

Miika Ojanperä

# Kylmälaatikon suunnittelu

Vakava Technologies Oy:lle

---

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

7.5.2016

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Miika Ojanperä Kylmälaatikon suunnittelu Vakava Technologies Oy:lle 11 sivua + 1 liite 7.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Projektipäällikkö Arto Pitsinki Lehtori Pekka Salonen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa Vakava Technologies Oy:lle ns. passiivinen kylmälaatikko, joka toimii ilman ulkoista virtaa mahdollistaen kylmäkuljetukset hankaliin kohteisiin.</p> <p>Suunnitteluun kuului kylmälaatikon olemuksen suunnittelu ja piirustusten tekeminen, laitteen kylmäkoneiston ja putkituksen suunnittelu sekä materiaalien ja valmistustekniikoiden arviointi. Työhön sisältyi myös yhteistyö teollisen muotoilun kanssa. Teollisesta muotoilusta vastasi Otso Lindfors. Työhön ei sisällynyt laitteen elektroniikan suunnittelua. Suunnittelussa käytettiin Catia-mallinnusohjelmaa.</p> <p>Kylmälaatikon toiminta perustuu kuivajäähän (hiilidioksidijää), jota koneeseen ladataan vaihdettavilla kylmäkaseteilla. Näistä kaseteista haihtuvan kylmän hiilidioksidin virtausta säädellään venttiilillä, ja näin laatikon sisälämpötilaa pystytään säätämään tarkasti.</p> <p>Insinööriyön tuloksena saatiin kylmälaatikosta mallinnettua toimiva kolmiulotteinen malli, jonka pohjalta saatiin laadittua piirustukset laatikon prototyypin varten. Työtä tai sen osia tullaan käyttämään osana laitteen sertifiointiprosessia.</p>	
Avainsanat	Kylmäketju, kylmälaatikko

Author Title	Miika Ojanperä Desing of a Cold Box for Vakava Technologies Oy
Number of Pages Date	11 pages + 1 appendix 7 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Arto Pitsinki, Project Manager Pekka Salonen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Vakava Technologies Oy. The objective was to design a new type of a Cold Box, which allows providing an intact cold chain in difficult locations.</p> <p>This Cold Box design is composed of mechanical design, thermal calculations, material analysis and drafting. It also includes cooperation with electrical engineers and an industrial designer. The visual design of the product was created by Otso Lindfors. The design process was carried out using the CATIA 3D modeling program. Electrical, electronic design and software architecture, however, are not included in this Bachelor's thesis.</p> <p>The operation of the Cold Box is based on dry ice (solid carbon dioxide). Dry ice is contained within cold cartridges, which are then loaded into the box. The mechanism of the box regulates the evaporation of dry ice and induces cold fluid into the storage slot and consequently cooling of the stored goods inside can be adjusted.</p> <p>As a result of this thesis, the drawings of the cold box's prototype were created. This thesis, or parts of it, will be used in the certification process of the product.</p>	
Keywords	Cold Chain, Cold Box

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suunnittelun lähtökohdat	2
2.1	Perustiedot	2
2.2	Laatikon lämpöeristys	3
2.3	Laatikon tilavuus	4
2.4	Materiaalit	4
3	Suunnittelun vaiheet	5
3.1	Muotoilusta toteutukseen	5
3.2	Valmistusmenetelmä	6
3.3	Koneiston suunnittelu	7
3.4	Elektroniikan sovittaminen tuotteeseen	8
4	Tuotteen testaus ja tulevaisuus	9
4.1	Testaukset	9
4.2	Tulevaisuus	9
5	Yhteenveto ja loppusanat	9
	Lähteet	11
	Liitteet	
	Liite 1. Tilaajan käyttämä lava-auto	

