

# OLOSUHDEKAAPIN KEHITTÄMINEN KUORMITUSKEHÄLLE

Johannes Torppa

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2014

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Torppa, Johannes	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 10.4.2014
	Sivumäärä 60	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi OLOSUHDEKAAPIN KEHITTÄMINEN KUORMITUSKEHÄLLE		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Matilainen, Jorma Hiitelmä, Erja		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu Kurki, Matti		
Tiivistelmä Opinnäytetyö tehtiin Jyväskylän ammattikorkeakoululle kesällä 2012. Tavoitteena oli olosuhdekaapin prototyypin suunnittelu, rakentaminen ja testaus kuormituskehän yhteydessä käytettäväksi. Kuormituskehä on dynaamisia rakenneanalyysijä varten kehitetty testauslaitteisto, jonka testausympäristöä haluttiin kehittää enemmän testattavien kappaleiden käyttöolosuhteita vastaavammaksi.  Opinnäytetyöprojektissa kehitetyn olosuhdekaapin prototyypin vaatimuksena oli -40 °C pakkasta. Erityistä painoarvoa sai jäähdytysjärjestelmän valinta sekä opinnäytetyöprojektin aikataulussa pysyminen. Jäähdytysjärjestelmien selvitystyössä tukeuduttiin kylmätekniikan ammattilaisten sekä kryogeenisten kaasujen, kuten nestemäisen typen, toimittajien tietotaitoon. Opinnäytetyön projektinhallinnassa käytettiin Pahlin ja Beitzin teoksessa kuvailtua tuotekehitysprosessia.  Ratkaisuna kuormituskehälle valjastettiin laboratoriopakastin, jota muokattiin testikäyttöä varten. Kansi vaihdettiin eristelevyihin ja pohjaan tehtiin läpivienti, jotta testattava kappale saatiin kiinnitettyä kuormituskehään. Lopputuloksena saatiin kustannustehokas ja lämpötilaltaan stabiili prototyypikaappi, jonka avulla testit saatiin suoritettua. Tärkeimpänä tuloksena voidaan pitää selvitystyötä, minkä mukaan jatkokehitys kannattaa keskittää mekaaniseen jäähdytykseen.		
Avainsanat (asiasanat) Koneensuunnittelu, tuotekehitys, olosuhdekaappi, kylmätekniikka, kuormituskehä, DYNKRAT, DRAJA		
Muut tiedot		



Author(s) Torppa, Johannes	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 10042014
	Pages 60	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTAL CHAMBER FOR LOADING FRAME		
Degree Programme Mechanical and production technology		
Tutor(s) Matilainen, Jorma Hiitelä, Erja		
Assigned by Jyväskylän ammattikorkeakoulu Kurki, Matti		
Abstract <p>The thesis was implemented for Jyväskylä University of Applied Sciences in the summer of 2012. Goal was to develop, construct and test a prototype of an environmental chamber to be used in a loading frame. Loading frame is testing equipment which is developed for dynamic structural analysis. Its' testing environment wanted to be developed further to be more similar to the environment that the tested structures are used.</p> <p>The requirement for the environmental chamber's prototype was - 40 ° C. The development was focused on finding the optimal cooling method and big weight in the project was to keep up with the schedule. When solving the best cooling method, the knowhow of professionals from refrigeration technology and the suppliers of cryogenic gases like liquid nitrogen were essential. Project management was supported by Mr. Pahl's and Mr. Beitz's product development process.</p> <p>As a result modified laboratory refrigeration was harnessed to the loading frame. The lid was replaced with insulation plates and an aperture was made to the bottom so the fastening of the tested structure to the loading frame was possible. This way a cost-effective prototype was able to be used in the testing. One of the most important results was the information that in the further development the focus should be on mechanical cooling.</p>		
Keywords Mechanical engineering, product development, environmental chamber, refrigeration technology, test loading frame, DYNKRAT, DRAJA		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet .....</b>	<b>5</b>
1.1	DYNKRAT-projekti .....	5
1.2	DRAJA -projekti .....	6
1.3	Olosuhdekaappi opinnäytetyönä .....	7
<b>2</b>	<b>Järjestelmällinen tuotekehitys .....</b>	<b>7</b>
2.1	Pahlin ja Beitzin tuotekehitysprosessi .....	7
2.2	Tehtävänasettelun selvittäminen .....	8
2.3	Luonnostelu .....	9
2.4	Kehittely .....	12
2.5	Viimeistely .....	14
<b>3</b>	<b>Kylmätekniikka .....</b>	<b>15</b>
3.1	Nestemäinen tyyppi jäähdytyksessä .....	15
3.2	Mekaaninen jäähdytys .....	17
<b>4</b>	<b>Mittaustekniikka .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Opinnäyteprojektin vaiheet .....</b>	<b>21</b>
5.1	Tavoitteiden selvitys .....	22
5.2	Konseptin suunnittelu .....	23
5.3	Prototyypin rakennus .....	24
5.4	Testien suunnittelu .....	24
<b>6</b>	<b>Prototyypin testaus .....</b>	<b>25</b>
6.1	Testilaitteisto .....	25
6.2	Testikokoonpano .....	27

6.3	Yksityiskohtia laboratoriopakastimen käytöstä .....	31
6.4	Testien tulokset .....	35
6.4.1	Testi 1 huoneenlämmössä .....	35
6.4.2	Testi 2 huoneenlämmössä .....	37
6.4.3	Testi 3 kylmässä.....	38
6.4.4	Testi 4 kylmässä.....	42
6.4.5	Testi 5 kylmässä.....	44
6.4.6	Testi 6 kylmässä.....	46
7	Prototyypin kehitysehdotukset .....	51
7.1	Kansi.....	51
7.2	Korotusteline .....	52
7.3	Lämpötilan mittaus.....	53
8	Tulokset.....	54
9	Pohdinta .....	55
	Lähteet.....	56
	Liitteet .....	58
	Liite 1. Vaatimuslista .....	58

## Kuviot

Kuvio 1.	Kuormituskehä .....	6
Kuvio 2.	Luonnosteluvaiheen työaskeleet (Perustuu: Pahl & Beitz 1990, 72) .....	11
Kuvio 3.	Klemens Torggler -ovi (Klemens Torggler n.d.) .....	12
Kuvio 4.	Viimeistelyn työaskeleet (Perustuu: Pahl & Beitz 1990, 458).....	15

Kuvio 5. Nestemäisellä tyypellä toimiva kylmäkammio (Metallien kylmäkäsittely n.d., 20).....	17
Kuvio 6. Mekaanisen jäähtyksen komponentteja (Viitala 2007, 48) .....	18
Kuvio 7. Mittausjärjestelmä (Perustuu: Alciatore & Histan 2007, 5).....	21
Kuvio 8. LH-Liftin työntövarsia .....	26
Kuvio 9. Testikokoonpano huoneenlämmössä .....	28
Kuvio 10. Kylmätestien kokoonpano.....	29
Kuvio 11. Yläpuolen läpiviennin sijainti suhteessa kiinnikkeisiin .....	30
Kuvio 12. Testikokoonpanojen erot laboratoriopakastimen kanssa. Vasemmalla puiset lankut ja oikealla korotettu kansi. ....	30
Kuvio 13. Teräsrakenteinen korotusteline .....	31
Kuvio 14. Laboratoriopakastimen asettelu kuormituskehälle .....	32
Kuvio 15. Kumiköyden kiinnitys .....	33
Kuvio 16. Anturien paikoitusten erot. Vasemmalla testin 6 puolivälissä käytetty paikoitus ja oikealla muissa kylmätesteissä käytetty paikoitus. ....	34
Kuvio 17. Työntövarsi .....	35
Kuvio 18. Testissä 1 katkennut työntövarsi .....	37
Kuvio 19. Testissä 2 periksi antanut alakiinnike.....	38
Kuvio 20. Testin 3 lämpötilamittaus 1.....	39
Kuvio 21. Testin 3 lämpötilamittaus 2.....	40
Kuvio 22. Testin 3 lämpötilamittaus 3.....	40
Kuvio 23. Testissä 3 murtunut työntövarsi .....	41
Kuvio 24. Testissä 3 murtunut alakiinnikkeen akseli .....	41
Kuvio 25. Testin 4 lämpötilamittaus 1.....	43
Kuvio 26. Testin 4 lämpötilamittaus 2.....	43
Kuvio 27. Testissä 4 murtunut työntövarsi .....	44
Kuvio 28. Testin 5 lämpötilamittaus.....	45
Kuvio 29. Testissä 5 murtunut työntövarsi .....	45
Kuvio 30. Testissä 6 murtunut kiinnike .....	46
Kuvio 31. Testin 6 lämpötilamittaus 1.....	48
Kuvio 32. Testin 6 lämpötilamittaus 2.....	49
Kuvio 33. Testin 6 lämpötilamittaus 3.....	49

Kuvio 34. Testin 6 lämpötilamittaus 4.....	50
Kuvio 35. Testin 6 lämpötilamittaus 5.....	50
Kuvio 36. Testin 6 lopputulos.....	51
Kuvio 37. Kehitysehdotus korotustelineeseen.....	53

## Taulukot

Taulukko 1. Testin 1 koeajopäiväkirja.....	36
Taulukko 2. Testin 2 koeajopäiväkirja.....	37
Taulukko 3. Testin 3 koeajopäiväkirja.....	39
Taulukko 4. Antureiden lukemat niiden luotettavuutta arvioidessa.....	42
Taulukko 5. Testin 4 koeajopäiväkirja.....	42
Taulukko 6. Testin 5 koeajopäiväkirja.....	44
Taulukko 7. Testin 6 pienemmän sylinterin koeajopäiväkirja.....	47
Taulukko 8. Testin 6 isomman sylinterin koeajopäiväkirja.....	48

# 1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön juuret ovat kahdessa Jyväskylän ammattikorkeakoulun projektissa: DYNKRAT ja DRAJA. Nämä projektit keskittyivät testiympäristön luomiseen ja parantamiseen. Parhaimmassa tapauksessa niiden tuloksena on Keski-Suomen yritysten tuotteiden ja kilpailukyvyn parantuminen.

## 1.1 DYNKRAT-projekti

Eräs insinöörin tärkeimmistä työtehtävistä on ennustaa: Milloin laakeri saavuttaa käyttöikänsä? Kuinka paljon ja minkälaisia resursseja tarvitaan paperikoneen valmistukseen? Minkälainen keskijännitys aiheuttaa dynaamisen kuormituksen alaisena olevan teräsrakenteen murtumisen? Muun muassa tämän viimeisen kysymyksen selvittämisen avuksi Jyväskylän ammattikorkeakoulu aloitti DYNKRAT-projektin yhteistyössä alueen yritysten kanssa.

DYNKRAT-projektissa Jyväskylän ammattikorkeakoululle rakennettiin nimensä mukaisesti dynaamisesti kuormitettujen rakenteiden analysointi ja testausympäristö, jonka asiakkaat ovat tuotekehitystä tarvitsevat Keski-Suomen yritykset. Testausympäristön tarve olikin lähtöisin alueen pk-yrityksiltä, joiden teollisuus on keskittynyt paperikoneisiin, maatalouskoneisiin sekä vaihteistoihin. Tämän tyyllisen teollisuuden lopputuote on rakenteeltaan sellainen, että sen lujuustekninen tarkastelu on haastavaa ja täten laskujen tueksi tarvitaan empiirisiä testejä. (EAKR:n rahoittaman projektin kuvaus n.d.)

Testausympäristö koostuu metallisesta tukikehikosta, kahdesta eri voima-arvot omaavasta hydraulikkasynteristä sekä niille voiman tuottavasta hydraulikkajärjestelmästä ja kaiken kontrolloivasta ohjausjärjestelmästä. Testausympäristöä kutsutaan lyhyesti kuormituskehäksi (ks. kuvio 1).





Kuvio 1. Kuormituskehä

Staattista voimaa sylinterit tuottavat 600 kN ja 250 kN. Testattava kappale voi maksimissaan painaa 3000 kg ja testaustilan mitat ovat 1 m \* 1,5 m \* 1,8 m. (JAMKin laboratoriolle jo neljäs tärkeä akkreditointi 2014.)

## 1.2 DRAJA -projekti

Dynaamisen rakennetestausta- ja analyysiympäristön jatkokehityshanke (DRAJA) on jatkoa DYNKRAT-projektille. Siinä testausympäristöä on tarkoitus kehittää vastaamaan enemmän lopputuotteiden oikeita käyttöympäristöjä ja eritoten

äärimmäisiä olosuhteita niissä. (Kurki, Nieminen & Matilainen 2012.) Näitä ovat muun muassa äärimmäiset lämpötilat, suolasumu ja kosteus.

### **1.3 Olosuhdekaappi opinnäytetyönä**

Opinnäytetyössä tuli suunnitella, rakentaa ja testata ensimmäinen prototyyppi olosuhdekaapista, jonka vaatimuksena oli äärimmäinen kylmyys, -40 °C.

Opinnäytetyö toteutettiin DRAJA-projektin osaprojektina. Tavoitteena oli saada mallikaappi ja sille hinta, jonka perusteella pystyttäisiin arvioimaan toisen kokoisen kaapin hinta testien suunnittelua varten. Tehtävänantoon kuului myös lämpöhäviöiden laskentatyökalun kehittäminen esimerkiksi Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Opinnäytetyön menetelmänä käytettiin järjestelmällistä tuotekehitysprosessia ja siinä edellytettiin perehtymistä kylmä- ja mittaustekniikkaan.

## **2 Järjestelmällinen tuotekehitys**

### **2.1 Pahlin ja Beitzin tuotekehitysprosessi**

Opinnäytetyön ehkä tärkein osa-alue onnistumisen kannalta oli, että projekti saatiin pysymään aikataulussa. Haasteita opinnäytetyön projektissa oli tiivis aikataulu sekä projektin sijoittuminen kesälomien ajalle, mikä aiheutti epävarmuutta mahdollisissa tavarantoimituksissa. Myös rahalliset resurssit toteutukseen olivat tavoitteeseen verrattuna minimaaliset. Projektin onnistumista varten työkaluksi kehitettiin aikataulu, joka pohjautui löyhästi Gerhard Pahlin sekä Wolfgang Beitzin (1990) Koneensuunnitteluoppi -kirjan tuotekehitysprosessiin. Muutoksia prosessiin tarvittiin kuitenkin paljon, sillä se ei sisällä tuotteen prototyyppin valmistus- ja testausvaihetta.

Kirja on iästään huolimatta vielä tänäkin päivänä erittäin merkityksellinen työkalu mekaniikkasuunnittelijalle – kunhan tietoa osaa soveltaa nykypäivän

valmistustekniikkaan, tietotekniikkaan sekä muuttuneisiin käsityksiin ja standardeihin. Parasta kirjassa esitellyssä prosessissa on sen yksinkertaisuus, joka mahdollistaa sen käyttämisen oikein sovellettuna miltei rajattomasti tekniikan alan projekteissa.

Pahl ja Beitz (1990) ovat jakaneet tuotekehitysprosessin neljään osa-alueeseen: clarification of the task, conceptual design, embodiment design sekä detailed design. Osa-alueet Uolevi Konttinen on suomentanut seuraavalla tavalla:

1. Clarification of the task = tehtävänasettelun selvittäminen
2. Conceptual design = luonnostelu
3. Embodiment design = kehittäminen
4. Detail design = viimeistely

## 2.2 Tehtävänasettelun selvittäminen

Kaikki tuotekehitysprojektit sisältävät tietyt reunaehdot, joiden on projektin onnistumisen ja tuotteen optimaalisen konstruktion kannalta täytyttävä. Tätä varten tehtävänasettelu täytyy selvittää alusta asti huolellisesti ja projektin edetessä pystytään keskittymään vain välttämättömiin täydennyksiin ja korjauksiin. (Pahl & Beitz 1990, 62.)

Pahl ja Beitz (1990, 64–69) esittävät kirjassaan tehtävänasettelun selvittämistä varten työkalun, jonka avulla tuotekehitystiimi pysyy hyvin mukana tuotteen vaatimuksista. Tätä työkalua, vaatimuslistaa, käytettiin myös tämän opinnäytetyön projektissa.

