyppisessä tiiveystestauksessa on, että onko pienimpien vuotojen aiheuttama ääni tarpeeksi suuri, jotta anturi pystyy havaitsemaan ne tarpeeksi tehokkaasti.

Hyvinä puolina voidaan pitää kustannuksia, joita ei ole kuin ultraäänianturin hankintakustannukset.

3.4 Tiiveystestaus heliumilla

Helium on toiseksi yleisin alkuaine. Se esiintyy kaasuna, koska nestemäinen helium muuttuu kaasuksi noin $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Teollisuudessa sitä on käytetty tiiveyden tarkistamiseen ja vuotojen paikantamiseen jo vuosikymmeniä. Helium on erittäin hyvä kaasu tiiveydentestaukseen, jos sitä verrataan muihin kaasuun tai seoksiin. Sen molekyylikoko on pieni, joten se vuotaa helposti pienistä raoista. [24];[1.]

Turvallisuus on myös ensisijaisen tärkeää testejä tehtäessä. Helium on ympäristöystävällinen kaasu. Se ei aiheuta turvallisuusriskiä testin tekijälle, testauslaitteistolle tai luonnolle.

Markkinoilla heliumia käyttävät testauslaitteet voidaan jakaa kahteen eri ryhmään. Tässä työssä ne on jaettu ylipaine- ja alipainetestaukseen. Molemmilla testausmuodoilla on omat hyvät ja huonot puolensa. [24];[8.]

Eräs vuodonetsintään ja tiiveystestaukseen erikoistunut yritys kävi esittelemässä omaa heliumtesteriään. Samalla laitteella pystyi mittaamaan tiiveyttä alipaineella sekä ylipaineella. Kyseisellä laitteella tehtiin testit Pitäjänmäen E-tehtaan laboratorio tiloissa. Lisää käytännön testauksesta löytyy luvusta 4.

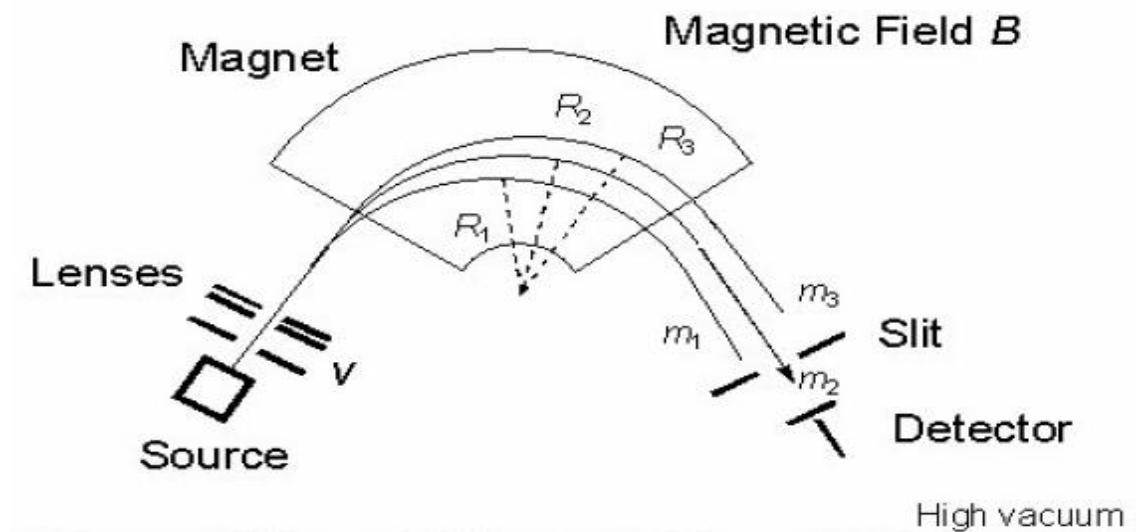
3.4.1 Alipainetestaus heliumilla

Alipainetestausta käytetään yleensä umpinaisille komponenteille tai tyhjiöjärjestelmille. Testauslaitteistoon kuuluu suurimmassa osassa markkinoilla olevista tuotteista heliumsäiliö ja mittausyksikkö, joka liitetään tutkittavaan kappaleeseen. Jos tutkittavan laitteiston tilavuus on suuri, laitteisiin usein myydään alipainepumppu, joka tekee laitteesta tehokkaamman. Alipainepumpun tarkoituksena on saada nopeutettua alipaineen tekemistä kappaleen sisälle.

Mittausyksikkö tekee tutkittavan kappaleen sisään alipaineen, ja jos paine ei pysy kappaleen sisällä tasaisena tai se ei saa luotua kappaleen sisälle alipainetta on kappaleessa vuoto. Taulukosta 4 näemme, että mitattavan järjestelmän ollessa absoluuttisen tiivis, mittalaite näyttää lukemaa 10^{-10} . Jos järjestelmässä on vuotoja, vuoto nopeus kasvaa ja lukema alkaa nousemaan. Taajuusmuuntajan jäähdytinsäilytysjärjestelmässä pitäisi päästä lukemaan 10^{-3} , jotta järjestelmä pitäisi varmasti jäähdytysnesteen sisällään. Vesitiiveyden raja on 10^{-2} .

Vuotokohta paikannetaan suihkuttamalla mahdollisiin vuotokohtiin pienellä paineella heliumkaasua. Alipaine imaisee heliumia kappaleen sisään ja se kulkeutuu mittalaitteelle. Heliumin kulkeuduttua mittalaitteelle laite ilmoittaa heliumista ja vuotokohta on saatu paikannettua. Heliumin kulkeutuminen mittalaitteelle saattaa kestää hetken riippuen matkasta, minkä se joutuu kulkemaan järjestelmän sisällä laitteelle. Tästä syystä kannattaa varmistaa vuotokohta kahteen kertaan. [8]. Mittalaite tunnistaa heliumin sektorimassaspektrometrin avulla. Sektorimassaspektrometri erottelee kaasuhiukkaset hiukkasten painon perusteella, jolloin saadaan eroteltua muut hiukkaset pois mittausalueelta.