## Lyhenteet

PU Polyuretaani, käytetään mm. kylmälaitteiden eristeenä

UHMWPE Ultra High Molecular Weight Poly Ethylene, hyvin kestävä polyeteenimuovi

## 1 Johdanto

Kylmäketju on erityisesti elintarvike- ja lääketeollisuuden käyttämä menetelmä, jossa kuljetettavien tuotteiden lämpötila on tarkkaan määritetty ja kontrolloitu. Tarkoituksena on estää herkkiä tuotteita pilaantumasta niiden lämpötilan noustessa liian korkeaksi. Elintarvikkeissa esimerkiksi liha pilaantuu hyvin nopeasti pieneliöiden lisääntyneen aktiivisuuden takia, jos lihan lämpötila nousee yli +7 °C:n. Toisin sanoen tämä tarkoittaa tuotteen pitämistä tietyn lämpötilanrajan alapuolella tuotteen valmistuspaikasta kuluttajan jääkaappiin päätymiseen asti. Kylmäketjulla onkin hyvin tärkeä osa nykyaikaisessa elintarviketeollisuudessa. Myös elinsiirteet ja jotkin rokotteet vaativat alhaisia lämpötiloja säilyäkseen käyttökelpoisina.

Ennen varsinaisien jääkaappien markkinoille tuloa käytettiin ruuan säilyttämiseen lähinnä luonnon jäätä, jota varastoitiin sahanpuruihin kesän ajaksi. Jääkaappien yleistyminen ja niiden hintojen halpeneminen tavallisen kansalaisen kukkarolle sopivaksi 1900-luvun toisella ja kolmannella vuosikymmenellä muutti myös käytettäviä elintarvikkeita: tuotteiden ei tarvinnut enää olla tuoreita kausituotteita. Tämä seikka ja osaltaan myös toinen maailmansota vaikuttivat siihen, että tarve kylmäkuljetuksille lisääntyi. Tähän kysyntään vastasi Thermo King, joka toi markkinoille ensimmäisen liikuteltavan kylmälaitteiston. Kylmäketju oli syntynyt.

Vakava Technologiesin kylmäkuljetuslaatikoiden perusideana on mahdollisimman alhainen yksikköhinta, laatikon keveys suhteessa kuljetuskykyyn, kyky toimia ilman ulkoista virtalähdettä ja anturitekniikka, jonka avulla kerätyllä informaatiolla pystytään seuraamaan tarkasti kylmäketjun eheyttä, laatikoiden liikkeitä maailmalla ja mahdollista laatikoiden huolimatonta käsittelyä ja kuljetukseen kuulumatonta laitteeseen kajoamista. Näin ollen asiakkaat saavat täyden varmuuden vastaanotettujen kuljetettujen asianmukaisesta käsittelystä ja kylmäketjun pitävyydestä.

Insinööriytyö sisälsi kylmälaatikon rungon mallintamisen, johon kuului tietyn kuljetustilavuuden omaavan laatikon sovittaminen kuormalavalle (EURO, FIN tai jokin muu standardi) sopivaksi, sopivan eristepaksuuden laskeminen ja laatikon eri osien yhteensovittaminen. Laitteen elektroniikan suunnittelu ei kuulunut tähän työhön, vaan sen suunnitteli Vakavan elektroniikkaosasto. Myös laatikon muotoilu kuului muotoilijalle, jonka

kanssa yhteistyössä luotiin lopullinen malli. Muotoilusta vastasi muotoilija Otso Lindfors.