Vaatimuslistan valmistelu alkaa selvittämällä vaaditut tavoitteet ja rajoitukset *vaatimusten, vähimmäisvaatimusten ja toivomusten* muodossa. Vaatimus on sellainen piirre, joka pitää täyttää kaikissa tapauksissa tai muuten ehdotettu ratkaisu on hylättävä. Vähimmäisvaatimus poikkeaa tästä siinä, että sillä on yleensä jokin lukuarvo rajana. Tämän ylittäminen tai alittaminen on sallittua ja jopa toivottavaa. Toivomukset taas otetaan huomioon resurssien salliessa. Toivomuksia voi tarkentaa luokittelemalla ne erittäin, keskinkertaisen tai vähemmän tärkeiksi. Vaatimukset tulee mielellään esittää tarkkoina lukuarvoina. Mikäli tämä ei ole

mahdollista, täytyy sanalliset vaatimukset laatia mahdollisimman selvästi.

Yhteenvetona vaatimuslista on ”kaikkien vaatimusten ja toivomusten luettelo niiden osastojen kielellä, joiden on toteutettava konstruktio”. Sitä pystytään pitämään työskentelyn perusasiakirjana, kunhan sen päivittämisestä huolehditaan tarkasti. (Mts. 64.)

Tilaaajan visiota on monesti hankala toteuttaa, joten tavoitteiden selvitys on jokaisen tuotekehitysprojektin kulmakivi. Tilaaja ei aina ole kehitystä tarvitsevan tuotteen alalla ammattilainen, joten hänen käyttämänsä termit saattavat poiketa alan termeistä. Tuotekehitysryhmän vastuulla on siis selvittää tilaaajan visio, jota hän ei välttämättä osaa edes selittää. Pahinta on, että tässä vaiheessa projektia tehdyt pienet virheet kertaantuvat projektin myöhemmissä osissa ja vaarantavat koko projektin menestyksen. Tuotekehitysinsinöörin täytyy siis olla erittäin tarkka tavoitteiden selvittämisessä ja pyrkiä ohjaamaan projektin resurssit aikataulua suunniteltaessa oikeisiin kohtiin. Myös turhan tarkka järjestelmällisyys voi olla pahasta, sillä tuotekehitysprojektin luonne on sen tyylinen, että suunnitelmat voivat mennä täysin uusiksi uuden tiedon ilmetessä. Tästä syystä tuotekehitysinsinöörin täytyy olla myös joustava. Aikataulu kannattaa siis tehdä pääpiirteittäin ja keskittyä enemmän konkreettisiin virstanpylväisiin, joiden avulla pystytään kuitenkin varmistumaan, että projekti on yhä aikataulussa. Esimerkkinä pyörän laakeroinnin suunnittelu: Sen sijaan, että varataan jokaiselle komponentinvalinnalle oma työvaihe, merkataan aikataulutukseen laakeroinnin suunnittelu yhtenä pakettina. Mikäli tarvetta tarkemmalle aikataulutukselle työvaiheen kohdalla on, niin sellainen voidaan tehdä erikseen työvaiheen osuessa kohdalle.

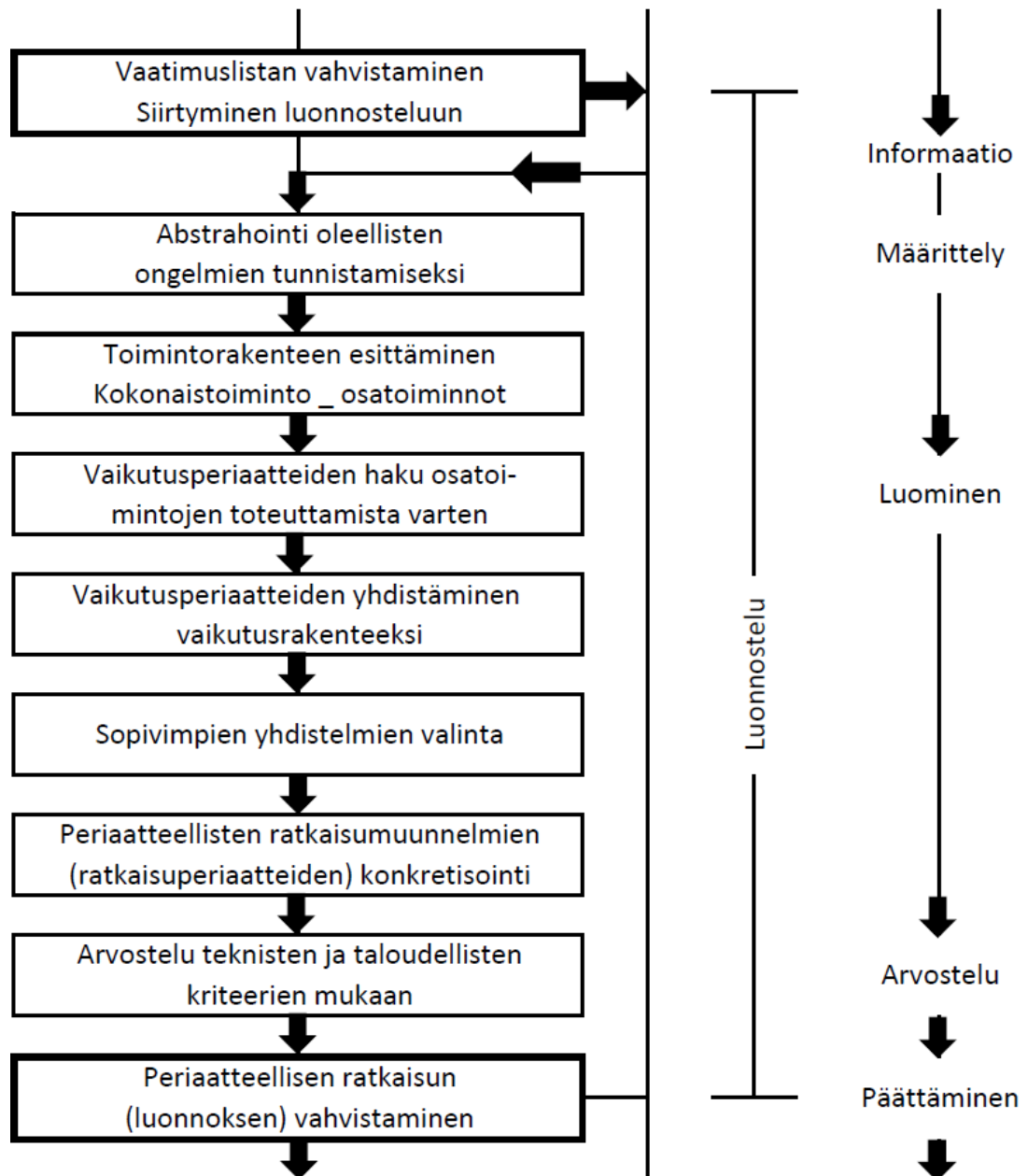
### **2.3 Luonnostelu**

Ennen konseptin suunnitteluvaihetta on tärkeää kartoittaa, onko tavoitteiden selvitys tarpeeksi pitkällä, jotta luonnoksia eli konsepteja voidaan ruveta laatimaan. Pahl ja Beitz (1990, 71) kutsuvat tätä päätöksentekoa skeleeksi ja he esittävät listan kysymyksiä, joita voi käyttää avuksi kartoittamisprosessissa:

1. Onko tavoitteiden selvitys jo niin pitkällä, että luonnostelu voidaan aloittaa?

2. Täytyykö esitietoja hankkia vielä lisää?
3. Voidaanko jo nyt havaita, että tavoitteet ovat mahdotonta saavuttaa?
4. Voidaanko käyttää jo olemassa olevia ratkaisuja ja jättää konseptin suunnitteluvaihe välistä?
5. Jos konseptin suunnitteluvaihe on käytävä läpi, niin miten ja kuinka laajasti se täytyy toteuttaa?

Luonnostelun työnkulku on havainnollistettu kuviossa 2, joka on muuten maallikollekin helposti ymmärrettävissä, mutta käsitettä *abstrahointi* täytyy avata hiukan: Abstrahoinnin tarkoitus on saada määriteltyä tavoite abstraktilla tasolla sitoutumatta minkäänlaiseen ratkaisuun. Siinä pyritään hajottamaan ennakkokäsitykset ja vapautumaan tavanomaisista mielikuvista. Tämä on tärkeää optimaalista ratkaisua haettaessa, sillä suunnittelija saattaa jämähtää ensimmäiseen toteutusperiaatteeseen edes harkitsematta tai kehittämättä muita. (Pahl & Beitz 1990, 73–74.)



Kuvio 2. Luonnosteluvaiheen työaskeleet (Perustuu: Pahl & Beitz 1990, 72)

Esimerkkinä abstrahoinnista voidaan ottaa tehtävänanto ovesta. Kun suunnittelijalle annetaan tehtäväksi kehittää ovi, niin hänen ennakkokäsityksensä tehtävänantoa kohtaan ovat vahvat: suunnikkaan muotoinen oviaukon peittävä rakenne, jossa on saranat sekä jonkinlainen kahva. Jos tehtävänasettelu kuitenkin abstrahoidaan ja ilmaistaan esimerkiksi muodossa ”Rakenne, joka tiivistää kulkuaukon, mutta mahdollistaa sisään ja ulos kulkemisen rakennukseen”, niin suunnittelijan innovatiiviset ideat saadaan kaivettua parhaiten esille. Kuviossa 3 näkyvän oven suunnittelussa suunnittelija on irtautunut hyvin ennakkokäsityksistä. Lopputulos on

kuitenkin enemmän taiteellinen kuin käytännöllinen, joka ei yleensä ole koneinsinöörin ensimmäinen prioriteetti.



Kuvio 3. Klemens Torggler -ovi (Klemens Torggler n.d.)

## 2.4 Kehittely

Projektin kehittelyvaiheessa on tarkoitus kehittää valitun konseptin periaatteellista ratkaisua eteenpäin. Tavoitteena on saada tekniset ja taloudelliset näkökohdat yksiselitteisiksi ja täydellisiksi. Kehittelyn jälkeen tuloksena on rakennemuodon päättäminen. (Pahl & Beitz 1990, 176.)

Kehittelyvaiheelle on mahdotonta luoda täydellistä aikataulutusta, jota seurataan orjallisesti, koska

– useita toimintoja täytyy suorittaa samanaikaisesti

– monet työvaiheet täytyy iteroida uuden tiedon ilmetessä

– muutokset ja lisäykset vaikuttavat jo valmiiseen rakennemuotoiluun.

Kehittelyvaiheeseen voi kuitenkin käyttää 15-askeleista menetelmää, jolla tuotteen ominaisuudet saadaan muutettua laadullisista määrällisiksi, abstrakteista konkreettisiksi tai karkeahahmottelusta tarkkaan rakennemuotoiluun:

1. Vaatimuslistasta otetaan huomioon ne vaatimukset, jotka vaikuttavat suoraan rakennemuotoon. Tällaisia ovat esimerkiksi mittoja, järjestelyä ja työaineiksi määräävät vaatimukset.
2. Seuraavaksi selvitetään rakennemuotoilun kolmiulotteiset rajat eli tilaehdot.
3. Kolmannen askeleen tarkoituksena on karkeasti hahmottelemalla ja preliminääreillä työainesvalinnoilla kehittää kokoonpanorakenne. Huomioitavana on myös päätoimintoja toteuttavat rakenneosat.
4. Tehdään alustavia kehitelmiä yhdistelemällä ja muokkaamalla päätoimintoja toteuttavia rakenneosia.
5. Seuraavaksi alustavat kehitelmät arvostellaan ja valitaan yksi tai useampi kehitelmä jatkokehittelyyn.
6. Keskitytään karkeahahmottelemaan täydentävästi niitä päätoimintojen toteuttimia, jotka ovat jääneet tutkimatta sen vuoksi, että ne jo tunnetaan, päätös niiden suhteen on jo tehty, ne ovat riippuvaisia muista tai ne eivät ole vielä määränneet rakennemuotoilua.
7. Selvitetään tarpeelliset sivutoiminnot, kuten kiinnitys- ja tukemistoiminnot ja käytetään mahdollisesti tunnettuja ratkaisuja, kuten standardiosia tai luetteloratkaisuja.
8. Hienomuotoillaan päätoiminnon toteuttimet.
9. Hienomuotoillaan sivutoiminnon toteuttimia ja esitetään kaikki toimintojen toteuttimet yhdistettynä.
10. Arvostellaan yhdistetty tuote pistearvioinnilla taloudellisten ja teknisten kriteerien mukaan.
11. Vahvistetaan alustavan rakennemuotoilun kokonaiskehitelmä.



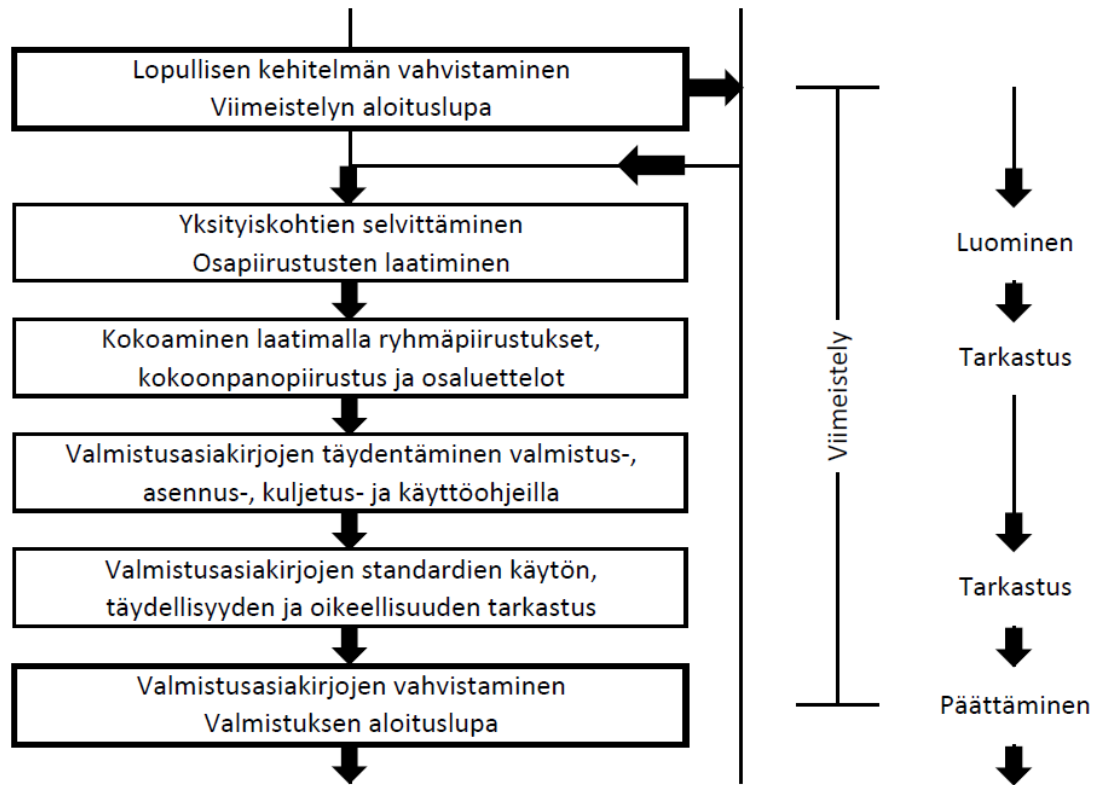
12. Optimoidaan ja viimeistellään rakennemuotoilu poistamalla pistearvioinnissa esiin tulleet heikkoudet. Tarvittaessa toistetaan edelliset työvaiheet.
13. Tarkastetaan kehitelmän virheet ja häiriösuureiden vaikutus. Viimeistään tässä vaiheessa on tarkistettava, että tavoitteeseen päästään myös kustannusten osalta.
14. Täydennetään lopullista kokonaiskehitelmää alustavilla osaluetteloilla sekä valmistus- ja asennusohjeilla.
15. Vahvistetaan lopullinen kokonaiskehitelmä sekä luovutetaan se viimeistelyyn.

Yhteenvedona kehittelyvaihetta mietittäessä täytyy pitää mielessä, että menettelytavan täytyy olla joustava ja yksittäiset työaskeleet valitaan tilanteen mukaan ja sovelletaan niitä. On siis tärkeää pystyä itse ohjaamaan työskentelyään ottamalla kuitenkin huomioon annetut suositukset. (Mts. 177–181.)

## 2.5 Viimeistely

Tuotekehityksen viimeisenä osana on viimeistely, jossa kehittelyn lopullinen kokoonpanorakenne täydennetään lopullisilla määräyksillä (ks. kuvio 4). Nämä määritykset koskevat kaikkien osien muotoa, mitoitusta, pinnan laatua ja materiaaleja. Viimeistelyvaiheessa päätetään myös valmistus- ja käyttömahdollisuudet ja lopulliset kustannukset sekä laaditaan sitovat asiakirjat ja työpiirustukset kehitelmän toteuttamista ja hyödyntämistä varten. Tuloksena on siis valmistustekniikoiden päättäminen sekä tuotedokumentit, kuten käyttöohjeet. (Pahl & Beitz 1990, 458.)