Kuvassa 8 nähdään sektorimassaspektrometrin rakenne. Alipaine imee hiukkaset mukaan ja magneettikenttä aiheuttaa siihen poikkeaman. Vain tiettytyyppiset hiukkaset kaartavat mutkan oikeassa kulmassa ja pääsevät ilmaisimelle. Eri massaisia hiukkasia voidaan erottaa vaihtamalla magneettikentän voimakkuutta ja hiukkasen kiihdyttämiseen käytetyn jännitteen suuruutta. [33.]



Kuva 8 Sektorimassaspektrometrin rakenne. [33].

Taulukko 4 Heliumin vuoto nopeuksia, kun järjestelmän paine-ero on 1 bar [24].

TYYPILLISIÄ VUOTONOPEUKSIA KUN PAINE-ERO ON 1 BAR:

Reiän halkaisija	Vuotonopeus mbar l/s , cm ³ /s (NPT)	Tiivyyden luonne
1 cm	10 ⁴ = 10000	
1 mm	10 ² = 100	
0,1 mm	10 ⁰ = 1	Hius tiivistepinnalla
0,01 mm	10 ⁻² = 0,01	Vesitiivis, ei pisaroita. Kuplatesti vesiasiassa (1 kupla /s).
1 μm	10 ⁻⁴ = 0,0001	Bakteeritiivis, höyrytiivis
0,1 μm	10 ⁻⁶ = 0,000001	Öljytiivis, virustiivis (riippuu viruksen mitoista)
0,01 μm	10 ⁻⁸ = 0,00000001	Virustiivis, kaasutiivis (10 ⁻⁷)
1 nm	10 ⁻¹⁰ = 0,0000000001	"Absoluuttisen tiivis"
1 Ångström	10 ⁻¹² = 0,000000000001	Helium atomin ulkomitta (mittalaitteen toteamisraja)

Taulukossa 4 käytetty mittayksikkö on 1 mbar·l/s. Tällä yksiköllä tulkitaan vuodon suuruutta, joka tapahtuu säiliössä, jonka tilavuus on 1 l ja paine muuttuu 1 mbar verran yhden sekunnin aikana. Virtaus vastaa samaa kuin 1 cm³/s normaalissa lämpötilassa ja paineessa (NPT). [24.]

Alipainetestauksessa järjestelmässä ei saa olla nestettä. Neste voi tehdä alipaineen muodostamisesta mahdottoman. Alipaineessa vesi höyrystyy ja höyrystymisen takia se

laajenee jopa 1700-kertaiseksi. Höyrystyessä neste nostaa painetta äkillisesti laajenemisen takia, kun alipainepumppu yrittää laskea painetta. Nestettä höyrystyy pieniä määriä kerrallaan, koska se nostaa painetta, niin että höyrystyminen loppuu. Höyrystyminen jatkuu taas, kun alipainepumppu on saanut uudelleen laskettua paineen tarpeeksi matalalle. Neste kyllä poistuu hitaasti järjestelmästä tälläkin tavalla, mutta se vie todella paljon aikaa. Tämän ilmiön takia järjestelmä olisi hyvä olla kuiva, kun siihen tehdään alipainetestiä. [1.]

3.4.2 Ylipainetestausta heliumilla

Ylipainetestausta käytetään järjestelmissä, joissa on normaalissa käyttötilanteessa ylipaine, silloin järjestelmän tiiveystestausta tulee tehdä niin sanotussa normaalitilassa. Ylipainetestaustilanteeseen kuuluu niin ikään heliumsäiliö, mittausyksikkö, sekä lisäksi nuuskija. [24];[8.]

Ylipaineella tehtävässä tiiveystestauksessa testattava komponentti tai tässä tapauksessa jäähdytysjärjestelmä paineistetaan heliumilla. Helium alkaa välittömästi virrata ulos vuotokohdista, jos vuotoja järjestelmässä on. Jos järjestelmässä on vuoto, paine alkaa laskea, ja silloin käydään läpi mahdolliset vuotokohdat nuuskijalla. Nuuskija havaitsee pienetkin määrät heliumia ja ilmoittaa niistä merkkiäänellä tai graafisesti ja välittää tiedon mittausyksikköön, riippuen nuuskijan mallista.

Ylipainetestauksessa ei saada yhtä hyvin tietoon vuodon suuruutta, kuin alipaineella testatessa. [24];[8]. Tiiveystestauksessa vuodon suuruudella ei ole niin suurta merkitystä. Jokainen vuotokohta josta normaalitilanteessa järjestelmässä käytettävällä nesteellä olisi mahdollisuus vuotaa, on korjattava tiiviiksi, sen suuruudesta riippumatta.

Jotkin liittostyytit vaativat ylipaineella tehtävän testauksen, esimerkiksi invertteri-moduuleissa olevat pistoliittimet päästävät alipainetestauksessa kaasua helpommin läpi, kuin ylipainetestauksessa. Se johtuu liittimien rakenteesta. Liittimien sisällä oleva o-renkas tiivistyy putkea vasten sitä lujemmin mitä suurempi paine on. Alipaineessa tämä liitos ei puristaisi o-rengasta putkea vasten ja päästää herkemmin kaasun vuotamaan, vaikka normaali ylipainetilanteessa se olisi tiivis liitos. Pistoliittimiä käytettäessä on tärkeää käyttää ylipainetta, jotta vältetään turhilta vuodoilta, joita ei laitetta käytettäessä esiintyisi.

Ylipainetestaus heliumilla vakuutti, joten tälle menetelmälle tehtiin testit ABB:n tiloissa yhdessä erään helium-mittalaitteita toimittavan yrityksen kanssa.

3.5 Tiiveystestaus vedyllä

Vetyä on normaalissa ilmassa 0,5 ppm, joten sitä ei tarvitse paljon lisätä niin sitä pystytään mittaamaan tarkasti. Kaasuseos jota käytetään tässä menetelmässä sisältää 95% typpeä ja 5% vetyä. Vedyn osuus seoksessa on rajattu vain 5 %, koska puhdas vety on erittäin syttymisherkkää ja typen avulla siitä tehdään vaaraton. Seos on myrkytön, syttymätön, syövyttämätön ja ympäristöystävällinen. [26.] Riippuen mittalaitteen valmistajasta, käytetään myös kaasuseoksia, joissa on enemmän vetyä, mutta mitä enemmän vetyä on, sitä vaarallisemmaksi seos muuttuu. Puhdas vety on herkästi syttyvää ja reagoi halogeenien ja halogeeniyhdisteiden kanssa. [27.]