## 2 Suunnittelun lähtökohdat

### 2.1 Perustiedot

Kun kuljetuksista puhutaan, luonnollisesti kuljetuslaatikon koko on suunnittelun perusta. Lähtökohtana on kuljetettavuus kuorma-autoilla ja merikonteilla. Tästä syystä alettiin tutkimaan merikonteilla kuljettamista ja huomattiin, että kuljetuslavapohjainen laatikko on kaikista vaihtoehdoista paras. Euro- ja FIN- lavoja vertaillaessa havaittiin, että FIN-lavalla saadaan parempi täyttösuhde sekä merikonteissa että kuorma-autoissa. Täyttösuhde tarkoittaa sitä, kuinka suuri ala kuljetuslaitteen lattia-alasta saadaan täytettyä, kun se täytetään kyseisillä lavoilla. Tämän lisäksi myös laatikoiden korkeus piti saada sellaiseksi, että niitä pystyy kuljettamaan sekä pienillä kuorma-autoilla että merikonteissa mahdollisesti kaksi päällekkäin. Näin laatikot olisivat mahdollisimman monikäyttöisiä ja niitä saataisiin kuljetettua tehokkaasti. Ensimmäisen protolaatikon kuljetustilavuudeksi päädyttiin näin ollen noin 750 litran laatikkoon. Toinen kokeilulaatikko oli 1500-litrainen laatikko sekä noin 60-litrainen pienkuljetuslaatikko.

Laatikon jäähdyttämisessä ja kylmyyden ylläpitämisessä käytetään hiilidioksidijäätä, eli ns. kuivajäätä. Sen hyviin ominaisuuksiin kylmäaineena kuuluu sen nesteytymättömyys alle 518 kPa:n (5,18 bar) paineessa. Tämä ominaisuus helpottaa aineen käsittelyä ja estää kuljetettavien tuotteiden kastumisen. Kuivajää sublimoituu höyryksi normaalissa ilmanpaineessa -78,5 °C:ssa, joten näin alhaiset lämpötilat asettavat tiettyjä vaatimuksia kylmäkoneiston suhteen. Kylmäkasetit, joissa kuivajää kuljetetaan, suunniteltiin suorakaiteen muotoiseksi, jotta niitä saisi mahdollisimman tiiviisti pakattua kylmäkaapin sisään. Kylmäkasetin kooksi määritettiin 8 kg kuivajäätä johtuen ilmailuviranomaisten säädöksestä, jonka mukaan lentokoneen matkustamossa ei saa kuljettaa suurempaa määrää hiilidioksidia. 8 kg:n kylmäkasettia on myös helppo käsitellä ja nostaa kaapin kylmätilaan. Kylmäkasetti liitetään laatikon kylmälaiteistoon pikaliittimellä.[1;2]

Itse kylmälaiteisto koostuu kahdesta pääosasta: ensimmäinen osa on putkisto ja venttiilistö, joka ohjaa kylmän kaasuuntuneen hiilidioksidin kuljetettavan tuotteen sekaan, ja toinen osa on koneiston ja kylmäkasettien alapuolella oleva suljettava reikälevy, jolla

pystytään säätelemään laatikon lämpötilaa konvektioon perustuvan lämmönsiirtymisen avulla: kun reikälevy on auki, kaseteiden pinnalta ”valuu” kylmää väliainetta säilytystilaan jäähdyttäen sen nopeasti, ja kun levy on kiinni, laatikon sisällä oleva väliaine pysyy paikallaan ja sisälämpötila tasaantuu. Kylmäkoneistoa testattiin Arteknon kylmälaattikkoon asennetulla omalla laitteistolla.

Laitteiston putkisto suunniteltiin kylmänkestävistä putkista, magneettiventtiilistä ja varoventtiilistä. Magneettiventtiili ohjautuu laatikon sisälämpötilan mukaan. Varoventtiilillä on laitteistossa kaksi merkitystä. Ensimmäinen on se, ettei kaseteissa ja putkistossa oleva paine nouse niin korkeaksi, että se vaurioitaisi laitteistoa tai aiheuttaisi vaaraa ulkopuolisille. Toinen liittyy kuivajäähän. Kuivajään erikoinen ominaisuus on se, että alle 518 kPa:n paineessa se ei nesteydy lainkaan. Tästä syystä varoventtiili on säädetty tämän paineen alapuolelle, ettei nesteytyminen aiheuttaisi ongelmia laatikon toiminnalle.