Järjestelmällisen tuotekehityksen tuloksena on projektin onnistuessa suunnitelma tuotteesta, sen valmistuksesta ja käytöstä. Oikein suoritettuna projektin sivutuotteena on syntynyt myös muita mahdollisia toteutuskelpoisia konsepteja, joita voidaan pitää varasuunnitelmana, mikäli valittu ja kehitelty konsepti ei jostain syystä toimi. Sen takia tärkeimpänä osa-alueena projektissa voidaankin pitää hyvin tehtyä dokumentointia.



Kuvio 4. Viimeistelyn työaskeleet (Perustuu: Pahl & Beitz 1990, 458)

### 3 Kylmäteknikka

Opinnäytetyössä päätettiin keskittyä kahden eri jäähdytystavan selvittämiseen samalla kuitenkin etsien muita mahdollisuuksia. Projektin edetessä nämä kaksi päätyivät lopulta olemaan ainoat edes teoreettisesti toteutettavissa olevat vaihtoehdot. Jäähdytystavat olivat nestemäinen tyyppi ja mekaaninen jäähdytys eli kompressori.

#### 3.1 Nestemäinen tyyppi jäähdytyksessä

Kylmäkäsittelyt voidaan jakaa kahteen eri luokkaan: suoraan ja epäsuoraan jäähdytykseen. Nestemäisen tyyppien käyttäminen kuuluu suoraan jäähdyttämiseen. Yleisesti nestemäistä tyyppiä käytetään suuttimilla, jotka muuttavat tyypin erittäin kylmäksi kaasuksi. Kappaleen jäähtyminen perustuu tämän höyrystymisreaktion

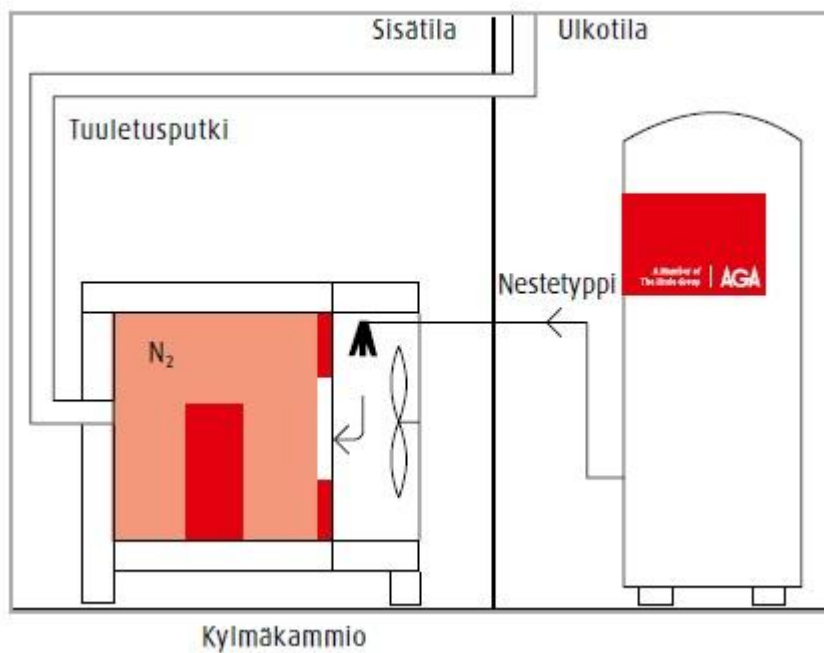
sitomaan lämpöön. (Metallien kylmäkäsittely n.d., 18.) Nestemäisellä typellä on teollisuudessa neljä käyttökohdetta: Elintarvikkeiden pakastaminen, kutistussovellus, kemikaalien turvallinen valmistus ja elintarvikkeiden pakkaaminen (Typen käyttökohteet 2012).

Elintarviketeollisuus on nestemäisen typen merkittävin käyttöympäristö. Nestemäistä typpeä käytetään muun muassa lihan, kalan, kanan, maitotuotteiden, leivonnaisten sekä useiden muiden tuotteiden pakastamiseen. Merkittävin etu nestemäisen typen käytössä on sen nopeus: se pakastaa elintarvikkeet nopeammin kuin mekaaninen jäähdytys. Tämä estää veden vuotamisen soluista ja haitallisten jääkiteiden muodostumista elintarvikkeen sisälle. Typpi myös estää haitallisten bakteerien hapensaantia, mikä estää niiden kasvamisen ja lisääntymisen. (Mt.)

Merkittävin eroa nestemäisen typen käytössä jäähdytyksessä verrattuna mekaaniseen jäähdytykseen on kylmäaineen kierto. Nestemäinen typpi johdetaan suoraan kylmäkammioon, minkä jälkeen se haihtuu ilmakehään (ks. kuvio 5). Mekaanisessa järjestelmässä kylmäaine kiertää kompressorin ja lauhduttimen väliä ideaalitapauksessa laitteen koko käyttöiän (Nydal 2008, 59). Tästä syystä nestemäisen typen käytössä suuri painoarvo suunniteltaessa laitetta on typen jakelu sekä tietenkin hinta.

Nestemäisen typen käytössä ovat seuraavat rakenteet tärkeitä: varastosäiliö, putkisto ja jäähdytyskammio. Säiliön koon määrittää prosessissa kuluvan typen määrä. (Metallien kylmäkäsittely n.d., 20)

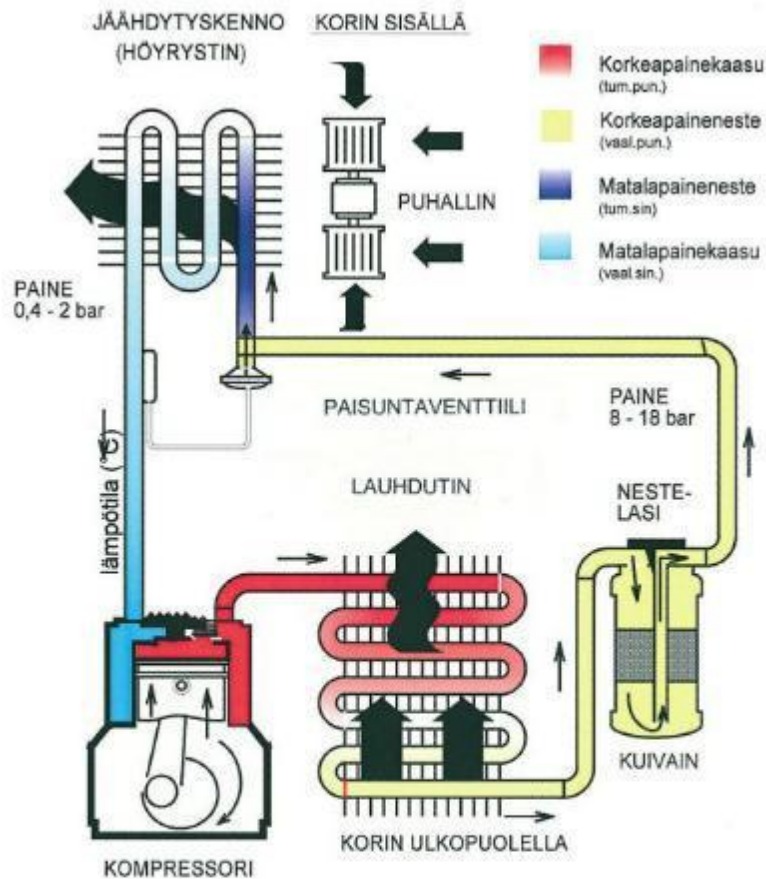
Esimerkki nestemäisellä typellä jäähdytetystä kylmäkammioista nähdään kuviossa 5. Eristettyyn kammioon ohjataan nestemäistä typpeä putkistoa pitkin. Nestemäinen typpi jäähdyttää halutun kappaleen tuulettimen tehostaessa ja tasatessa jäähdytystä.



Kuvio 5. Nestemäisellä tyypellä toimiva kylmäkammio (Metallien kylmäkäsittely n.d., 20)

### 3.2 Mekaaninen jäähdytys

Mekaanisessa jäähdytyksessä tärkeimmät komponentit ovat kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili, höyrystin ja putkisto (ks. kuvio 6). Järjestelmän sisällä virtaava kylmäaine muuttaa olomuotoaan sitoen lämpöenergiaa höyrystyessään kylmäpuolella ja luovuttaen lämpöenergiaa lauhtuessaan. (Nydal 2008, 59.)



**KOMPRESSORI** - puristaa ja kierrättää kylmäainetta

**LAUHDUTIN** - luovuttaa lämpöä ulkoilmaan ja muuttaa kylmäaine kaasun nesteeksi.

**JÄÄHDYTYSKENNO (höyrystin)**  
- poistaa lämpöä korista ja kylmäaineneste muuttuu kaasuksi.

Kuvio 6. Mekaanisen jäähdtyksen komponentteja (Viitala 2007, 48)

Kompressorin tehtävä on ylläpitää höyrystymisprosessia: se imee höyrystimestä höyryä ja pitää paineen matalana, jotta nesteen höyrytyminen jatkuu. Höyrystynyt kylmäaine imetään kompressorin imupuolen venttiilien kautta sylinteriin, jossa se puristetaan pienempään tilavuuteen. Näin kaasu saa suuremman tiheyden ja korkeamman lämpötilan. (Mts. 59–60.)

Kompressorista korkeassa paineessa oleva kaasu johdetaan putkistoa pitkin lauhduttimeen, jonka tehtävänä on poistaa kaasusta lämpöenergiaa. Tässä prosessissa höyry muuttuu takaisin nesteeksi. Jäähdytysaineena on yleensä ilma tai vesi. Lauhduttimessa lämpöenergia virtaa luonnostaan korkeammasta matalampaan lämpötilaan – lauhduttimen putkien läpi jäähdytysaineeseen. Kylmäjärjestelmän

toiminnalle on välttämätöntä, että saatavilla on riittävästi korvaavaa jäähdytysainetta edellisen lämmenneen tilalle. (Mt. 60.)

Paisuntaventtiili eli kuristuselin päästää sopivan määrän kylmäainetta höyrystimeen ja pitää huolen korkea- ja matalapainepuolen paine-erosta. Lauhduttimelta tuleva kylmäaine on nestemäisessä muodossa, ja paisuntaventtiilin läpäistessään se alkaa painehäviön takia välittömästi höyrystyä. Höyrystyessään kylmäaine alkaa sitoa lämpöenergiaa. (Mt. 60.)

Paineventtiililtä höyrystynyt kylmäaine jatkaa matkaansa välittömästi höyrystimelle. Höyrystin toimii lämpöä sitovana elimenä, joten haluttaessa jäähdytystä täytyy höyrystin olla sijoitettuna jäähdytettävään tilaan. Rakenteeltaan höyrystin voi olla esimerkiksi putkikierukka, johon on kiinnitetty lamelleja käyttötarkoituksesta riippuen. (Mt. 61.)

## 4 Mittaustekniikka

Mittaaminen on käytännössä jokaisen ihmisen arkipäiväistä toimintaa, eikä välttämättä vaadi kovin suurta perehtymistä mittaustekniikkaan tai mittaustieteeseen. Aamulla herätyskellon soidessa sen käyttäjä on mitannut aikaa ja asettanut automaattisen hälytyksen tietyn rajan täytyessä. Sama henkilö siirtyy keittiön puolelle ja kaataa desilitramittaan ruishiutaleita – jo päivän toinen mittaus ennen aamupalan nauttimista. Ravittuna ja vielä hiukan väsyneenä henkilö siirtyy auton rattiin ja vilkaisee bensamittaria. Vielä riittää töihin asti, mutta paluumatkalla on tankattava. Moottoritiellä nopeusmittari näyttää 120 km/h, mikä on tällä tieosuudella sallittua. Lisäksi arjen sankarimme tietää mittarin näyttävän 5 km/h enemmän, mitä Myyrmäen Korutien melkein uusi nopeusnäyttö. Ylinopeudesta ei siis ole pelkoa. Henkilö vilkaisee vielä kerran varmistaen nopeuden olevan 120 km/h ja jatkaa jo puuduttavalta tuntuvaa matkaa kohti toimistoa.

Samantyylliset mittaustapahtumat jatkuvat koko päivän ilman, että mittalaitteiden käyttäjä edes välttämättä tiedostaa mitanneensa mitään. Näistä

mittaustoimenpiteistä selvittiin rutiinin turruttamalla tavalla. Ne eivät vaatineet suunnittelua tai koejärjestelyitä. Kuitenkin testiympäristössä mittaustekniikka vaatii erityistä huomiota, järjestelmällisyyttä sekä huolellisuutta.

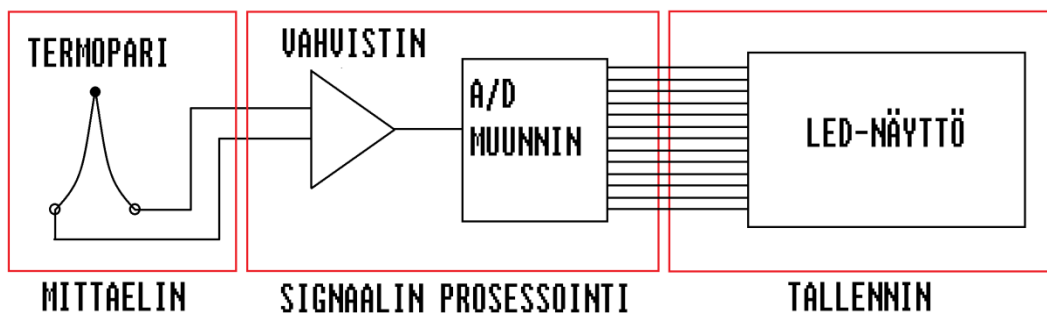
Mittaustieteessä eli metrologiassa keskeisiä osa-alueita ovat suureet, mittayksiköt ja niiden mittanormit, mittaukset, mittaustulosten käsittely ja niiden luotettavuuden arviointi ja mittausten inhimilliset tekijät (Aumala 2003, 13). Esimerkkeinä näistä metrologian osa-alueista voimme ottaa heränneen henkilömme ajoneuvon nopeuden mittauksen. Suureena on siis nopeus, mittayksikkönä km/h ja mitta suoritetaan analogisesta mittarista. Mittauksen suorittaja on myös tietoinen mittalaitteen virheestä, joten mittaustulosten käsittely ja niiden luotettavuuden arviointi on suoritettu. Lopussa henkilö vielä varmistaa nähneensä nopeuslukeman oikein. Hän siis minimoi mittausten inhimillisten tekijöiden aiheuttavat virheet.

Jotta mittaustekniikasta saadaan hyvä tietämys ja sen perusteella suoritettua luotettava mittaustapahtuma, tarvitaan seuraavien Aumalan (2003, 14–15) määrittämien mittaustekniikan osa-alueiden tuntemista:

1. anturitekniikka
2. signaalitekniikka
3. mittausjärjestelmät

Mittaustapahtumaa suunniteltaessa huomiota on siis kiinnitettävä metrologian peruskäsitteiden lisäksi anturien valintaan, signaalin siirtoon, tallennukseen ja käsittelyyn sekä kaiken tämän yhteen nitovaan mittausjärjestelmään.

Yksinkertaisimmillaan mittausjärjestelmä voi olla Alciatoren ja Histanadin (2007, 5) esittämä termoparin, signaalin prosessointijärjestelmän ja näytön yhdistelmä (ks. kuvio 7).



Kuvio 7. Mittausjärjestelmä (Perustuu: Alciatore & Histan 2007, 5)

Opinnäytetyön projektissa mittauselintä valittaessa tuli alusta alkaen selväksi, että kustannustehokkain ja saatavuudeltaan paras vaatimukset täyttävä vaihtoehto oli termopari. Myös mittausjärjestelmä tätä anturia varten oli JAMK:lla jo olemassa. Tästä syystä syvempää mittaelinten teoriaselvitystä ei ollut tarpeellista tehdä.