Vedyllä tehtävää vuodon etsintää käytetään yleisimmin betonirakenteiden tiiveyden todentamiseksi. Vedyllä tehtävään vuodon etsintään tarvitaan kaasuseospullo, jolla saadaan levytettyä kaasua testattaviin kohtiin, sekä vetypitoisuuksia mittava anturi. Anturin mukana tulee normaalisti pitkä taipuisa suulake, jolla päästään ahtaisiin kohtiin mittaamaan pitoisuuksia. Rakentamisessa käytettävässä testauksessa seosta suihkutetaan seinän tai lattian toiselta puolelta suoraan rakenteeseen ja samaan aikaan toiselta puolelta mitataan anturilla ilman vetypitoisuutta. Seos kulkee nopeasti rakenteiden läpi ja toisella puolella oleva kannettava anturi paikantaa vuotokohdat. [28.]

Taajuusmuuttajaan tämä menetelmä olisi voinut toimia erittäin hyvin. Jäähdytysjärjestelmä olisi paineistettu seoksella ja haettu vuotokohdat vetyä mittavalla anturilla. Mutta vety ei ole yhtä turvallinen kuin helium, joten tämä jätettiin pois testattavista menetelmistä.

3.6 Tiiveystestaus savulla

Savulla tehtävä tiiveystestaus jätettiin pois, koska savu saattaa mahdollisesti muodostaa jäämiä putkistoon, jolloin jäähdytysjärjestelmään kuuluvat komponentit olisivat olleet vaarassa vioittua. Savuja, joita oli markkinoilla, käytetään yleensä vain suuremmissa ilmanvaihtokanavissa, joissa tiiveys ei ole yhtä tarkkaa, kuin taajuusmuuntajien jäähdytysjärjestelmässä. [17];[18];[20];[21.]

Savutestauksessa laite alkaa tuottamaan savua testattavan kappaleen tai järjestelmän sisään. Laitteen tuottama savu on peräisin liuoksesta, johon on lisätty merkkiainetta. Jos järjestelmässä on vuotoja, savu tulee ulos vuotojen kohdalta. Savun sisältämä merkkiaine värjää vuotokohdan. Merkkiaineen pystyy näkemään UV-valolla, jolloin testin tekijä pystyy näkemään vuotokohdat. [17];[18];[20];[21.]

Suurimmat ongelmat olisivat aiheutuneet merkkiaineen jättämien jälkien takia. Jos merkkiaine jää vuotojen kohdalle, niin silloin se jää myös testattavan laitteen sisäpinnoille. Sisäpinnoille jäänyt merkkiaine aiheuttaisi korroosiovaaran ja irronnut materiaali voi muodostaa suurempia partikkeleita ajan saatossa, mikä aiheuttaisi tukoksia järjestelmään. Aine olisi saattanut jäädä herkimmin lauhduttimien kohdalle, koska lauhduttimissa virtaus jakautuu moneen läpimitaltaan pienempään kanavaan, jolloin jäähdytys on tehokkaampaa. Nämä pienemmät kanavat olisivat saattaneet mennä tukkoon, jolloin jäähdytys teho olisi kärsinyt ja taajuusmuuttaja olisi vaarassa ylikuumeta. [17];[18];[20];[21.]

Tästä menetelmästä ei tehty käytännön testejä, johtuen edellä mainituista turvallisuuteen ja laitteen toiminnan vahingoittamiseen vaarantavista tekijöistä.

4 Käytännön testit

Kaikki testaukset on tehty Pitäjänmäen E-tehtaan laboratoriotiloissa. Testasimme 3 eri tiiveystestausmenetelmää, jotka olivat tiiveystestaus ultraäänellä sekä heliumilla tehtävät ali- ja ylipainetestaukset. Testauslaitteiden rakentamisesta ja suunnittelusta vastasi tämän insinööriyön tekijä. Testauslaitteisto on tehty erilaisista komponenteista, joita käytetään ABB:n taajuusmuuttajan jäähdytysjärjestelmässä. Käyttämällä samoja komponentteja varmistettiin, että testauslaitteisto on verrattavissa tuotannossa oleviin laitteisiin, jolloin saimme realistisen tuloksen siitä onko jokin näistä testeistä sopiva juuri tälle tuotteelle.

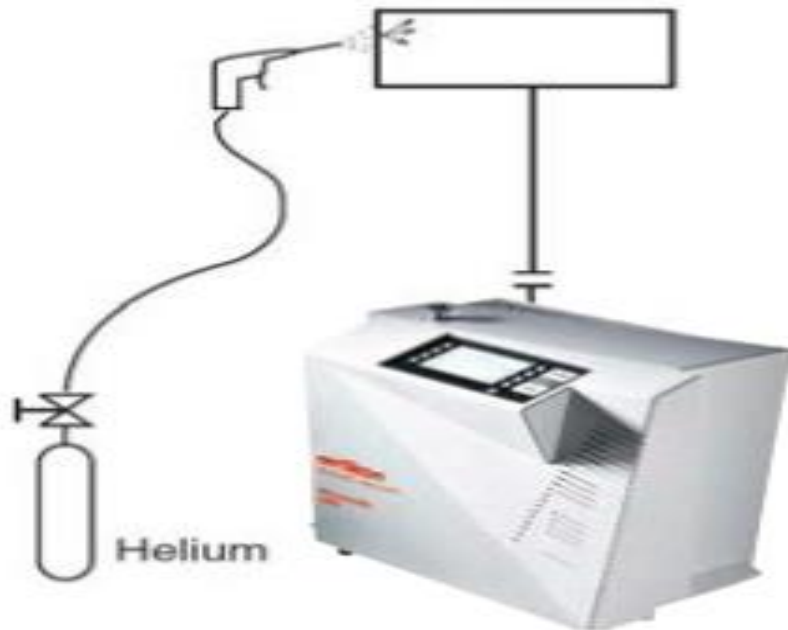
4.1 Heliumtesti

Heliumtestit tehtiin yhdessä erään tiiveystestauslaitteita myyvän yrityksen henkilön kanssa. He toivat testauslaitteen Pitäjänmäen E-tehtaalle 16.4.2018 testejä varten. Testien tarkoituksena oli selvittää, onko kyseinen testauslaite sopiva tämän tuotteen jäähdytysjärjestelmän tiiveyden todentamiseksi.