## 2.2 Laatikon lämpöeristys

Laatikon eristämiseen käytetään polyuretaanivaahtolevyä, joka on yleinen ja halpa eristemateriaali. Levyjä on saatavilla 10 mm:n paksuudesta ylöspäin 10 mm:n välein, joten eristepaksuusvaihtoehtoja on paljon. Otetaan esimerkiksi 50 mm:n levy ja selvitetään eristävyys neliömetriltä. Kaava

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (1)$$

kuvaa lämpövirtaa  $Q$  eristeen läpi.[3]  $A$  on eristeen pinta-ala (käytetään  $1 \text{ m}^2$ ),  $k$  lämmöneristävyys, joka polyuretaanilla on  $0,026 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ ,  $T_1$  ja  $T_2$  seinämän eri puolten lämpötilat eli ulkolämpötila arviolta  $T_1 = 20 \text{ °C}$  ja sisälämpötila on kylmäkuljetuslämpötila  $T_2 = 5 \text{ °C}$  ja  $L$  eristeen paksuus (50 mm). Näin ollen:

$$Q = \left(0,026 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}\right) * (1\text{m}^2) * \frac{288-273 \text{ K}}{0,05 \text{ m}}$$

$$Q = 7,8 \text{ W}$$



Tämä lämpövirta neliometriä kohden on lähtökohtaisesti sopiva. Pitänee kuitenkin todeta, että molemmat lämpötilat (sisä ja ulko) muuttuvat paljonkin sisällöstä ja käyttökohteesta riippuen. Myös suuremmissa laatikoissa ulkopinta-ala saattaa kasvaa huomattavasti verrattuna kyseiseen esimerkkiin, mutta ohjenuoraksi tuo lämpövirta kelpaa hyvin. Tulevaisuudessa tuotekehittelyssä joudutaan mahdollisesti tarkastelemaan eristeen riittävyttä.

### 2.3 Laatikon tilavuus

Jotta laatikolla saavutettaisiin mahdollisimman hyvä kuljetushyötysuhde, on sen varsinaisen kuljetustilan oltava mahdollisimman suuri laatikon kokonaistilavuuteen suhteutettuna. Toisin sanoen kun tiedämme laatikon seinämien vahvuudet ja kylmäkoneiston ja elektroniikan vaatiman tilan, voimme arvioida mikä on pienin laatikko, joka kantaa valmistaa. Vastaavasti, koska seinämien vahvuus on vakio eikä elektroniikka ja kylmäkoneisto kasva samassa suhteessa laatikon tilavuuden kanssa, ovat isommat laatikot kuljetushyötysuhteeltaan parempia. Suurilla laatikoilla yksi rajoittava tekijä on kuljetuslavojen koko. Koska nykyään lähes kaikki ahtaaminen ja tavaran siirtely tapahtuu trukeilla, on järkevin vaihtoehto koota laatikko suoraan standardikokoisen kuormalavan päälle.

### 2.4 Materiaalit

Koska laatikkoa tullaan käyttämään pääosin elintarvikkeiden kuljettamiseen, tulee laatikon materiaalien olla tähän käyttöön hyväksytyjä. Laatikon rakenteiden tulee myös kestää käyttöä ja kuljetuksen aiheuttamia rasituksia. Tästä syystä laatikko päätettiin rakentaa UHMWPE:stä (Ultra High Molecular Weight PolyEthylene). UHMWPE on sekä elintarviketeollisuuden että lääketeollisuuden hyväksymä materiaali, jonka ominaisuuksiin kuuluu suuri iskusitkeys ja korkea hankauskestävyys. Hankauskestävyydestä johtuen UHMWPE:tä voidaan käyttää myös liikkuvien osien liukupintoina. UHMWPE kestää myös hyvin kylmää, joten se käy myös kylmälaitteiston osien materiaaliksi.[4;5]