### Termopari

Termopari muodostuu, kun kaksi erilaista metalli- tai metalliseosjohdinta yhdistetään piirin toisesta päästä. Kaikilla termopareilla on niin sanottu kuuma ja kylmä liitäntä. Johtimen toinen pää, kuumaliitos, viedään tilaan, jonka lämpötilaa halutaan mitata ja kylmäliitosta pidetään referenssi lämpötilassa – esimerkiksi 0 °C. Sitä voidaan myös kompensoida elektronisesti. Kun päät altistetaan eri lämpötiloille, syntyy johtimiin virta, joka on verrannollinen niiden lämpötilaerolle. Lämpötila mittapäässä määritellään millivolttien suuruuden, referenssilämpötilan sekä termoparityypin perusteella. (Alciatore & Histan 2007, 533)

Kylmäliitos eli referenssipiste voidaan vaatimattomissa sovelluksissa pitää huoneenlämmössä, kunhan vertailulämpö on stabiili. (Aumala 2003, 88.)

## 5 Opinnäyteprojektin vaiheet

Ensimmäinen työvaihe opinnäytetyön alkaessa oli aikataulun laatiminen. Aikaa projektilla oli toukokuun puolesta välistä elokuun loppuun – tiedossa siis oli, että projekti on kiireinen. Projektin eri työvaiheet jaettiin neljään osaan Pahlin ja Beitzin



(1990) järjestelmällisen tuotekehityksen mukaan. Niitä kuitenkin sovellettiin opinnäytetyöprojektiin sopivammiksi ja ne nimettiin uudelleen niitä paremmin kuvaavilla termeillä seuraavanlaisesti:

1. tehtävänasettelun selvittäminen = tavoitteiden selvitys
2. luonnostelu = konseptin suunnittelu
3. kehittäminen = prototyypin rakennus
4. viimeistely = prototyypin testaus

Myös eri työvaiheisiin sisältyvät työtehtävät päätettiin tässä vaiheessa. Työtehtäviksi aikatauluun kirjattiin projektisuunnitelman laatiminen, tiedonhankinta, esisuunnittelu, mahdollisten työpiirustusten laatiminen, kaapin valmistus tai valmistuttaminen, testauksen suunnittelu, testit ja tarvittaessa muutosten teko, ratkaisuvaihtoehtojen selvittäminen, raportin kirjoittaminen ja myöhemmin lisätty materiaalien hankinta.

## **5.1 Tavoitteiden selvitys**

Projektin ensimmäisen vaiheen, tavoitteiden selvityksen, tarkoituksena oli saada esille kiinteät vaatimukset, vähimmäisvaatimukset sekä piileskelevät toivotut ominaisuudet prototyypikaapille. Samalla selvitettiin koko projektin tavoitteita. Näiden perusteella pystyttiin laatimaan vaatimuslista, joka toimi yleisesti lähtökohtana suunnittelulle (ks. liite 1 s. 58). Vaatimuslistaa täydennettiin sekä korjattiin projektin edetessä.

Tavoitteiden selvitysvaiheessa myös päätettiin kohdistaa resurssit jäähdytysjärjestelmien suhteen mekaaniseen jäähdytykseen sekä nestemäisellä tyypellä jäähdytykseen. Myös kuivajää otettiin esille, mutta sen käsittelyn hankaluudesta johtuen se karsiutui joukosta hyvin pian.

## 5.2 Konseptin suunnittelu

Pahlin ja Beitzin (1990) luonnosteluvaihetta tässä projektissa vastannut konseptin suunnitteluvaihe sisälsi myös kehittelyn ja viimeistelyn. Prototyypin suunnittelu täytyi viedä kokonaisuudessaan läpi viidessä viikossa, minkä jälkeen sitä täytyi alkaa jo rakentamaan. Vaihtoehdot tässä vaiheessa olivat eristelevyistä valmistettava helposti purettavissa oleva kaappi, joka jäähdytettäisiin nestemäisellä typellä tai valmis laboratoriapakastin, joka muokattaisiin kuormituskehälle sopivaksi.

### **Nestemäisellä typellä jäähdytettävä kaappi**

Konsepti nestemäisellä typellä jäähdytettävästä kaapista oli yksinkertainen: rakennetaan eristelevyistä kaappi, joka jäähdytetään johtamalla nestemäistä typpeä kaapin sisään. Kartoitusvaiheessa ongelmia alkoi kuitenkin ilmaantua. Ensimmäisenä ongelmana oli lämpötilan kontrollointi. Typellä jäähdytettäessä kaksi lämpötilaa on helppo ylläpitää: 0 °C sekä -196 °C. Mikäli haluaa lämpötilan tältä väliltä, niin nestemäisen typen syöttöjärjestelmän täytyy olla automatisoitu. Tyyppijärjestelmän suunnitteluun liittyen ruvettiin ottamaan yhteyksiä yrityksiin, joilla saattaisi olla valmiudet kyseisen järjestelmän rakentamiseen, mutta hyvin nopeasti kävi ilmi, että projektin aikataulu ja budjetti ovat epärealistisia kyseisen järjestelmän toimittamiseen.

Toinen ongelma typen käytössä oli sen jakelu. Jäähdytyksessä typpeä kuluu paljon, ja sitä varten täytyy olla suuret säiliöt. Pelkästään säiliöiden lupien hankkimisessa olisi saattanut mennä kauemmin kuin projektin aikataulussa oli päiviä. (Kotliar, 2012.)

Oli myös tiedossa, että nestemäisen typen suurin vahvuus jäähdytyksessä on prosessin nopeus. Tämä ei kuitenkaan ollut tärkeä ominaisuus jäähdytyksessä tässä käytössä, sillä jäähdytys voitaisiin käynnistää jopa vuorokausi ennen testien alkamista.

### **Mekaanisesti jäähdytettävä kaappi**

Kompressorilla jäähdytettävää kaappia mietittäessä kysyttiin ensimmäisenä mielipidettä kylmäalan ammattilaiselta. Palaveri Jyvä-Jään suunnittelijan Matti Tikkasen (2012) kanssa antoi kuitenkin negatiivisen vastauksen: järjestelmä olisi mahdoton rakentaa projektin rajoissa. Suurimmiksi haasteiksi ilmenivät hinta, joka

ylittäisi budjetin moninkertaisesti, sekä komponenttien koko. Hintaa Tikkanen (2012) arvioi jäädytysjärjestelmälle noin 5000–6000 €

Myöhemmässä projektin vaiheessa löydettiin uudenlainen toteutusmahdollisuus – laboratoriapakastimeen. Nyt konseptiksi kehittyi valmis arkkupakastin, jonka kantta ja pohjaa modifioitaisiin niin, että kuormituskehän kiinnitykset sopisivat kaapin sisälle.

Projektin aikataulun kannalta tässä vaiheessa alkoi olla jo kiire. Ratkaisuvaihtoehtoja mietittäessä todettiin, että ainut toteutuskelpoinen vaihtoehto tämän projektin rajoissa olisi laboratoriapakastin. Maahantuojiilta kartoitettiin kaikki mahdollisuudet ja hankittiin kustannustehokkain ratkaisu, FRIGOR GLK-10. Tärkein asia laboratoriapakastimen hankinnassa oli selvittää, onko läpivientien teko mahdollista. Arkkupakastimissa höyrystinputket on sijoitettu eristeiden sisään, joten maahantuojalta selvitettiin höyrystinputkien sijainti. Ilmeni, että höyrystinputkia ei ollut pohjassa, mihin läpivienti oli tarkoitus sijoittaa. Laboratoriapakastin soveltui modifioitavaksi testikäyttöön.

### **5.3 Prototyypin rakennus**

Laboratoriapakastimen saavuttua aloitettiin välittömästi tarpeellisten modifiointien teko, jotta se soveltuisi kuormituskehällä käytettäväksi. Kansi irrotettiin ja se korvattiin eristelevyn palasilla, jotka saatiin suljettua käyttämällä kumiköyttä. Pohjaan porattiin koteloterällä läpivienti, jotta kuormituskehän alustasta saatiin tuotua kiinnitys testattavaan kappaleeseen. Lisäksi valmisteilla oli teräsrakenteinen korotustelineen, jonka päälle laboratoriapakastin asetettiin testikäytössä.

### **5.4 Testien suunnittelu**

Aikataulun tiukkuuden takia testien suunnittelussa tärkein asia oli komponenttien saatavuus. Testien suunnittelua varten järjestettiin palaverit JAMK:n konetekniikan lehtorin Markku Strömin ja laboratorioinsinööri Teppo Flyktmanin kanssa. Tärkein asia testeissä oli lämpötilan mittausjärjestelmä.

Flyktman (2012) kertoi järjestettävissä olevan mittausjärjestelmän koostuvan termopareista sekä niiden signaalinprosessointijärjestelmästä: National Instruments PX-1000B -keskusyksiköstä, adapterista sekä LabVIEW ohjelmiston 6.1 versiosta. Termopareiksi hän suositteli kustannustehokkuudeltaan sopivia K-tyyppin termopareja, jotka pystyttiin noutamaan läheisestä elektroniikkaliikkeestä.

Strömin (2012) kanssa keskustelu keskittyi tiedonkeruujärjestelmään. JAMK:lle oli jo suunnitteilla tähänkin tarkoitukseen sopiva järjestelmä, mutta valitettavasti se oli vasta tarjouskilpailussa. Projektissa jouduttiin siis tyytymään manuaaliseen tiedonkeruuseen: lämpötilat kirjattiin muistiin päätteeltä tunnin välein. Tämä johti siihen, että lämpötilat kirjattiin ainoastaan työaikana kello 8-16 välillä. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut merkittävästi testien tuloksiin.

## **6 Prototyypin testaus**

### **6.1 Testilaitteisto**

Testit suoritettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun konetekniikan testauslaboratoriossa kuormituskehällä. Pää tarkoituksena oli testata FRIGOR GLK-10 laboratoriapakastimen soveltumista testikäyttöön. Testattavina kappaleina toimi LH-Lift Oy:n työntövarret (ks. kuvio 8). Testit tehtiin maksutta LH-Lift Oy:lle sillä ehdolla, että he toimittivat työntövarsien kiinnitykseen tarvittavat osat, sekä pakastimen teräsrakenteisen korotustelineen. Näin testit saatiin järjestettyä mahdollisimman nopeasti ja kustannustehokkaasti.



Kuvio 8. LH-Liftin työntövarsia

#### **FRIGOR GLK-10 -60 °C**

FRIGOR GLK-10 on matalien lämpötilojen laboratoriapakastin, joka on suunniteltu laboratorioihin, sairaaloihin ja ruokateollisuuteen. Tilavuutta pakastimella on 130 litraa. Pienillä modifikaatioilla pakastin muokattiin vastaamaan JAMK:n tarpeita testattaessa kuormituskehällä työntövarsia. Pakastimessa on elektroninen termostaatti, jonka avulla normaalikäytössä lämpötila saadaan pysymään vakiona  $\pm 1$  K:n tarkkuudella.

#### **Termoparit ja niiden tiedonkeruujärjestelmä**

Lämpötilan mittaamiseen pakastimeen sijoitettiin kolme K-tyyppin termoparia. Paikointi vaihteli testistä riippuen. Tarkat sijoituspaikat löytyvät testien tarkemmista kuvauksista luvusta 6.3.

Tiedonkeruussa toimi National Instruments PX-1000B -keskusyksikkö, adapteri sekä LabVIEW:n versio 6.1 -ohjelmisto. Varsinaista datankeruujärjestelmää ei ollut, joten lämpötilat kirjattiin muistiin käsin ennalta määrättyinä aikoina.

**FLUKE 179 -yleismittari**

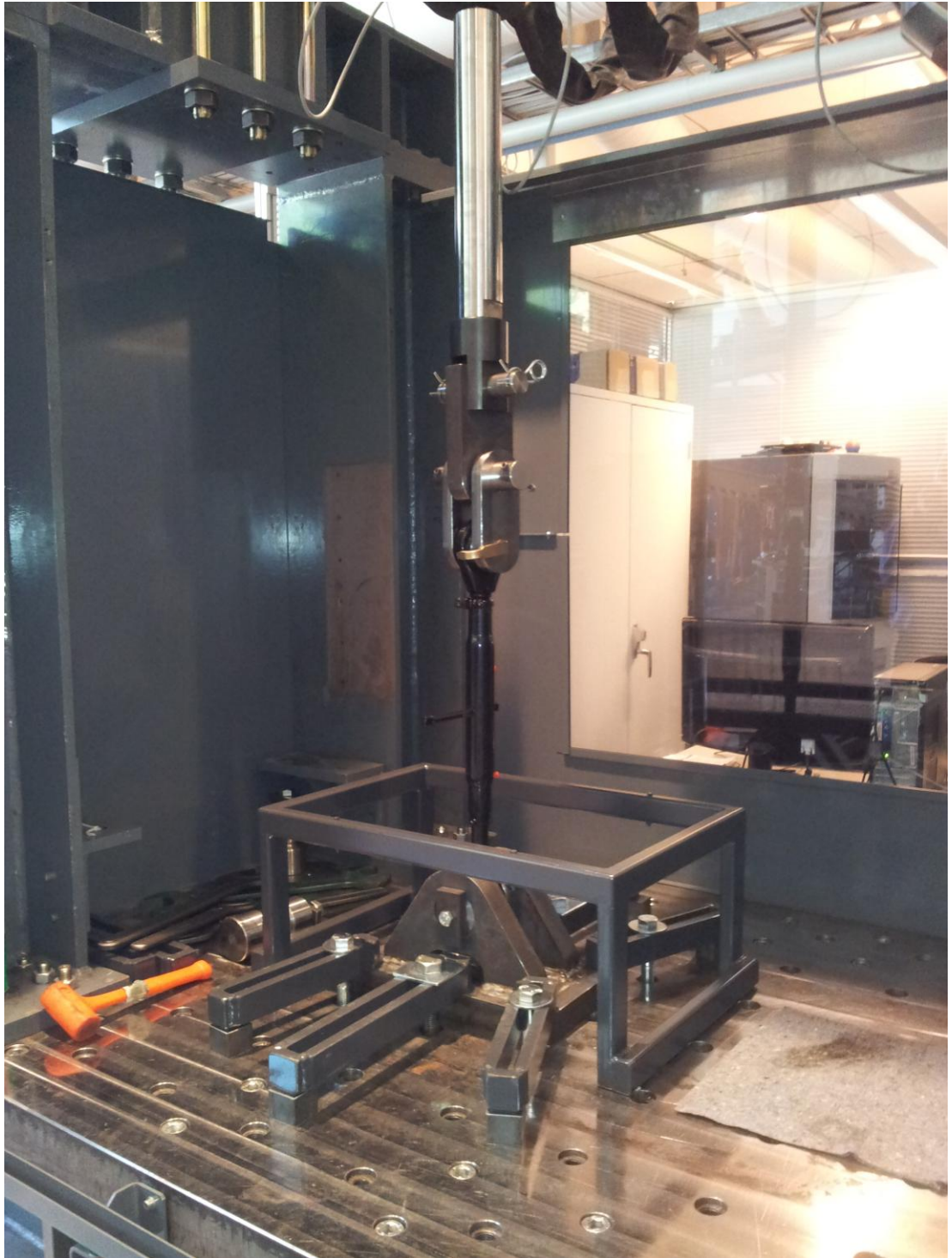
FLUKE 179 -yleismittari toimi referenssinä testattaessa termoparien paikkansapitävyyttä. Termoparit näyttivät  $\pm 2,5$  K yleismittariin verrattuna sekä huoneenlämmössä että noin  $-30$  °C:ssa.

**Raytek Raynger ST -infrapunamittari**

Raytek infrapunamittaria (IR) käytettiin myös referenssinä termopareja testattaessa. Termoparit näyttivät huoneenlämmössä  $\pm 2$  K IR-mittariin verrattuna. Kylmässä IR-mittarilla ei voida mitata luotettavaa lämpötilaa, koska mittaus perustuu heijastukseen ja mittaustulos riippuu emissiivisyyskertoimesta. Pakastimessa on sisällä alumiiniseinämät, jotka heijastavat liikaa. Täten pakastimen sisältä ei saatu IR-mittarilla luotettavaa vertailuarvoa.

**6.2 Testikokoonpano**

Sekä huoneenlämmössä että laboratoriopakastimella jäähdytettäessä testattavan työntövarren kiinnitys oli identtinen. Kuviossa 9 nähdään testausympäristöä huoneenlämmössä. Tällainen kokoonpano oli käytössä testeissä 1 ja 2. Metallirunkoinen teline on pakastimen korotusteline, joka ei liity testeihin huoneenlämmössä. Kuviossa 10 laboratoriopakastin on asetettu kuormituskehälle ja testaus on alkamassa.