Testauslaitteistoon kuului helium kaasupullo, testausyksikkö sekä nuuskija ylipainetestausta varten. Kuva 9 kertoo karkeasti, millainen kokonaisuus testauslaitteisto on. Testauslaitteisto toimii normaalilla 230 V jännitteellä, joka saadaan normaalista pistorasiasta. Laite sisältää alipainepumpun, jolla voidaan suorittaa alipainetestejä. Samalla laitteistolla pystytään tekemään ylipainetestejä. Laitteeseen liitetään tällöin nuuskija ja tutkittava kohde täytetään suoraan kaasupullosta ja paineistetaan. Jos tutkittavassa laitteessa on vuotoja, paine laskee tutkittavan kappaleen sisällä. Paineen aleneminen voidaan todeta painemittarin avulla. Vuotava kohta etsitään käyttämällä nuuskijaa, joka on liitetty testauslaitteeseen.

Sama laite pystyy mittaamaan myös vetypitoisuuksia, mutta tässä työssä testasimme tällä laitteella vain heliumia, sen turvallisuuden takia. Helium on kaasu, joka ei ala reagoimaan kaasu- tai nesteseosten kanssa. Vety olisi ollut tiheydessä heliumia jokin verran pienempi, jolloin se olisi tunnistanut heliumia pienemmät vuodot. Helium on jäähdytysjärjestelmässä käytettävää tavaramerkkiä Antifrogen L-jäähdytysnesteeseen verrattuna paljon pienempää molekyylikooltaan. Toisin sanoen helium virtaa paljon pienemmästä

reiästä, kuin Antifrogen L. Heliumin vuoto-ominaisuudet ovat siis tarvittavan hyviä tämän tyyppiseen vuodonetsintään.



Kuva 9 Heliumtestauslaitteisto. [24].

Ennen testejä huolena oli että onko helium liian pientä molekyylikooltaan meidän tuotteessa käytettäville liitoksille. Esimerkiksi invertteri-moduuleissa käytettävät pistoliittimet olivat suuri huolen aihe testejä mietittäessä. Oletuksena oli että helium tulee kyseisistä liittimistä läpi liian helposti. Kuvassa 10 nämä liittimet on merkitty numerolla 3.



Kuva 10 1. Pieni karatyypin liitin 5 kpl 2. Suuri karatyypin liitin 2 kpl 3. Pistoliitin 8 kpl 4. Suuri karatyypin liitin 2 kpl 5. Pallosulkuventtiili 6 kpl.

Kuvassa 10 on testilaitte ja se on tehty tavalla ja osilla, joita käytetään taajuusmuuttajan jäädytinjaerjestelmässä. Näin ollen tulokset olivat realistisia tehdyissä testeissä. Testilaitteeseen oli asennettu 4 erilaista liittintä, joita käytetään tuotannossakin. Putkimateriaaleja oli 2 erilaista PA-11 ja PA-12. Kuvan vasemmalla puolella olevat 3 putkea ovat PA-12 materiaalia ja toiset 3 oikealla puolella PA-11. Näiden putkimateriaalien ero on, että PA-12 on PA-11:sta verrattuna kovempaa materiaalia, joka pitää muotonsa paremmin ja kestää kolhuja. PA-11 on siis vähän joustavampaa ja sen muokattavuus on parempi kuin PA-12. Molemmat materiaalit kestävät painetta tarvittavia määriä. Nesteellä tehtävä painetestausta tehdään maksimissaan 10 barilla ja nämä putket kestävät noin 60 baria huoneenlämmössä.

Alipainetestausta tehtiin samoilla putkilla ylipainetestausta kanssa. Alipainetestausta suoritettiin ensin, koska se ei muokkasi muoviputkia pistoliittimien kohdalla. Kun pistoliittimiä paineistetaan ylipaineella liittimen o-renkaat pureutuvat putkea vasten ja tekevät liitoksesta tiiviin. Samaan aikaan leuat pitävät putken paikoillaan ja tekevät sen pintaan muutoksia. Oli siis ensisijaisen tärkeää, että alipainetestausta tehtiin ennen ylipainetestausta.

4.1.1 Alipainetesti

Alipaineella testit tehtiin kuvassa 10 olevalle testipenkille. Ensiksi alipainetestiä niin, että venttiilit olivat kiinni. Testipenki laitettiin kiinni testauslaitteeseen. Testauslaitteelta meni noin 20 sekuntia siihen, että pumppu oli saanut testipenkin alipaineeseen. Tällä tavalla varmistettiin, että venttiilit eivät vuotaisi, eikä mikään muukaan liitos ennen venttiilejä. Tässä kohtaa testauslaitteisto näytti lukemaa 10^{-8} , joten tähän mennessä tuote on tau-lukon 4 mukaan ”kaasutiivis”.

Seuraavassa vaiheessa kaikki 6 venttiiliä avattiin ja pumppu teki alipaineen järjestelmään. Laite pääsi lukemaan 10^{-2} . Luku tarkoittaa että se olisi lähellä vesitiiveyttä. Tätä lukua verrattaessa edelliseen lukuun 10^{-8} voidaan todeta, että jossain on vuoto. Liitoskohdat käytiin läpi heliumkaasupulloon liitetyllä pistoolilla ja havaittiin yhden pistoliittimen vuotavan. Vuotokohdan edessä oleva venttiili suljettiin. Kun vuotava liitin oli suljettu pois piiristä, laite pääsi seuraavaksi lukemaan 10^{-7} eli melkein kaasutiivis. Tämä lukema on tarpeeksi hyvä, jotta pystyttiin toteamaan järjestelmä riittävän tiiviiksi.