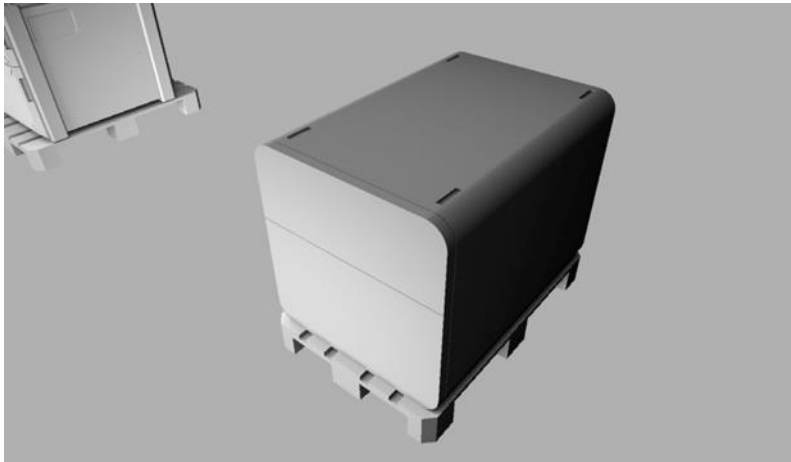
Eristeenä kylmälaatikossa käytetään polyuretaania sen keveyden, eristävyden ja huo-kean hinnan takia. Polyuretaania käytetään yleisesti kylmälaitteiden eristeenä maailmalla. Vaikka polyuretaani on eristeenä käytettävässä vaahtomuodossa kasaan painu-

vaa, käytetään sitä tehdasvalmisteisissa rakennuselementeissä jäykisteenä rakenteen tukevoittamiseksi. Polyuretaanieristelevyt ajavat samaa asiaa myös tulevassa kylmälaatikossa.[6]

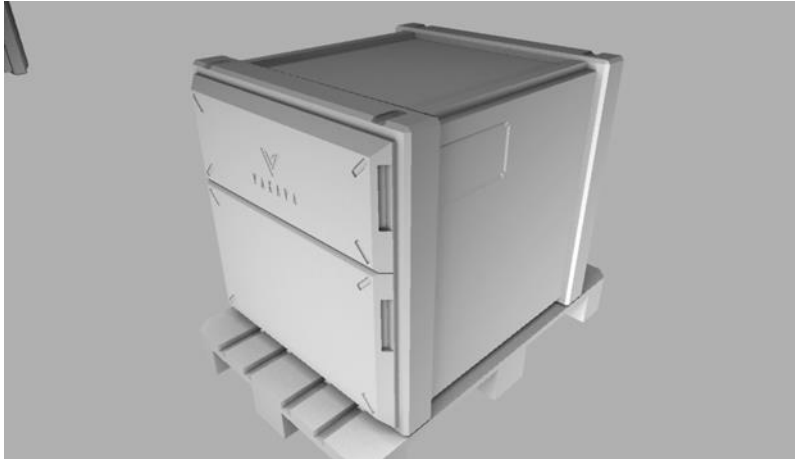
### 3 Suunnittelun vaiheet

#### 3.1 Muotoilusta toteutukseen

Varsinainen suunnittelu aloitettiin muotoilijan piirtämien luonnosten tarkastelulla. Muotoilija oli piirtänyt muutaman vaihtoehdoisen mallin, joilla tavoitellaan asiakasta miellyttävää ulkonäköä. Valintaan vaikutti luonnoksen yhteensopivuus vaadittavien mekaanisten ominaisuuksien kanssa, yhteensopivuus valitun valmistustekniikan kanssa ja mahdollisuus elektronisten komponenttien sijoittamiseen rakenteiden suojaan sekä mahdollisuus muokata tuotetta myöhemmin sen vaikuttamatta haitallisesti tuotteen ulkonäköön. (Kuvat 1 ja 2.)



Kuva 1. Muotoilijan luoma luonnos. Ei osoittautunut toteutuskelpoiseksi valmistustekniikasta johtuen.