Kuvio 9. Testikokoonpano huoneenlämmössä



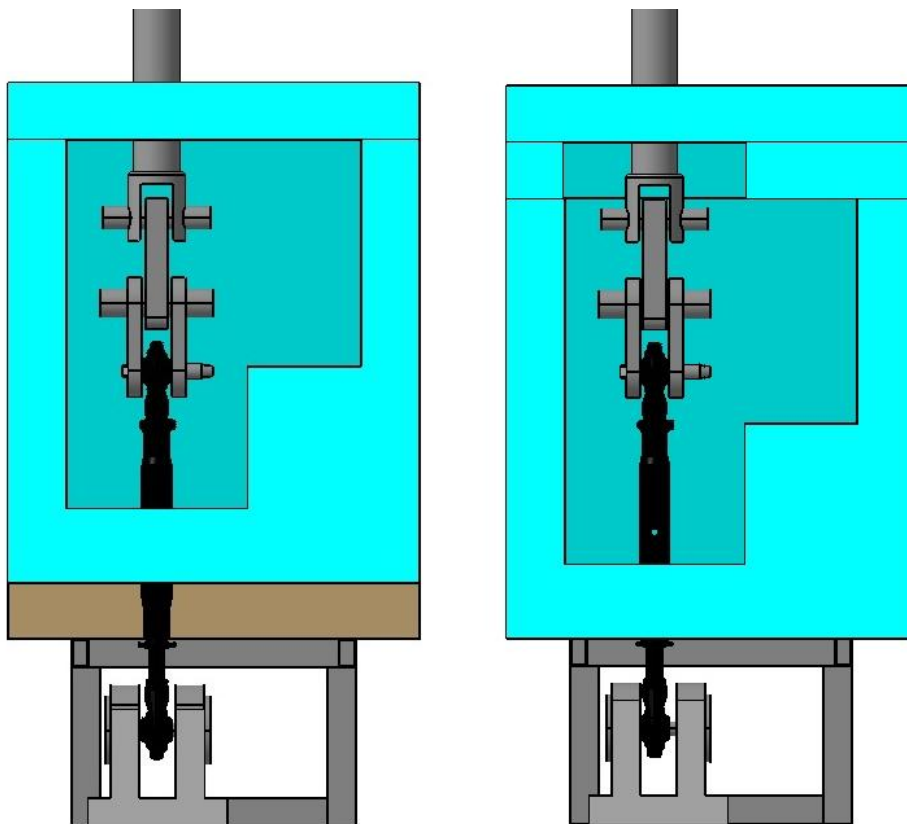
Kuvio 10. Kylmätestien kokoonpano

Testeissä 3–5 pakastimen ja korotustelineen välissä oli puiset lankut koko testin ajan, jotta yläpuolen läpivienti saatiin akselin jatkovarren kohdalle (ks. kuvio 11). Testin 6 puolivälissä lankut otettiin pois ja kantta korotettiin eristelevyjien avulla, jotta yläpuolen läpivienti saataisiin jälleen oikeaan kohtaan. Kuvioista 12 nähdään näiden kahden eri kokoonpanon erot.





Kuvio 11. Yläpuolen läpiviennin sijainti suhteessa kiinnikkeisiin



Kuvio 12. Testikokoonpanojen erot laboratoriopakastimen kanssa. Vasemmalla puiset lankut ja oikealla korotettu kansi.

### 6.3 Yksityiskohtia laboratoriopakastimen käytöstä

#### Laboratoriopakastimen korotusteline

Jotta testattava kappale saatiin kiinnitettyä kuormituskehän kiinnitystasoon, täytyi pakastinta saada nostettua tasosta. Tätä varten LH-Lift valmisti teräsrakenteisen korotustelineen pakastimelle (ks. kuvio 13). Tällä tavoin pakastimen alapuolen läpiviennistä saatiin mahdollisimman pieni.



Kuvio 13. Teräsrakenteinen korotusteline

#### Laboratoriopakastimen asettaminen kuormituskehälle

Pakastimen asettaminen kuormituskehälle onnistui kahdelta henkilöltä nostamalla tai yhdeltä ihmiseltä käyttämällä apunaan trukkia. Kuviossa 14 on nähtävissä pakastimen asettaminen kuormituskehälle.



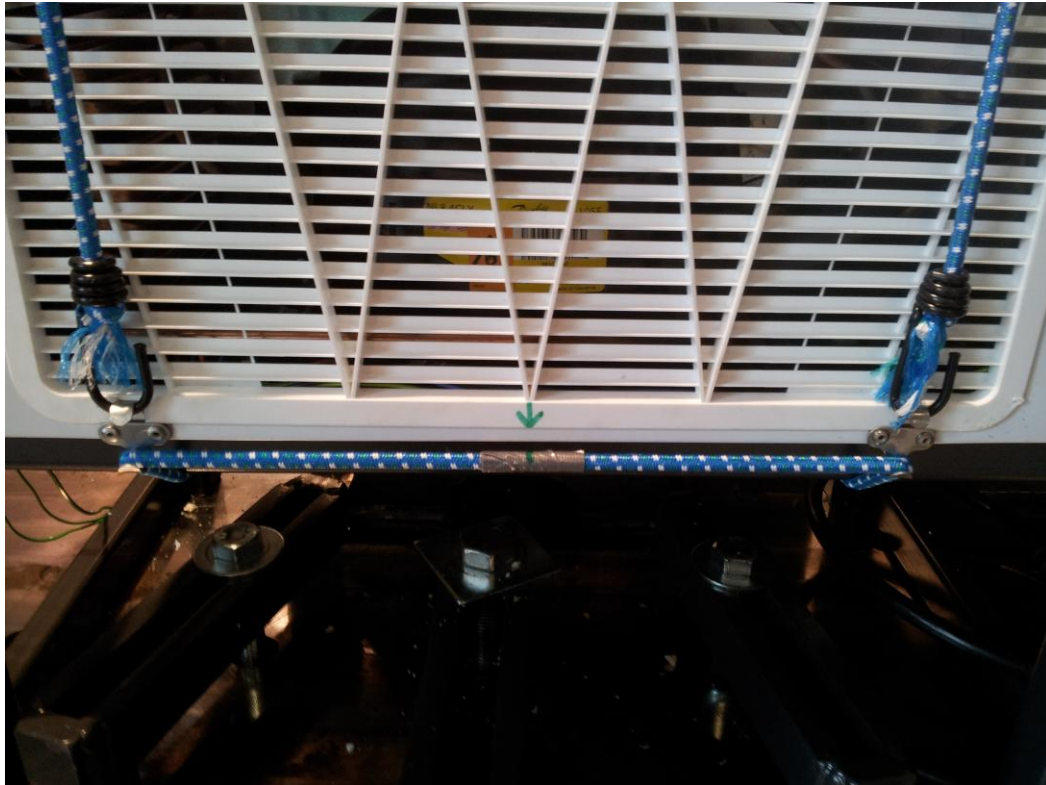
Kuvio 14. Laboratoriopakastimen asettelu kuormituskehälle

### **Läpiviennit**

Jotta testattava kappale saatiin kiinnitettyä kuormituskehän sylinteriin sekä kiinnitystasoon, porattiin laboratoriopakastimen pohjaan 89 mm:n läpivienti koteloterällä. Tämä läpivienti tiivistettiin testeissä polyuretaanivaahdolla sen jälkeen, kun testattava kappale oli kiinnitetty. Lisäksi pakastimen alkuperäinen kansi poistettiin ja sen tilalle muokattiin eristelevystä sopiva kansi. Kannen läpivienti jätettiin sylinterin akseliin nähtynä väljäksi, jotta se ei kitkan takia noussut ylös testien aikana. Lopullinen tiiviys saavutettiin testeissä käyttämällä teollisuuspyyhkeitä.

### **Kansi**

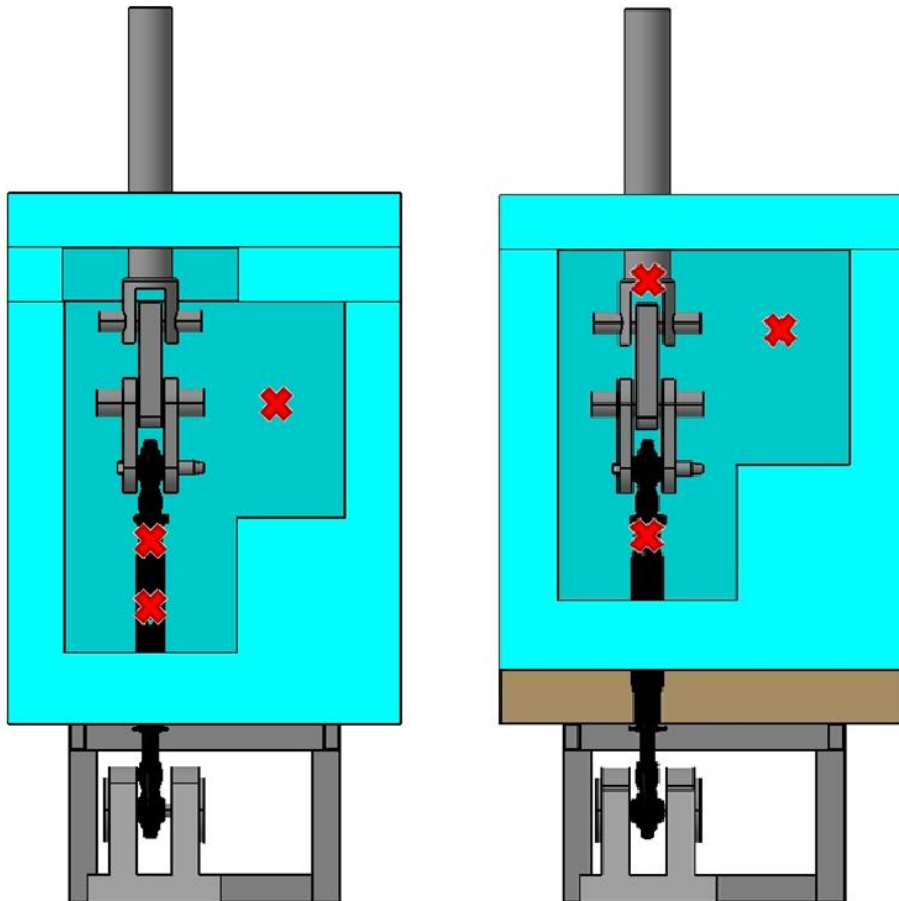
Sylinterien ryömimisestä johtuen kannen täytyi päästä avautumaan testien loputtua. Tätä varten kansi valmistettiin eristelevystä ja se suljettiin kumiköysin. Kumiköydet kiinnitettiin lavakoukkuihin, jotka oli kiinnitetty pakastimen alaosaan (ks. kuvio 15).



Kuvio 15. Kumiköyden kiinnitys

### **Termoparien paikoitus**

Termoparianturit pyrittiin paikoittamaan siten, että niiden lukemissa olisi toisiinsa nähden mahdollisimman suuri ero. Kuviossa 16 näkyvät anturien pääpaikat ja kahden eri variaation erot toisiinsa nähden. Anturit ovat merkattu punaisella rastilla. Testeissä käytettiin näitä kahta eri paikoitusta.

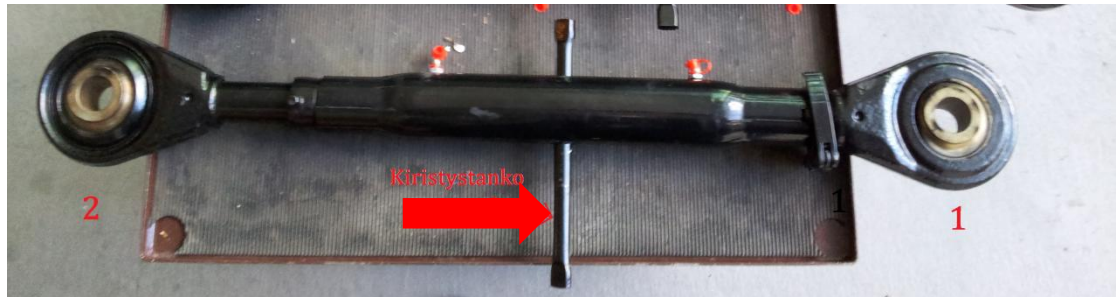


Kuvio 16. Anturien paikoitusten erot. Vasemmalla testin 6 puolivälissä käytetty paikoitus ja oikealla muissa kylmätesteissä käytetty paikoitus.

### Työntövarren sijoitus

Huoneenlämmössä tehdyissä testeissä 1 ja 2 työntövarsi särkyi alapuolen kiinnityksen läheltä. Kylmätestejä ajatellen tämä oli epäedullista, sillä työntövarresta vain puolesta välistä ylöspäin oleva osa oli suunniteltu olemaan pakastinarkun sisäpuolella ja varren haluttiin särkyvän sieltä. Työntövarsi päätettiin asettaa kuviossa 17 punaisella ykkösellä merkityn kohdan silmukka alaspäin, jotta varsi särkyisi varren punaisella kakkosella merkitystä päästä, jonka arveltiin olevan heikompi. Tätä asettelua käytettiin testiin 5 asti. Testissä 5 työntövartta käännettiin 180 ° edellisiin testeihin verrattuna, koska varsi ei ollut särkynyt halutusta kohdasta kylmätesteissäkään.

Kuviossa 17 nuolella merkitty kiristystanko leikattiin jokaista testiä varten pois. Tällä ei ole merkitystä dynaamisessa vetotestissä kestävyys, koska työntövarren ollessa vedossa, kiristystanko on ”vapaana” omassa holkissaan. Näin työntövarren keskiosa saatiin mahtumaan pakastinarkun alapuolen läpiviennistä.



Kuvio 17. Työntövarsi

## 6.4 Testien tulokset

### 6.4.1 Testi 1 huoneenlämmössä

Ensimmäinen testi suoritettiin neljässä osassa. Osissa kuormitustaajuus sekä voiman amplitudi vaihteli. Tarkemmat tiedot eri osista löytyvät taulukosta 1. Työntövarsi asetettiin siten, että pidennyksen lukitus oli alaspäin, kuten luvussa 6.3 on mainittu.

Taulukko 1. Testin 1 koeajopäiväkirja.

**Dynaaminen vetotesti 19.6–21.6.2012**

	Osa 1	Osa 2	Osa 3	Osa 4
Aloitusaika	19.6.2012 11:00	19.6.2012 13:40	20.6.2012 9:05	20.6.2012 14:45
Lopetusaika	19.6.2012 12:37	20.6.2012 9:05	20.6.2012 13:14	21.6.2012 6:05
Testin kesto (h)	1,36	19,31	4,16	15,32
Kuormituskerrat	22107	278000	59900	176 539
Kuormitustaajuus (Hz)	4,5	4	4	3,2
Voima 1 (kN)	20,3	20	21	20
Voima 2 (kN)	103	104,5	103	130,4
Amplitudi (kN)	41,35	42,25	41	55,2
Kuormituskertoja yhteensä:	536546			
Testin kesto yhteensä (h):	40,16			

Työntövarsi katkesi kuviossa 18 nähtävissä olevasta kohdasta alakiinnikkeen läheltä. Kylmätesteissä tämä ei ole toivottavaa, koska katkennut kohta on lämpimällä puolella. LH-Liftiltä saatiin seuraavia testejä varten alapäähän kestävämpi, nuorrutusteräksestä valmistettu, korvaava osa. Tällä menetelmällä toivottiin työntövarren pettävän yläkiinnikkeen lähettäviltä.



Kuvio 18. Testissä 1 katkennut työntövarsi

#### 6.4.2 Testi 2 huoneenlämmössä

Uudesta, nuorrutusteräksestä valmistetusta alakiinnikkeestä huolimatta, työntövarsi petti testissä 2 alapäästä. Tällä kertaa kuormituskertoja oli murto-osa edelliseen testiin verrattuna. Testi ajettiin 2 osassa. Tarkemmat tiedot testistä löytyy taulukosta 2.

Taulukko 2. Testin 2 koeajopäiväkirja.

#### Dynaaminen vetotesti 27.6.2012

	Osa 1	Osa 2
Aloitusaika	27.6.2012 10:34	27.6.2012 13:32
Lopetusaika	27.6.2012 12:54	27.6.2012 22:21
Testin kesto (h)	2,22	8,82
Kuormituskerrat	26400	88869
Kuormitustaajuus (Hz)	3,3	2,8
Voima 1 (kN)	17,4	15,5
Voima 2 (kN)	129,4	125,8
Amplitudi (kN)	56	55,15
Kuormituskertoja yhteensä:	115269	
Testin kesto yhteensä (h):	11,04	



Kuviossa 19 näkyy nuorrutusteräksestä valmistettu alapään kiinnike, joka on murtunut. Tästä ilmoitettiin välittömästi LH-Lifitin Sami Puustiselle, koska testatun kiinnikkeen olisi pitänyt olla huomattavasti kestävämpi kuin normaalien silmukoiden.