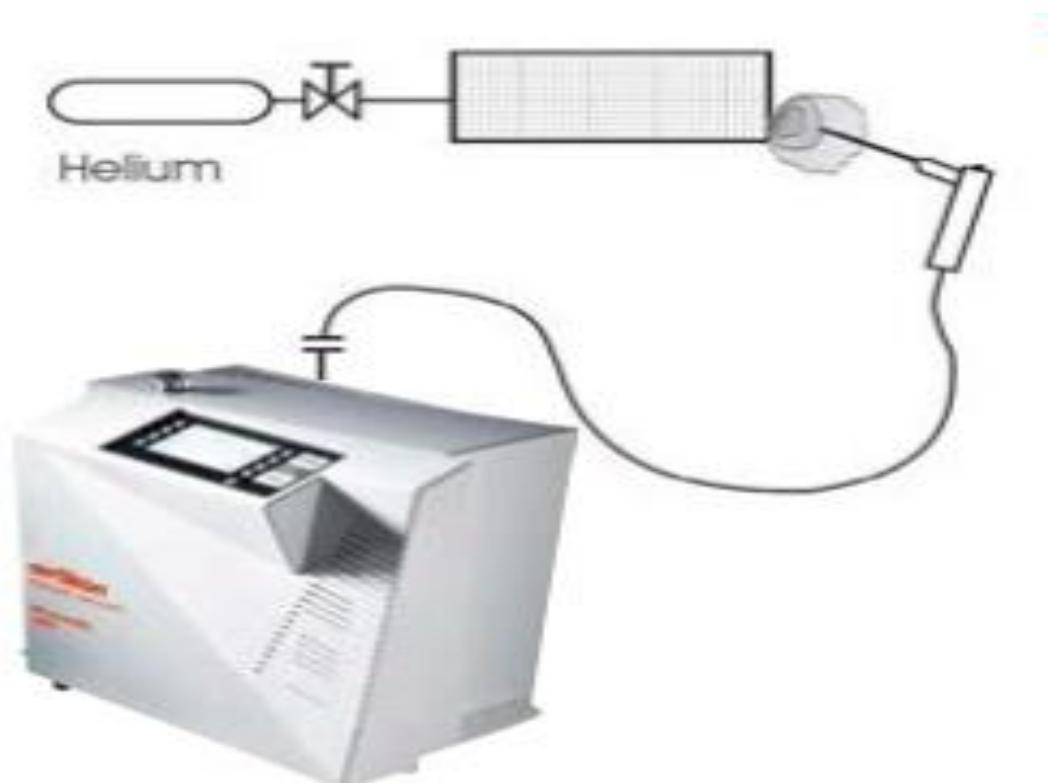
Testeissä havaittiin myös että heliumin kulkeutuminen testattavan laitteen läpi kesti joissain tilanteissa, jolloin helposti vuotokohta oli ohitettu jo aikaisemmin. Jotta virheitä välttäisiin, kannattaa kohta tarkistaa ajan kanssa muutamaan kertaan.

Lopputulena voitiin todeta, että heliumilla tehtävä tiiveyden todentaminen alipaineella tällä laitteella on mahdollista ja tulokset olivat parempia kuin osattiin odottaa. Menetelmä on toimiva ja laite helppokäyttöinen.

4.1.2 Ylipainetesti

Ylipainetestin tekeminen suoritettiin heti alipainetestin jälkeen samalla testilaitteella (kuva 10). Heliumtestauslaitteistoon vaihdettiin nuuskija kiinni ja testattavaan testipenkiin asennettiin kiinni heliumkaasupullo, jolla päästiin paineistamaan testattava laitteisto.

Kuva 11 on karkea näköspierros mistä näkee millainen testilaitte on, kun sillä mitataan heliumpitoisuuksia nuuskijan avulla, joka on liitetty laitteeseen.



Kuva 11 Ylipainetestauslaitteisto heliumtestausta varten. [24].

Testauspenkkiin laitettiin seuraavaksi heliumia ja paine nostettiin testilaitteen sisällä 2 bariin. Tässä vaiheessa kaikki hanat olivat auki ja oletuksena oli että sama pistoliitin vuotaisi, kuin alipainetestauksessa. Seuraavaksi etsittiin vuotoja haistelijalla, kulkemalla liitoksia pitkin. Tuloksena oli että yksikään liitin ei vuotanut enää ylipainetestauksessa. Kaikki liittimet ja venttiilit pitivät heliumin sisällään.

Tuloksen varmistamiseksi tehtiin testi vielä yhden ylimääräisen liitoksen kohdalle, joka sijaitsi testauspenkin ulkopuolella, jonka tiedettiin vuotavan. Kyseistä liitosta haistellessa testauslaite sai heliumsignaalin, joka kertoi kohdassa olevan vuodon. Tämän ylimääräisen vuotavan liitoksen testaus tehtiin, jotta voitiin varmistaa haistelijan toimivuus.

Lopputuloksena oli että ylipainetestaus heliumilla on toimiva ratkaisu vuodonetsintään taajuusmuuntajien jäähdytinjärjestelmistä. Ainut huono puoli verrattaessa alipainetestaukseen on, että heliumia kuluu ylipainetestauksessa paljon enemmän.

4.2 Ultraäänitesti

Ultraäänitesti tehtiin Pitäjänmäen E-tehtaalla. Ultraäänilaitte oli ABB:n, joten sitä ei tarvinnut erikseen hankkia. Laitetta oli käytetty tiiveystestauksen apuna eräällä osastolla.

Testi tehtiin samalle testilaitteelle, kuin heliumtiivestestaus. Penkkiin vaihdettiin uudet putket. Putket vaihdettiin uusiin, koska ne olivat saattaneet muuttua muotoaan edellisissä testeissä. Testipenkkiin laitettiin 2 baria painetta. Testipenkissä olevat liittokset eivät vuotaneet, joten paine nostettiin 4 bariin. Tässäkään vaiheessa mikään liittimistä ei vuotanut, joten tämä testausvaihe päätettiin ja siirryttiin seuraavaan.

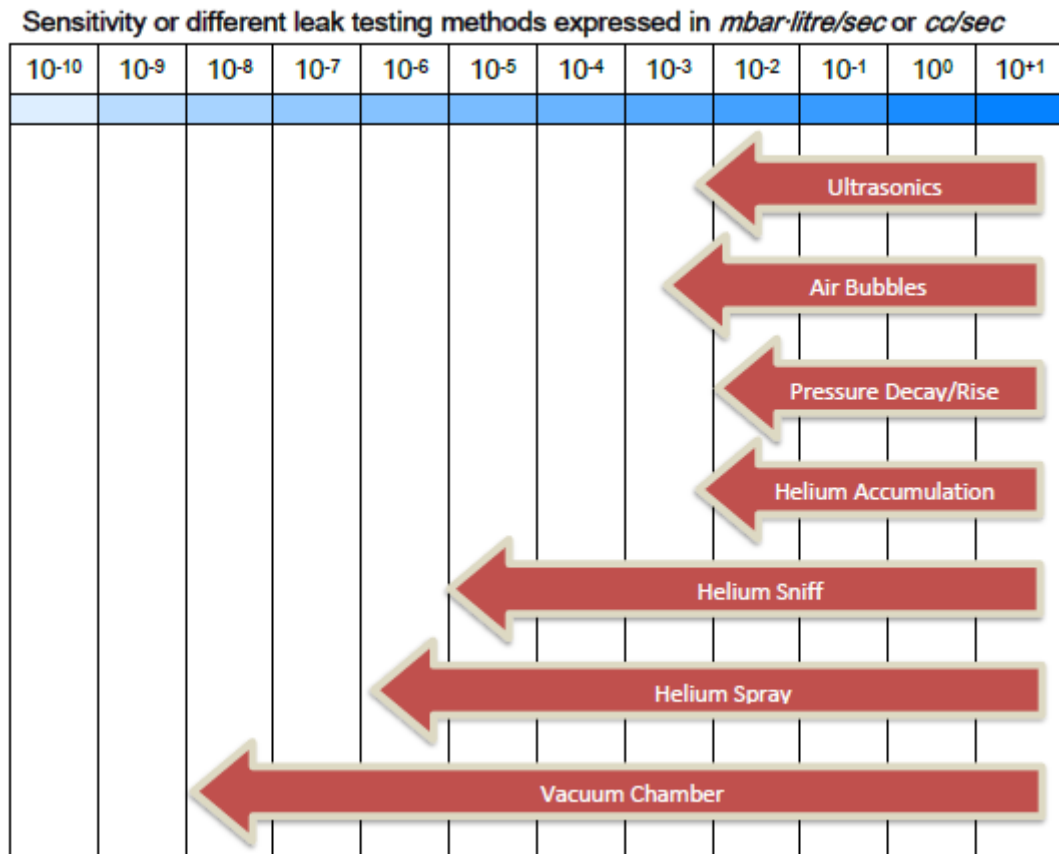
Tässä vaiheessa muutoksia tehtiin testilaitteeseen niin, että liittimien pitäisi vuotaa varmasti ja tulisi jonkinlaisia tuloksia. Painetta laitettiin 2 baria tässä vaiheessa ja paineilma tuli läpi vuotavasta kohdasta suhinan kanssa. Hyvä puoli tässä oli se että ääni kuului, mutta vuoto oli niin suuri että sen kuuli paljaalla korvallakin ja ultraäänilaitte vahvisti vuodon sijainnin.

Seuraavaksi tarkoituksena oli tehdä mahdollisimman pieni vuoto, jotta sitä ei kuulisi korvalla, mutta yrityksistä huolimatta haluttua tulosta ei saatu aikaiseksi. Laitte kyllä auttoi paikantamaan vuotokohdan tarkasti, mutta vahvistus sille, että löytääkö tällä laitteella pieniä vuotoja tehokkaasti, jäi saavuttamatta.

Lopputuloksena oli, että ultraäänellä tehtävä tiiveystestaus toimii ainakin suurien vuotojen paikantamisessa ja se on parempi kuin pelkällä korvalla ja käsituntumalla tehtävä vuodon paikantaminen. Tällä tiiveydentodentamisen tavalla ei siis pystytä todentamaan testattavan järjestelmän tiiveyttä tarpeeksi tehokkaasti.

4.3 Vertailu ja tulokset

Testejä tehtiin siis 3 eri menetelmälle. Ne olivat ultraäänellä tehtävä tiiveystestaus sekä heliumilla tehtävä tiiveystestaus alipainemenetelmällä sekä ylipainemenetelmällä. Heliumilla tehdyt testit suoritettiin samalla heliummittalaitteella. Kaikissa kolmessa testissä käytettiin samaa testilaitetta, joka oli rakennettu näitä testejä varten.



Kuva 12 Tiiveysmittausten tarkkuudet. [31].

Kuvasta 12 nähdään, kuinka tarkkoja arvoja voidaan mitata eri mittausmenetelmillä. Kuvassa vuodon suuruuden yksikkönä on yleisesti käytetty $\text{mbar} \cdot \text{l/s}$.

Ultraäänellä päästään mittaamaan 10^{-2} asti, joten sillä päästään juuri vesitiiveyden rajaan (taulukko 4). Heliumhaistelijalla eli heliumylipainetestauksella päästään 10^{-6} arvoon, joka on riittävä helposti meidän laitteen jäähdytyspiirin tiiveyden todentamiseksi. Ja helium spraylla eli heliumalipainetestauksella voidaan päästä lukemiin 10^{-7} , joka riittää myös tässä työssä käsiteltävän jäähdytyspiirin tiiveyden todentamiseen.

Ultraäänitestistä voimme todeta, että se ei ole yhtä tehokas tapa tunnistaa vuotoja kuin kaksi muuta heliumilla tehtävää menetelmää. Ultraäänitekniikasta ei siis tulla saamaan ratkaisua tiiveystestauksen parantamiseksi.

Alipainemenetelmä on näistä kolmesta menetelmästä tarkin ja tehokkain havaitsemaan vuotoja. Menetelmän huonona puolena on kuitenkin turhan pienten vuotojen havaitseminen, joita tuli esille testeissä pistoliittimien kohdalla. Yksi pistoliitin alkoi vuotamaan heliumia alipainemenetelmällä, mutta ei ylipaineella, jolloin voidaan todeta liitos pitäväksi. Liitos voidaan todeta riittävän tiiviiksi, koska neste, jota järjestelmä käyttää, on molekyylikooltaan paljon suurempi, kuin testissä käytetty helium.