Kuvio 19. Testissä 2 periksi antanut alakiinnike

#### 6.4.3 Testi 3 kylmässä

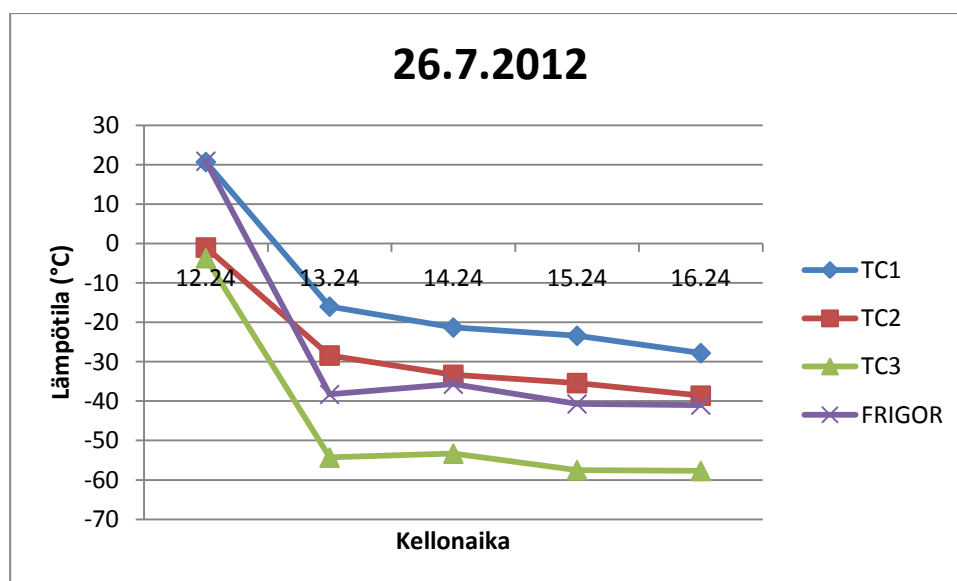
Ensimmäisessä pakkastestissä laboratoriopakastimen digitaalisesta termostaatista säädettiin lämpötila  $-40\text{ °C}$ . Pakastin laitettiin käyntiin noin kello 12.20, ja lämpötila alkoi laskea nopeasti. Anturit oli paikoitettu kuvion 16 s. 34 oikean puolen mukaan. Kuormituskehä käynnistettiin klo 14.11. Testi ajettiin kahdessa osassa, joista tarkemmat tiedot ovat taulukossa 3.

Taulukko 3. Testin 3 koeajopäiväkirja.

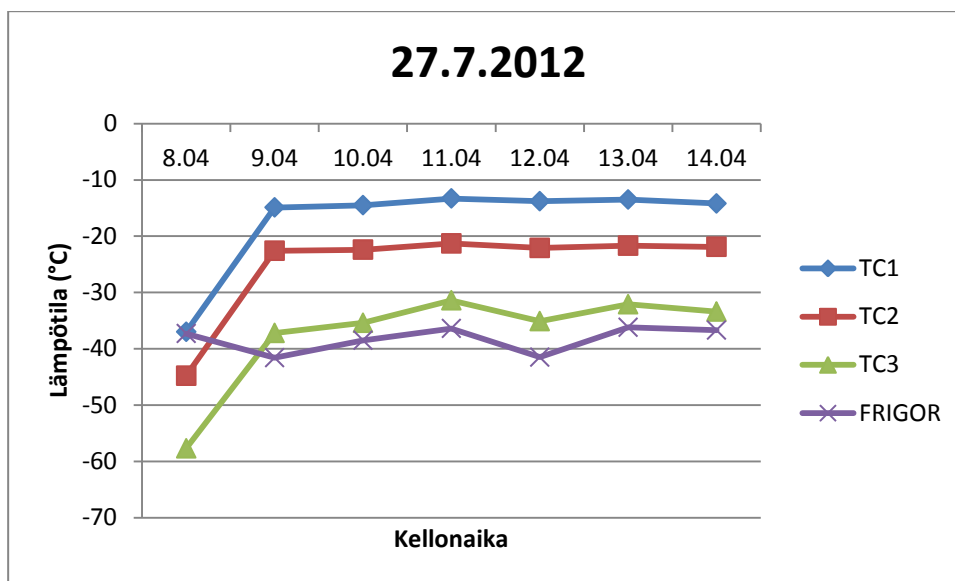
**Dynaaminen vetotesti 2.8-3.8.2012**

	Osa 1	Osa 2
Aloitusaika	26.7.2012 14:11	30.7.2012 14:30
Lopetusaika	27.7.2012 19:39	30.7.2012 16:48
Testin kesto (h)	29,5	2,3
Kuormituskerrat	339612	26624
Kuormitustaajuus (Hz)	3,2	3,2
Voima 1 (kN)	17,3	18,8
Voima 2 (kN)	127,2	126,5
Amplitudi (kN)	54,95	53,85
Kuormituskertoja yhteensä:	366236	
Testin kesto yhteensä (h):	31,79	

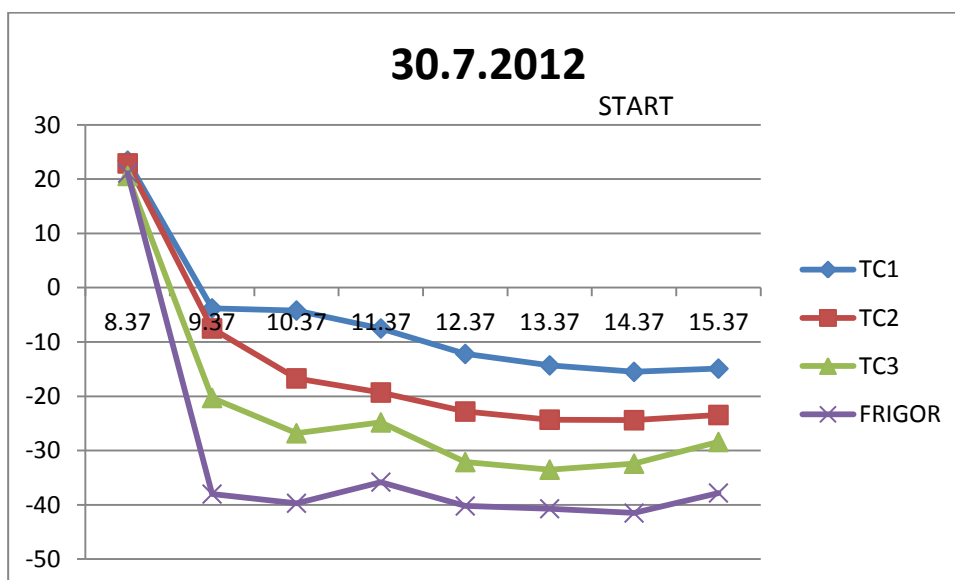
Lämpötilan mittauksessa oli ongelmia. Toisena koepäivänä 27.7.2012 kaikki kolme termoparia alkoivat yllättäen näyttää noin 20 °C lämpimämpää kuin ennen. Syytä tälle ei löytynyt, mutta testiä 4 aloitettaessa selvisi mittauslaitteita testattaessa, että tosiasiasa anturit olivat aluksi näyttäneet väärin. Kuvioista 20–22nähdään lämpötilakäyrät testin 3 ajalta.



Kuvio 20. Testin 3 lämpötilamittaus 1



Kuvio 21. Testin 3 lämpötilamittaus 2



Kuvio 22. Testin 3 lämpötilamittaus 3

Lopputuloksena testissä 3 työntövarsi katkesi kuvion 23 mukaisesti jälleen alakiinnityksen läheltä. Kylmyys ei siis ollut vaikuttanut merkittävästi materiaalin kestävyyskykyyn. Lisäksi alakiinnityksen akseli oli pettänyt (ks. kuvio 24).

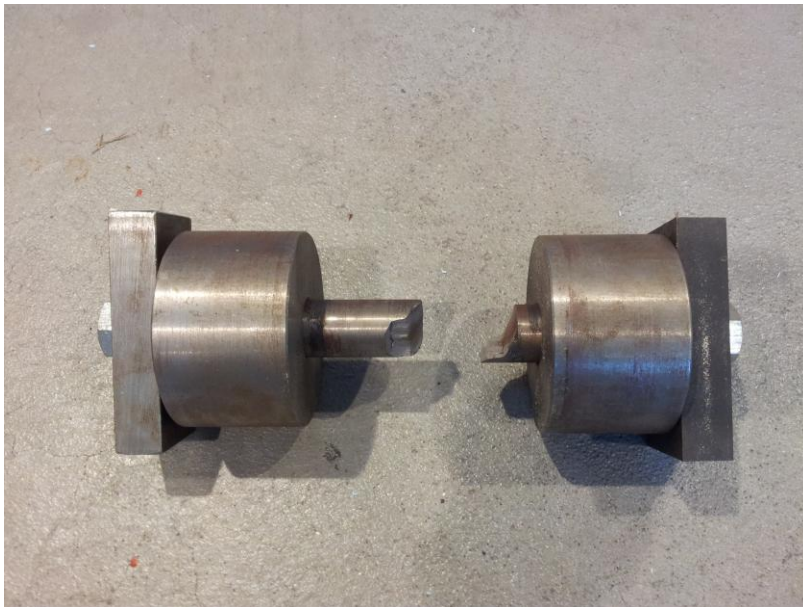
Kuormituskertoja testatulle akselille oli tullut 1 018 051. Tarkemmat taajuudet, voima-arvot sekä amplitudit löytyvät taulukoista 1–3.

Akseli korvattiin Kuusakoski Oy:ltä saatavalla nuorrutusterängällä. Materiaali oli 34CrMo4, jonka myötöraja on 750 MPa. Myöhemmissä laskutarkasteluissa selvisi,

että testejä oli ajettu tämän myötörajan yläpuolella. Tästä johtuen uusi akseli petti neljännen testin jälkeen. Virhe johtui siitä, että testejä haluttiin jatkaa mahdollisimman pian ja akselin lujoustarkastelua ei tehty kiireessä tarpeeksi huolellisesti.



Kuvio 23. Testissä 3 murtunut työntövarsi



Kuvio 24. Testissä 3 murtunut alakiinnikkeen akseli

#### 6.4.4 Testi 4 kylmässä

Antureiden luotettavuus testattiin uudestaan huoneenlämmössä sekä pakastimessa sen 12 tunnin käynnissä olon jälkeen. Referenssinä käytettiin FLUKE 179 yleismittaria. Yleismittarin arvoa pystyttiin vertaamaan kylmässä vain TC1-arvoon, koska mittarin lämpötila-asteikko päättyi  $-37\text{ °C}$ :seen. Myös IR-mittarin lukema otettiin muistiin, mutta sen paikkansapitävyys on kyseenalainen laitteen mittauseriaatteen takia. Taulukosta 4 löytyvät antureiden lukemat.

Laboratoriopakastimen termostaatti säädettiin tällä kertaa  $-60\text{ °C}$ :n. Lämpötila-arvot testin ajalta näkyvät kuvioissa 25 ja 26. Lopputuloksena työntövarsi murtui jälleen alapään kiinnityksen lähettäviltä (ks. kuvio 27). Vetotestin voima-arvot löytyvät taulukosta 5.

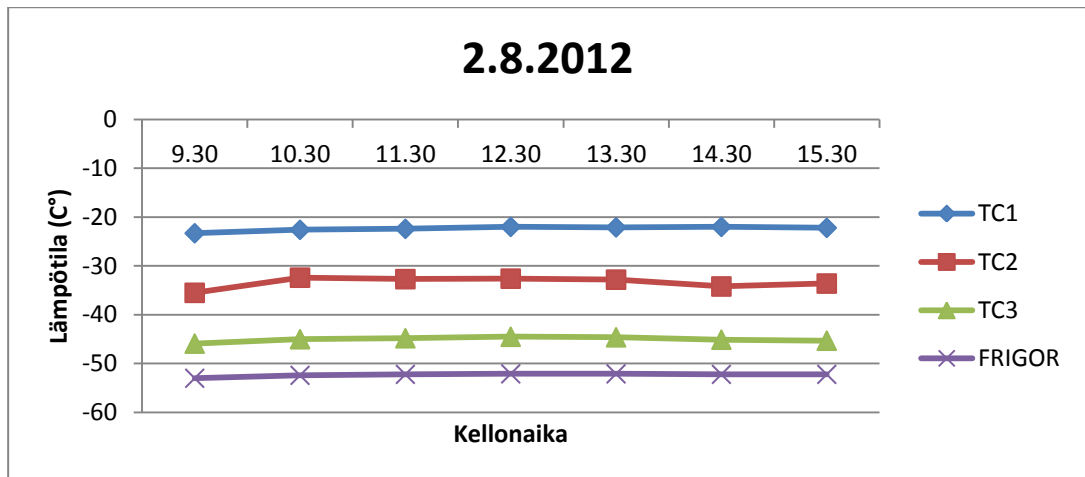
Taulukko 4. Antureiden lukemat niiden luotettavuutta arvioidessa

Anturit klo 8.30, kun pakastinarkku ollut yön päällä	
TC1	-23,7
TC2	-36,4
TC3	-46,2
Fluke (TC1 mittauspisteessä)	-26
IR (TC1 mittauspisteessä)	-29,6
FRIGOR	-53

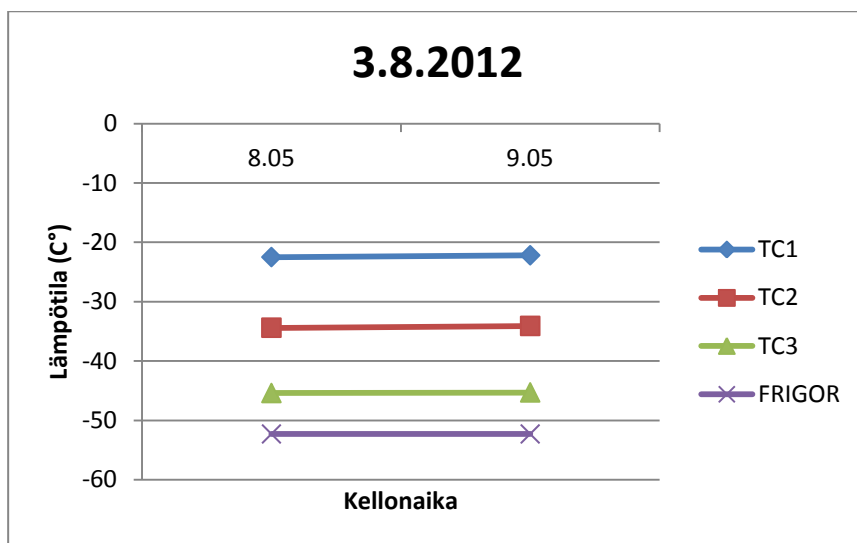
Taulukko 5. Testin 4 koeajopäiväkirja.