Heliumilla tehdyt ylipainetestien tulokset tiiveyden todentamiseksi olivat hyviä ja luotettavia. Menetelmä havaitsee vuotoja tehokkaasti ja on käyttäjälle yksinkertainen tapa etsiä vuotoja. Menetelmän huonona puolena pitäisin heliumin suurta käyttömäärää. Vertaattuna alipaine menetelmään heliumia kuluu huomattavasti enemmän, varsinkin jos taajuusmuuttajan kaapin pituus kasvaa, niin heliumin käyttömäärä kasvaa sen mukana.

Taulukossa 5 on tehty vertailu eri tiiveydenmittaustavoille. Taulukosta voidaan katsoa niiden soveltuvuus, niin tehtaalla kuin toimittajallakin tapahtuvaan komponenttien, moduulien tai kuljetuspituuksien testaukseen, sekä asiakkaan luona tapahtuvaan vuodonetsintään. Parhaimmat pisteet vertailussa ovat saaneet heliumilla tehtävät tiiveystestaukset. Syynä tähän on tarvittavan hyvä mittaustarkkuus, sekä heliumin turvallisuus kaasuna. Vedyllä tehtävä tiiveystestaus olisi varmasti yhtä hyvä kuin heliumilla tehtävät testaukset, mutta vety luo helposti reagoivana kaasuna liikaa turvallisuus riskejä. Ultraäänitestaus olisi helpoin toteuttaa, niin tehtaalla kuin asiakkaankin luona, mutta sen mittaustarkkuus ei ole riittävä, jotta sillä voisi havaita pienimmät vuodot.

Taulukko 5 Vertailutaulukko.

Yleinen soveltuvuus	He ylipaine	He alipaine	Ultraääni	Savutesti	H-testi
Mittaustarkkuus	3	3	1	1	3
Testin vaativuus	3	3	3	2	2
Resurssit (aika ja tila)	2	2	3	1	2
Turvallisuus	3	3	3	0	2
Tuotantotestaus soveltuvuus					
Komponenttitestaus	3	3	2	1	2
Moduuli	3	2	1	1	2
Kuljetuspituus	2	3	1	0	2
Huoltovuodonetsintä					
Mittaustarkkuus	3	3	1	1	3
Testin vaativuus	2	2	2	0	2
Turvallisuus	3	3	3	0	1
Resurssit (Aika/Tila)	1	1	3	0	1
YHT:	28	28	23	7	22
Asteikko: 0 = Ei pystytty suorittamaan, 1 = teoriassa mahdollista, 2 = Hyvä, 3 = Erittäin hyvä.					

5 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli saada parannettua taajuusmuuttajan jäähdytysjärjestelmän tiiveystestausta.

Lopputulokseksi saimme toimivan ratkaisun taajuusmuuttajan jäähdytyspiirin tiiveystestaukseen. Toimivimmaksi menetelmäksi osoittautui heliumilla tehtävä tiiveystestaus, joko ali- tai ylipainetestaus. Näiden kahden eroa kannattaa vielä kartoittaa ja tehdä lisää testejä. Samalla laitteella pystytään tekemään yli- ja alipainemittauksia, joten niiden eroja pystytään selvittämään tarkemmin, kun hankintasuunnitelma saadaan päätökseen ja laite Pitäjänmäelle.

5.1 Projektin jatkaminen

Näiden testien ja vertailujen pohjalta voin kertoa oman kantani tiiveystestauksen parantamiseksi. Parhaaksi menetelmäksi asettaisin heliumilla tehtävän alipainemenetelmän. Menetelmä antoi tarkimman kuvan vuodon suuruudesta ja vuotokohta oli helposti paikannettavissa. Heliumia kuluu testissä erittäin vähän, verrattuna ylipainetestaukseen.

Projektin tekeminen jatkuu varmasti vielä tästä, kun testauslaite saadaan Pitäjänmäelle. Laitteella kannattaa tehdä laajempia testejä, joiden perusteella pystytään luomaan ohjeet tuotantotestaukseen. Toivon että laite saadaan mahdollisimman nopeasti tuotantoon, koska siellä on tällä hetkellä tarvetta paremmalle tiiveystestaukselle.

5.2 Projektin arviointia

Projektin aikana oli hetkiä, jolloin tuntui, etten saanut tarpeeksi tehtyä tulosta. Käytin aikaa projektin tekemiseen erittäin paljon ja tuntui ajoittain siltä, ettei se edennyt tahtomallani nopeudella. Projektin eteneminen sen alkuvaiheessa tuntui todella verkkaiselta. Hain tietoa eri tiiveyden tunnistamismenetelmistä ja niitä oli erittäin paljon. Ehkä se että silmään osui alussa vain niitä menetelmiä, joista ei löytynyt tämän projektin ongelmaan ratkaisua, tekivät tiedonhausta välillä erittäin raskaan. Käytin ehkä turhankin paljon aikaa niiden menetelmien tutkimiseen, joista ei ollut ratkaisuksi.

Työskentelin tehdastasolla tuotannossa samaan aikaan, kun suoritin tätä projektia. Työskentely tuotannossa oli välillä vähän liiankin aktiivista ja verotti osittain projektin tekemistä. Tämän osan olisi voinut hoitaa omasta mielestäni paremmin.

Lopulta kun löysin sopivia tiiveyden mittaukseen sopivia tapoja, asioita alkoi tapahtua nopealla aikataululla. Sain tehtyä testauslaitteiston ja vaadittavat testit hyvällä aikataululla. Ehkä alkukankeuden ja muun oheistoiminnan takia aikataulu venyi vähän suunnitellusta.

Omat ajatukset projektista ja sen etenemisestä ovat positiivisia. Projektin päätarkoituksena oli löytää keino tiiveystestauksen parantamiseksi. Lopputulokseksi saimme toimivan ratkaisun, jolla tiiveystestaus saataisiin uudelle tasolle. Siltä osin olen erittäin tyytyväinen projektiin ja sen lopputulokseen.

Lähteet

- 1 Mikko Mäkelä, Lauri Soininen, Seppo Tuomola, Juhani Öistämö. 2014. Tekniikan kaavasto, Tammertekniikka. 13. Painos. Tampere: Amk-kustannus Oy.
- 2 ABB etusivu. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<http://new.abb.com/fi>>. Luettu 27.3.2018.
- 3 ABB Suomessa. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>>. Luettu 27.3.2018.
- 4 AccuTrak ultrasonic instruments. Verkkoaineisto. Superiorsignal company. <<http://superiorsignal.com/superior-accutrak>>. Luettu 22.3.2018.
- 5 Bacharach Products. Verkkoaineisto. Bacharach. <<https://www.mybacharach.com/products/>>. Luettu 22.3.2018.
- 6 Tuotteet. Verkkoaineisto. YTM industrial Oy. <<https://www.ytm.fi/tuotteet/>>. Luettu 10.4.2018.
- 7 Helium_leak_testing. Verkkoaineisto. HVS Leak Detection. <<http://www.heliumleakdetection.net/Helium-Leak-Testing/helium-leak-testing-services.html>>. Luettu 22.4.2018.
- 8 Leybold GmbH. 2018. Leybold Full Line Catalog 2018. Köln: Leybold GmbH.
- 9 Merkkisavut. Verkkoaineisto. Pietiko Oy. <<https://www.pietiko.fi/tuoteryhmat/merkkisavut?tm=tuotteet-verkkokauppa>>. Luettu 22.3.2018.
- 10 Teollisuuskaasut Helium. Verkkoaineisto. AGA Oy. <http://www.aga.fi/fi/products_ren/helium/index.html>. Luettu 10.4.2018.
- 11 Avainluvut. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/avainluvut>>. Luettu 22.4.2018.
- 12 Leak detectors. Verkkoaineisto. Leybold GmbH. <<https://www.leyboldproducts.uk/products/leak-detecting-instruments/leak-detectors/>>. Luettu 22.4.2018.
- 13 Merkkiaineilmaisuus. Verkkoaineisto. Pietiko Oy. <<https://www.pietiko.fi/tuoteryhmat/vuodonilmaisuus-merkkiaineilmaisuus?tm=tuotteet-verkkokauppa>>. Luettu 22.3.2018.
- 14 Teolliset peruskaasut. Verkkoaineisto. Woikoski Oy. <<http://woikoski.fi/fi/ammattilaisille/teollisuus/teolliset-peruskaasut>>. Luettu 10.4.2018.

- 15 Helium Teollisuuskaasut. Verkkoaineisto. AGA Oy. <http://www.aga.fi/fi/products_ren/helium/index.html>. Luettu 10.4.2018.
- 16 Helium turvallisuustiedote. Verkkoaineisto. AGA Oy. <http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/Helium_fi634_120092.pdf>. Luettu 10.4.2018.
- 17 Plumbing smoke. Verkkoaineisto. Superior Signal Oy. <<http://superiorsignal.com/your-smoke-application/plumbing>>. Luettu 10.3.2018.
- 18 GLD 50. Verkkoaineisto. Smoke wizard. <<http://smokewizard.com/products/smoke-wizard-core/smoke-wizard%c2%ae-model-gld-50/>>. Luettu 10.3.2018.
- 19 Leak detectors. Verkkoaineisto. Bacharach. <<https://www.mybacharach.com/categories/leak-detectors/>>. Luettu 10.3.2018.
- 20 Leak testing. Verkkoaineisto. Pea soup Ltd. <<http://www.smo-kemachines.net/leak-testing.shtml>>. Luettu 10.3.2018.
- 21 Smoke. Verkkoaineisto. Superior signal. <<http://superiorsignal.com/superior-smoke>>. Luettu 10.3.2018.
- 22 PED soveltamisohje. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja Kemikaalivirasto (tukes). <http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/direktiivit/Ped_soveltamisohjeet%203_2015.pdf>. Luettu 20.3.2018.
- 23 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. Verkkoaineisto. EUR-Lex. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0068>>. Päivitetty 15.5.2014. Luettu 20.3.2018.
- 24 Vuodonetsintä. Verkkoaineisto. YTM industries Oy. <<https://www.ytm.fi/download/yleiset/Käyttökohde-esitteet/Vuodonetsinta.pdf>>. Luettu 22.4.2018.
- 25 Tuoteluettelo teollisuuskaasut. Verkkoaineisto. AGA Oy. <http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20IG%20Gases%20White%20Paper%20FI634_122350.pdf?v=1.0>. Luettu 10.4.2018.
- 26 Vetyvuodonetsintälaitte. Verkkoaineisto. Trotec Oy. <<https://www.trotec24.fi/mitauslaitteet/vuodonetsinta/kaasu/xrs-9012-vetyvuodonetsintalaite.html>>. Luettu 23.3.2018.
- 27 Vety turvallisuusohjeet. Verkkoaineisto. Työterveys laitos. <<http://www.ttl.fi/ova/vety.html>>. Luettu 23.3.2018.
- 28 Merkkiainekoe. Verkkoaineisto. Vertia Oy. <<https://vertia.fi/merkkiainekoe/>>. Luettu 23.3.2018.

- 29 ASC 2000rpa. Verkkoaineisto. Dometic Finland Oy. <<http://www.airconservice.fi/product/asc-2000rpa/>>. Luettu 28.3.2018.
- 30 Leak detection methods and defining the sizes of leaks. Verkkoaineisto. Ndt. <http://www.ndt.net/article/v04n02/slov_30/slov_30.htm>. Luettu 2.5.2018.
- 31 Leak testing methodologies. Verkkoaineisto. Vacuum Engineering. <<http://vac-eng.com/wp-content/uploads/LEAK%20TESTING%20METHODOLOGIES.pdf>>. Luettu 2.5.2018.
- 32 Leak detection methods. Verkkoaineisto. Vtech process equipment LLC. <<http://www.vtechonline.com/pdf/VTech%20Leak%20Detection%20Methods.pdf>>. Luettu 2.5.2018.
- 33 Heikki Tenkku, Jari Ruuska. Joulukuu 2004. Verkkoaineisto. Oulun Yliopisto. <<http://www oulu.fi/sites/default/files/content/bno053.pdf>>. Luettu 3.5.2018.