#### Dynaaminen vetotesti 2.8–3.8.2012

	Osa 1	Osa 2
Aloitusaika	2.8.2012 9:27	2.8.2012 14:39
Lopetusaika	2.8.2012 13:56	3.8.2012 8:53
Testin kesto (h)	4,5	18,2
Kuormituskerrat	53434	216730
Kuormitustaajuus (Hz)	3,3	3,3
Voima 1 (kN)	14,2	14,9
Voima 2 (kN)	127,9	127,5
Amplitudi (kN)	56,85	56,3
Kuormituskertoja yhteensä:	270164	
Testin kesto yhteensä (h):	22,74	



Kuvio 25. Testin 4 lämpötilamittaus 1



Kuvio 26. Testin 4 lämpötilamittaus 2



Kuvio 27. Testissä 4 murtunut työntövarsi

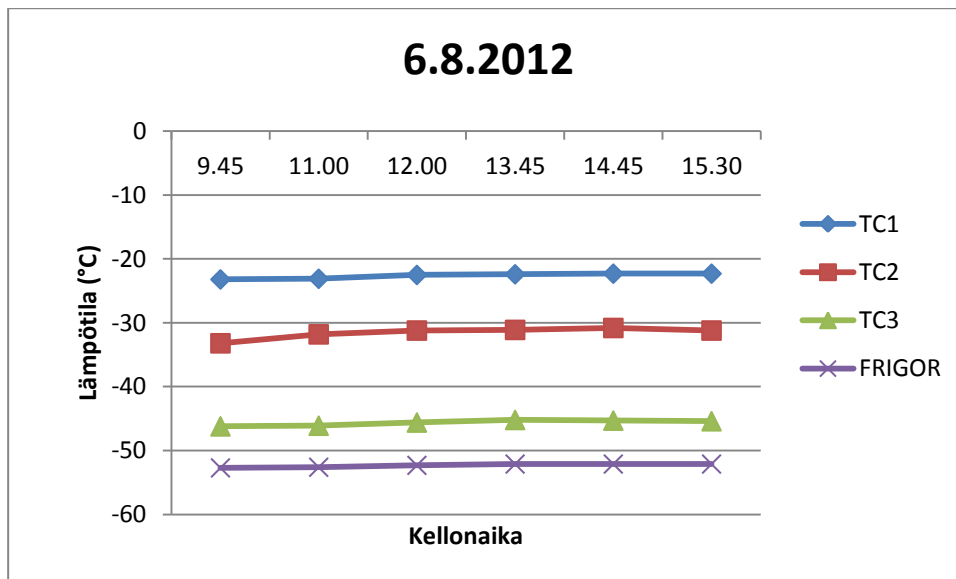
#### 6.4.5 Testi 5 kylmässä

Testissä 5 työntövarsi käännettiin ylösalaisin edellisiin testeihin verrattuna. Tämä johtui siitä, että työntövarsi oli jokaisessa testissä murtunut lämpimältä puolelta. Kuormitusarvot testistä löytyvät taulukosta 6 ja lämpötilat kuviosta 28.

Taulukko 6. Testin 5 koeajopäiväkirja

#### Dynaaminen vetotesti 6.8-7.8.2012

	Osa 1
Aloitusaika	6.8.2012 10:30
Lopetusaika	7.8.2012 0:47
Testin kesto (h)	14,29
Kuormituskerrat	169763
Kuormitustaajuus (Hz)	3,3
Voima 1 (kN)	17,4
Voima 2 (kN)	127,6
Amplitudi (kN)	55,1
Kuormituskertoja yhteensä:	169763
Testin kesto yhteensä (h):	14,29



Kuvio 28. Testin 5 lämpötilamittaus

Tällä kertaa työntövarsi katkesi keskiosasta, kiristystapille tarkoitetun reiän kohdalta, joka sijaitsi testien aikana eristeen sisällä alapuolen läpiviennissä. Katkennut työntövarsi on kuviossa 29.



Kuvio 29. Testissä 5 murtunut työntövarsi



#### 6.4.6 Testi 6 kylmässä

Testi 6 aloitettiin kuormituskehän pienemmällä sylinterillä, mutta testin aikana yläpäästä murtui kiinnike (ks. kuvio 30). Tästä johtuen testaus siirrettiin 180 494 kuormituskerran jälkeen isommalle sylinterille. Samalla tehtiin muutoksia laboratoriokaapin asettamiseen: laboratoriokaapin alta otettiin lankut pois ja kantta korotettiin ylimääräisellä eristelevyllä. Anturit sijoitettiin kuvion 16 s.34 mukaisesti koko testin ajan.



Kuvio 30. Testissä 6 murtunut kiinnike

Isommalla sylinterillä taajuus jouduttiin pudottamaan 0,5 Hz:iin ja myöhemmin se nostettiin 1 Hz:iin. Testiä ajettiin viidessä osassa, pienemmällä sylinterillä kaksi ja isommalla kolme. Tarkemmat arvot pienemmän sylinterin kuormituksista löytyvät taulukosta 7 ja isomman sylinterin taulukosta 8. Lämpötilat löytyvät kuvioista 31–35.

Lopputuloksena työntövarsi katkesi kuvion 36 mukaisesti jälleen kerran alapuolen kiinnityksen läheltä.

Taulukko 7. Testin 6 pienemmän sylinterin koeajopäiväkirja.

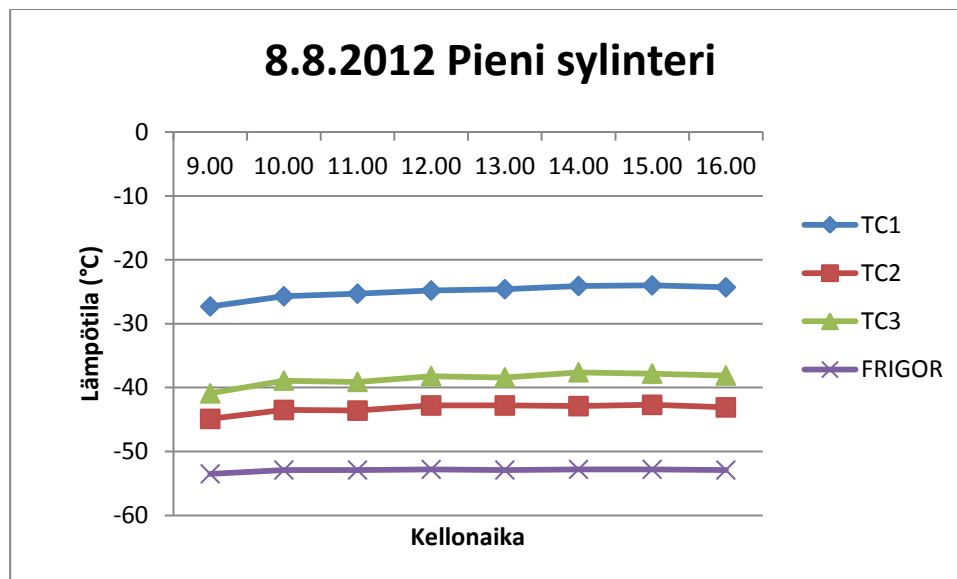
### Dynaaminen vetotesti 8.8-9.8.2012

Pieni sylinteri	Osa 1	Osa 2
Aloitusaika	8.8.2012 9:10	8.8.2012 10:50
Lopetusaika	8.8.2012 10:30	9.8.2012 0:41
Testin kesto (h)	1,34	13,85
Kuormituskerrat	15915	164579
Kuormitustaajuus (Hz)	3,3	3,3
Voima 1 (kN)	17,1	14,9
Voima 2 (kN)	128	127,5
Amplitudi (kN)	55,45	56,3
Kuormituskertoja yhteensä:	180494	
Testin kesto yhteensä (h):	15,19	

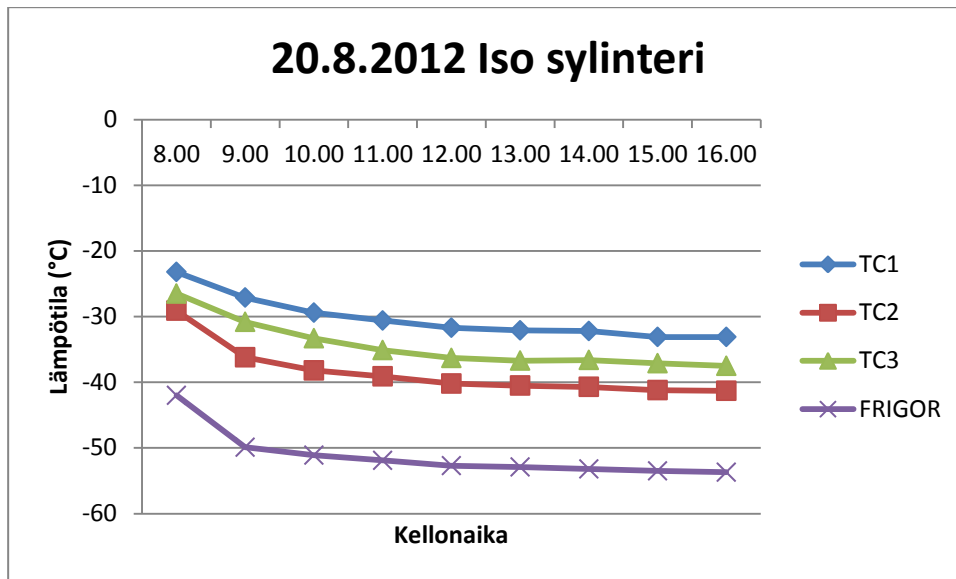
Taulukko 8. Testin 6 isomman sylinterin koeajopäiväkirja.

**Dynaaminen vetotesti 20.8-23.8.2012**

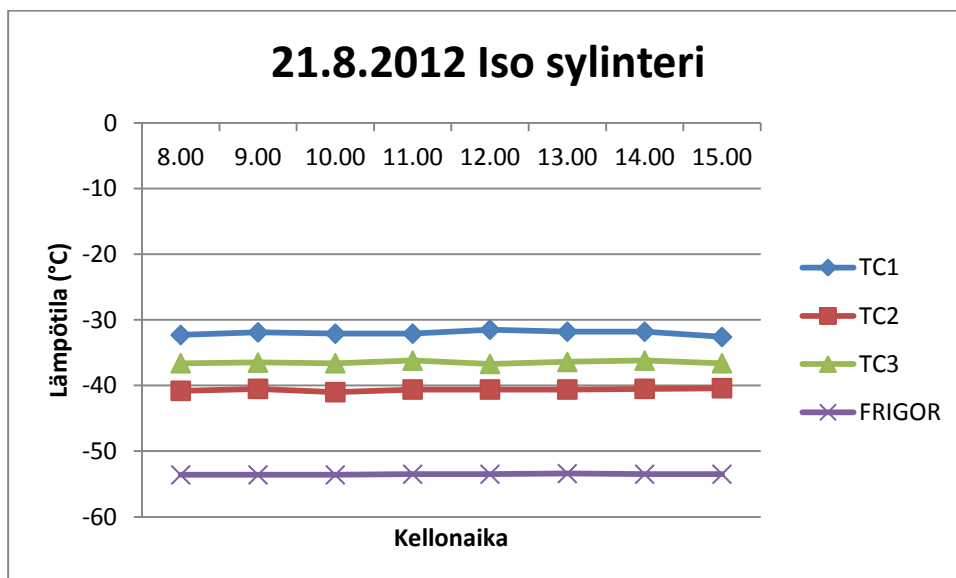
Iso sylinteri	Osa 1	Osa 2	Osa 3
Aloitusaika	20.8.2012 16:06	21.8.2012 9:51	21.8.2012 9:58
Lopetusaika	21.8.2012 9:51	21.8.2012 9:58	23.8.2012 19:38
Testin kesto (h)	18,00	0,11	57,68
Kuormituskerrat	32400	200	207631
Kuormitustaaajuus (Hz)	0,5	0,5	1
Voima 1 (kN)	25,5	24,6	19,8
Voima 2 (kN)	134,4	133,8	129,1
Amplitudi (kN)	54,45	54,6	54,65
Kuormituskertoja yhteensä:	240231		
Testin kesto yhteensä (h):	75,79		



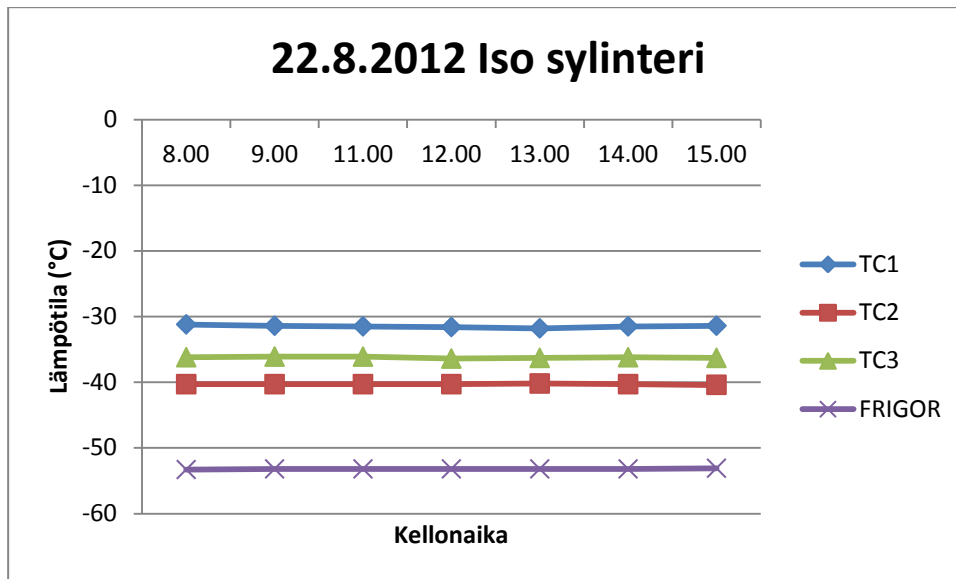
Kuvio 31. Testin 6 lämpötilamittaus 1



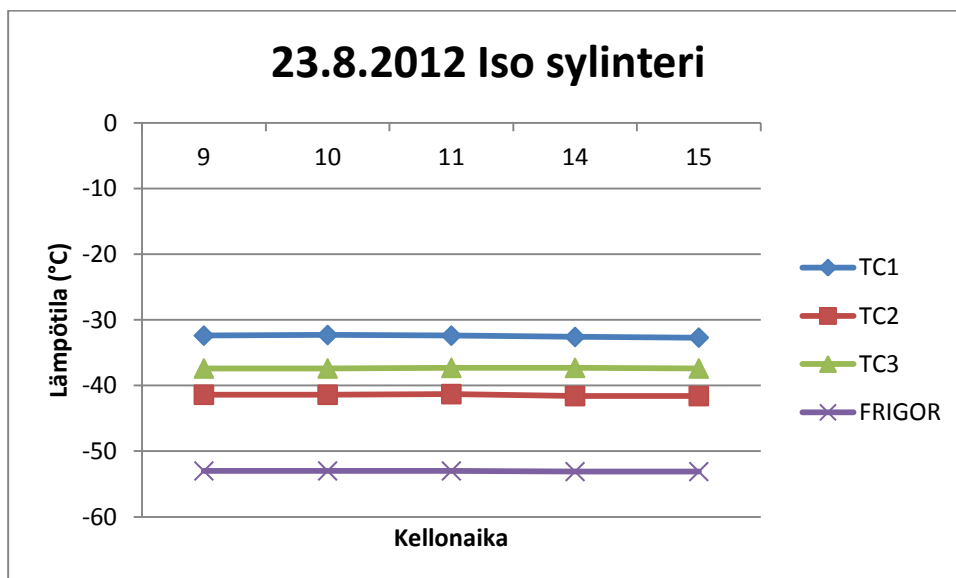
Kuvio 32. Testin 6 lämpötilamittaus 2



Kuvio 33. Testin 6 lämpötilamittaus 3



Kuvio 34. Testin 6 lämpötilamittaus 4



Kuvio 35. Testin 6 lämpötilamittaus 5



Kuvio 36. Testin 6 lopputulos

## 7 Prototyypin kehitysehdotukset

Opinnäyteprojektin luonteen ja aikataulun takia suunnittelussa ja toteutuksessa jouduttiin tekemään paljon kompromisseja. Tarkoituksena oli saada JAMK:lle lyhyellä aikataululla testattavissa oleva kylmäkaappi. Tästä syystä kaapista ja testien järjestelystä löytyy paranneltavaa, joista oleellisimmat on mainittu tässä luvussa.

### 7.1 Kansi

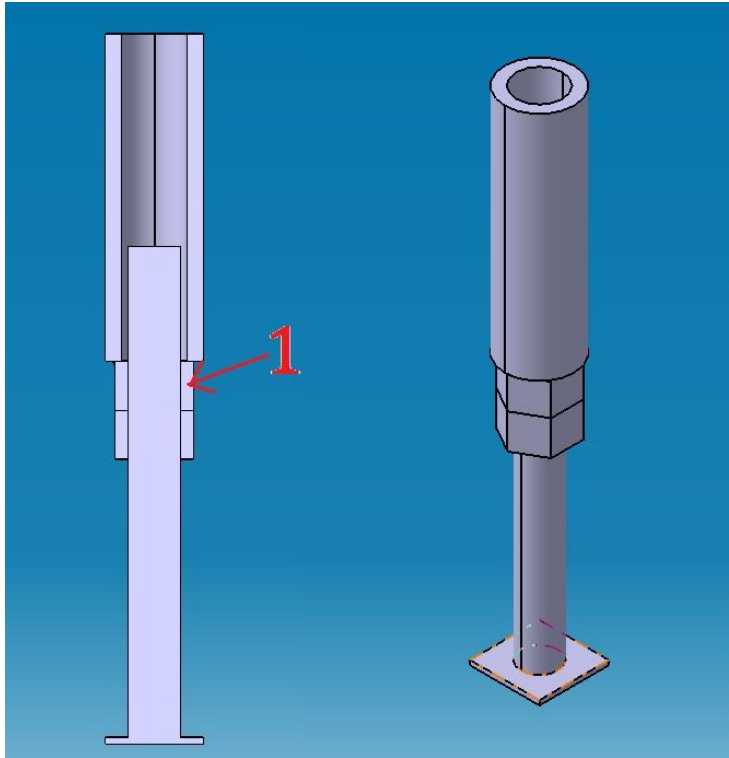
Kannen suunnittelu prototyyppikaappiin oli ongelmallista sylintereiden ryömimisen takia. Kuormituskehän ohjausjärjestelmä ei ollut vielä loppuun asti kehitelty joten testin päätyttyä sylintereillä oli ominaisuutena ryömiä yläasentoonsa. Tästä syystä kansi toteutettiin mahdollisimman yksinkertaisella tavalla. Toisaalta myös sylinterin

akselista pakastimen sisälle johtuva lämpö on moninkertainen kannen raoista konvektoituvaan verrattuna, joten kannen täydellinen tiiviys ei ollut tässä prototyypissä prioriteetti. Konvektoitumisen vähyyttä lisää myös se, että kylmä ilma on painavampaa kuin lämmin. Tiiviimmällä kannella voitaisiin kuitenkin päästä kylmempiin ja vakaimpiin lämpötiloihin. Sylinterin ryömimisestä päästään eroon ohjausjärjestelmää muuttamalla, joten kannen jatkokehitys on mahdollista.

Aihio uudelle kannelle löytyy laboratoriopakastimen alkuperäisestä kannesta. Siihen voitaisiin tehdä sylinterin akseliin sopiva läpivienti, joka voitaisiin tiivistää pakkastiivisteellä. Normaaleja saranoita tässä käytössä ei kuitenkaan voisi käyttää, vaan kansi täytyisi irtonaisena pujottaa ensin sylinterin varteen niin ylös kuin mahdollista. Tämän jälkeen sylinteri laskettaisiin alaspäin niin, että testattava kappale saataisiin kiinnitettyä. Kansi olisi hyvä pystyä lukitsemaan tässä vaiheessa ylös, jotta sitä ei tarvitsisi kannatella kiinnityksen ajan. Kun testattava kappale on kiinnitetty, laskettaisiin kansi paikoilleen ja lukittaisiin esim. jonkinlaisella salvalla.

## 7.2 Korotusteline

Korotustelineestä pyrittiin tekemään mahdollisimman yksinkertainen, jotta se olisi helppo valmistaa. Jo suunnitteluvaiheessa korkeudensäätömahdollisuus oli vaihtoehtona, mutta tämä päätettiin hylätä telineen yksinkertaistamisen takia. Tästä tulikin testien aikana ongelmia, ja pakastinta korotettiin lankkujen avulla. Jatkokehityksenä telineestä voisikin tehdä korkeussäädettävän. Tämä voisi tarkoittaa jalkoihin hitsattavia muttereita. Muttereihin tulisi kierretangot, jotka lukittaisiin toisilla muttereilla. Näin telinettä saataisiin kierretankoja kiertämällä korotettua ja laskettua portaattomasti. Kuviossa 37 näkyy yksi tällainen jalka. Vasemmalla puolella on halkaistu ja oikealla isometrinen kuvanto. Numerolla yksi merkattu mutteri on hitsattu putkeen kiinni ja sen alapuolella olevalla mutterilla kierretanko lukitaan paikoilleen.



Kuvio 37. Kehitysehdotus korotustelineeseen

### 7.3 Lämpötilan mittaus

Lämpötilan mittauksessakin päädyttiin nopeimmin järjesteltävään ratkaisuun. Markku Ström ehdotti käytettäväksi termopareja. Näistä yleisin, K-tyyppi, täytti testien vaatimukset. Tiedonkeruujärjestelmää ei ollut, joten lämpötilat kirjattiin muistiin käsin. Hankintaehdotus tiedonkeruujärjestelmälle on kuitenkin jo tehty, joten lämpötilojen seurannasta tulee tehokkaampaa ja helpompaa.

Mittauksessa olisi hyvä käyttää enemmän antureita. Toivottavaa olisi, että testattavan kappaleen murtumiskohdassa olisi anturi, joten niitä täytyy olla monta. Murtumiskohtaa saattaa olla mahdoton arvioida, ja kuten näidenkin testien perusteella huomattiin, se on joskus aivan päinvastaisessa paikassa kuin on ajateltu.



## 8 Tulokset

Laboratoriopakastin saatiin toimimaan prototyypiltä vaaditulla tavalla. Vaatimuksena oli, että kylmää saadaan testeissä  $-40\text{ °C}$  ja tämä saavutettiin. Lämpötila pakastimessa testien aikana on  $-22\text{ °C:n}$  ja  $-53\text{ °C:n}$  välillä. Tärkeimmässä kohdassa, eli keskellä pakastinta, testattavan kappaleen pinnasta mitattuna lämpötila oli testistä riippuen  $-30\text{...}-40\text{ °C}$ .

Testeistä havaittiin, että mekaanisesti jäädytetty kylmäkaappi on hyvä vaihtoehto suunniteltaessa protokaapille seuraajaa. Lämpötila saadaan suhteellisen nopeasti tiputettua alhaisiinkin lukemiin ja lämpötila on erittäin stabiili lämpölähteistä huolimatta. Lisäksi käyttökustannukset ovat minimaaliset.

Opinnäytetyöltä toivottiin myös laskutyökalua kylmähäviöiden laskemiselle. Häviöitä laskettaessa huomattiin, että niiden laskeminen numeerisesti ei kertonut koko totuutta. Kylmähäviöiden edes summittaiseen tarkasteluun tarvitaan ehdottomasti FEM-analyysijä, sillä lämpöä johtuu sylinterin putkesta sekä alakiinnikkeestä kaappiin suuria määriä. Näitä lämpölähteitä on laskettaessa erittäin hankala ottaa huomioon. Laskutyökalun kehittäminen jätettiin täten pois tavoitteista.

### **Prototyypin kustannukset**

Osaprojektin budjettina materiaaleille oli 2000 €. Lisäksi projektiin oli varattu 16 viikkoa Johannes Torpan työaikaa. Hintaa laboratoriopakastimelle tuli 1485 €. Rahti ja vakuutus kustansivat 117,15 € (0 % alv.). Lisäksi pientarvikkeita ostettiin n. 200 €:n edestä eli lopulliseksi verottomaksi summaksi muodostui noin 1802,15 €.

Laboratoriokaapin sähkönkulutuksesta johtuvia kustannuksia ei ole laskettu. Ne ovat arviolta kuitenkin minimaaliset verrattuna kuormituskehän käyttökustannuksiin.

## 9 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tietoa olosuhdekaappien rakentamisesta, rakennuttamisesta ja eritoten niiden jäähdytysjärjestelmistä. Konkretisoituna tämä tarkoitti olosuhdekaapin prototyypin, kylmäkaapin rakentamista ja testaamista. Opinnäyteprojektista saatiinkin tietoa jäähdytysjärjestelmien vahvuuksista ja heikkouksista ja niiden sopivuudesta testikäyttöön kuormituskehällä. Tärkeimpänä saavutuksena voidaan pitää jäähdytysjärjestelmän valintaa: opinnäyteprojektin perusteella mekaanista jäähdytystä voidaan pitää toistaiseksi kannattavimpana vaihtoehtona pitkäkestoisille testeille sen kustannustehokkuuden sekä stabiiliuden perusteella.

Lähtökohtaisesti ideana oli, että saataisiin helposti valmistettavissa ja purettavissa oleva kaappi, joka pystyttäisiin muokkaamaan kutakin testiä varten. Tähän tavoitteeseen ei päästy, mutta opinnäyteprojektin aikana selvisi, että se ei ole pitkäkestoisissa testeissä hyvä vaihtoehto.

Opinnäyteprojektin tulokset yllättivät positiivisesti, vaikka varsinaista alkukäsityksen mukaista kaappia ei pystyttykään suunnittelemaan tai rakentamaan. Testeissä käytetty laboratoriopakastin oli kustannuksiltaan vastaavanlaisiin testikäyttöihin suunniteltuihin kylmäkaappeihin äärimmäisen halpa. Hinnasta huolimatta laboratoriopakastimella päästiin testeissä erittäin kylmiin lämpötiloihin, minkä todistaminen oli opinnäyteprojektin yksi tärkeimmistä tuloksista. Tulosten perusteella olosuhdekaapin jatkokehitys olisi syytä keskittää jäähdytysjärjestelmän suhteen mekaaniseen. Jatkokehityksessä ei kannata enää parannella laboratoriopakastinta, vaan suunnitella olosuhdekaappi, jossa ominaisuuksia olisi enemmänkin.

## Lähteet

Alciatore, D. G., Histan, M. B. 2007. Introduction to mechatronics and measurement systems. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill.

Aumala, O. 2003. Mittaustekniikan perusteet. 12. p. Helsinki: Otatieto

EAKR:n rahoittaman projektin kuvaus. N.d. Projektikuvaus EURA 2007 -järjestön verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2014.

<https://www.eura2007.fi/rrtiepa/projekti.php?projektkoodi=A30160>

Flyktman, T. 2012. Konetekniikan laboratorioinsinööri. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Haastattelu 29.6.2012.

JAMKin laboratorioille jo neljäs tärkeä akkreditointi. 2014. Uutinen Jyväskylän ammattikorkeakoulun verkkosivustolla. Julkaistu 24.1.2014. Viitattu 13.2.2014.

<http://www.jamk.fi/fi/Uutiset/Ajankohtaista-palveluissa/JAMKin-laboratoriolle-jo-neljas-tarkea-akkreditointi/>

Klemens Torggler. N.d. Kuvio Klemens Torggler yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 11.3.2014. <http://torggler.co.at/main/bildt%C3%BCrmitte-Kopie.jpg>

Kotliar, H. 2012. Nestetyppi. Sähköpostiviesti 25.5.2012. Vastaanottaja J. Torppa. Aga Oy:n tietoa nestetyypen jakelusta ja hinnoista.

Kurki, M., Nieminen, T. & Matilainen, J. 2012. Rakennetestausten uudet mahdollisuudet ja kehityssuunnat Jyväskylän ammattikorkeakoulussa. Ohutlevy – lehden verkkosivusto. Viitattu 12.2.2014. <http://www.ohutlevy.com/pdf/s32-33rakennetestaust.pdf>

Metallien kylmäkäsittely. N.d. Tuotetiedot. AGA:n verkkosivusto. Viitattu 23.2.2014. <http://www.aga.fi>; PDF-kirjasto; Esitteet, tuoteluettelot ja tuotetiedot; Metallien kylmäkäsittely - Teknologia, prosessit ja laitteet

Nydal, R. 2008. Käytännön kylmätekniikka. 4.p., uud. p. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys

Pahl G. & Beitz W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. 2. p. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.

Ström, M. 2012. Konetekniikan lehtori. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Haastattelu 20.6.2012.

Tikkanen, M. 2012. Suunnittelija ja huoltopäällikkö. Jyvä-Jää Oy. Haastattelu 25.5.2012.

Typen käyttökohteet. 2012. AGA Oy:n verkkosivusto. Viitattu 13.2.2014.

[http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/gasschool\\_n\\_sol](http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/gasschool_n_sol)

Viitala, J. 2007. Lämpötilahallittavien elintarvikekuljetusten logistiikkaopas. Toim. L. Luoto. Helsinki: Yleinen teollisuusliitto. Viitattu 3.3.2014.  
<http://www.digipaper.fi/live/26576/index.php?pgnumb=47>

Wilson, J. S. 2005. Sensor technology handbook. Amsterdam: Elsevier

# Liitteet

## Liite 1. Vaatimuslista

### Vaatimuslista olosuhdekaapille

Osaprojekti DRAJA: Olosuhdekaapin suunnittelu, rakennus ja testaus  
Johannes Torppa

14.5.2012

KV = Kiinteä vaatimus

VV = Vähimmäisvaatimus

T = Toivomus

**Punaisella kirjoitettujen vaatimusten odotetaan muuttuvan projektin edetessä/lisäinformaatiota saataessa.**

Muutos pvm	Muutoksen tyyppi	KV/VV/T	Vaatimus	Huomioita
			<b>GEOMETRIA</b>	
		KV	Ulkomitat: Korkeus 1000 mm Leveys 750 mm Syvyys 500 mm	
			<b>VOIMAT</b>	
		KV	Kuormituskehän ollessa käytössä ja testattavan rakenteen rikkoentuessa, saattaa kaapin seinään ja ikkunaan tulla iskumaista kuormitusta. Kaapin on kestävä nämä iskut särkymättä.	Varsinkin ikkunan kestävyys otettava huomioon.
			<b>ENERGIA</b>	
15.5.2012	Tieto varmistunut	KV	Kaappiin saatavat olosuhteet	
29.5.2012	Lisätty	T	-40°C -80°C	
		KV	<b>Kaapin jäähditys toteutetaan joko tyypellä tai kompressorilla.</b>	Kustannusarvio kummastakin -> Valitaan kustannustehokkain
21.6.2012	Tieto varmistunut	VV	Testit saattavat pitimmillään kestää 2 viikkoa.	Onko kannattavaa käyttää tyyppiä, jos testausajat pitkiä?
			<b>AINES</b>	

		KV	Kaappi on rakennettava lämpöä eristävästä materiaalista.	Esim. routalevy XPS
		KV	Hydrauliikkasynterierien läpiviennit tulee olla tiiviitä.	
		KV	Kaapin takapuolella täytyy olla ikkuna.	
			<b>SIGNAALI</b>	
		KV	Kaappiin sijoitettava lämpöantureita lämpötilan mittausta varten.	Tarpeeksi antureita, jotta saadaan tietoa lämpötilan tasaisuudesta.
			<b>TURVALLISUUS</b>	
		KV	Täytettävä vaaditut työturvallisuusstandardit	Jaakko Viitalalta neuvoa.
			<b>ERGONOMIA</b>	
		KV	Kaapin siirrettävyys toteutettava tavalla, joka on ergonominen.	Esim. trukilla siirrettävä tai pyörät alla.
21.6.2012	Tieto varmistunut		<b>VALMISTUS</b>	
		KV	Kaappi on pystyttävä valmistamaan perinteisillä käsityökaluilla. Esim. hitsaaminen, särmääminen yms. Konepajassa tehtävät valmistustyövaiheet on pyrittävä minimoimaan.	
			<b>TARKASTUS</b>	
		KV	Suoritettavat testit  a. Kaapin lämmöneristyskyvyn testaus. -anturien valinta ja sijoitus -läpiviennit -kaapin sisätilan lämpötilan tasaisuus  b. Testaus dynaamisessa kuormituksessa. -kappaleen lämpötila -läpiviennin tiiviys	
			<b>ASENNUS</b>	
		KV	Asennus ja kokoonpanomenetelmät sekä niistä aiheutuvat vaatimukset täydentyvät protopajan varmistuessa.	

15.8.2012	Infoa lisätty	KV	Kaapissa oltava adapteri, joka kiinnitetään olemassa olevaan alustaan ja jonka saa paikoitettua sylinterin kohdalle.	
			<b>KULJETUS</b>	
		KV	Kaappi suunniteltava helposti siirrettäväksi kuormituskehän sisälle.	Esim. trukilla siirrettävä tai pyörät alla.
		KV	Jos suunnittelu päättyy trukilla siirrettäväksi, niin standardin mukaiset piikit mahdolltava jalustaan.	
			<b>KÄYTTÖ</b>	
29.5.2012	Tieto varmistettu	KV	Prototyypiltä ei vaadita pitkää käyttöikää	
			<b>KUNNOSSAPITO</b>	
		T	Kaapin oltava kunnossapidettävä perinteisillä konepajan työkaluilla.	
			<b>KIERRÄTYS</b>	
		T	Kaappi tulee valmistaa kierrätettävistä materiaaleista.	
			<b>KUSTANNUKSET</b>	
15.5.2012	Infoa lisätty	VV	Valmistuskustannukset protokaapille maksimissaan 2000€.	
15.5.2012	Infoa lisätty	VV	Kertahankinta < 400 €	
			<b>MÄÄRÄAJAT</b>	
		KV	Suunnittelun määräaika -22.6.2012	
		KV	Prototyypin valmistuksen määräaika -20.7.2012	
		KV	Testien määräaika -10.8.2012	
		KV	Projektin määräaika -31.8.2012	