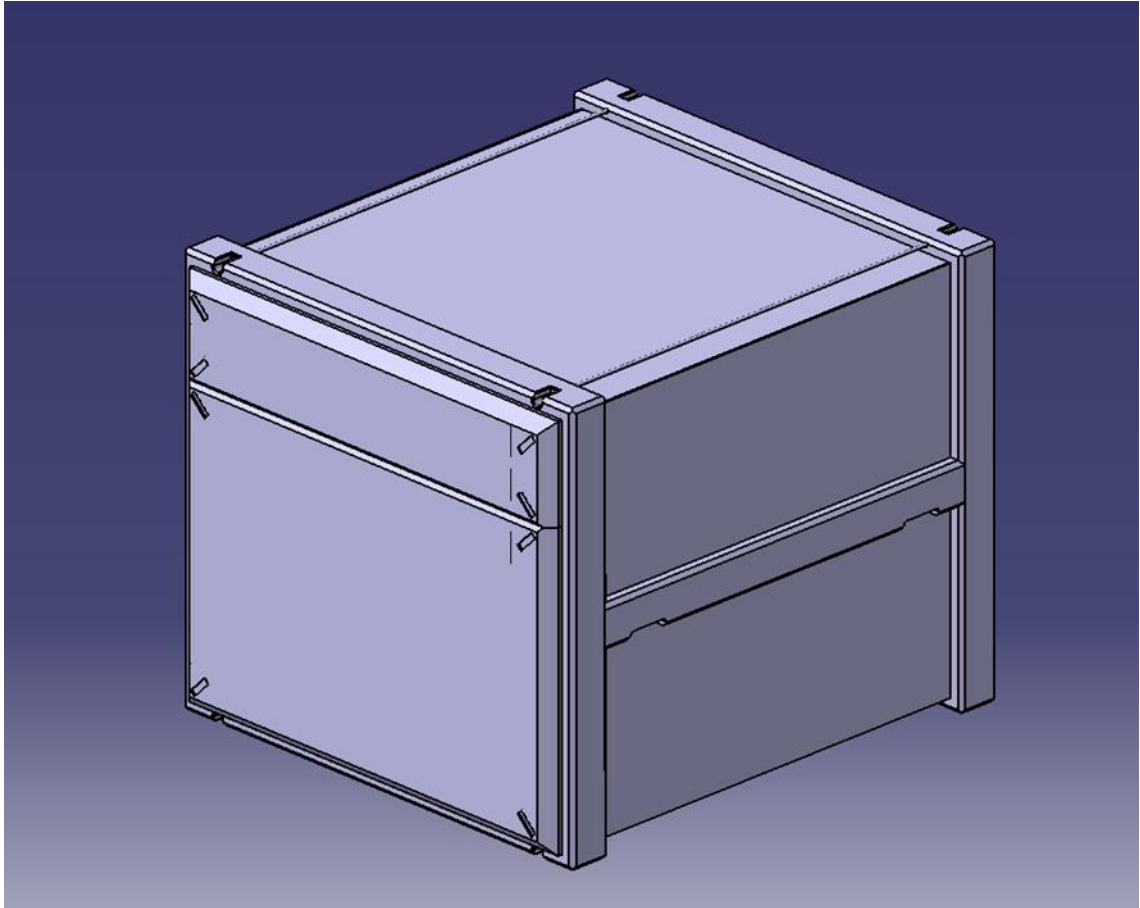


Kuva 2. Muotoilijan luoma luonnos. Valittiin malliksi tulevalle prototyypille.

Luonnoksessa, joka valittiin tulevan prototyypin malliksi, havaittiin suunnittelun kannalta mielenkiintoisia yksityiskohtia. Huomattiin, että esimerkiksi elektroniset komponentit saadaan kätkeytyä muotoilijan piirtämien yksityiskohtien sisään, joten niiden sijoittamiseksi ei tarvinnut tehdä muutoksia ulkonäköön eikä rakenteeseen. Havaittiin myös, että osaa muotoilijan piirtämistä yksityiskohtia voidaan käyttää ns. kantavana rakenteena (kuva 2). Koska ensimmäinen protolaatikko menee pilottikäyttöön firmaan, joka käyttää lava-autoja (liite 1) kuljetuksissa, päätettiin tehdä prototyyppi standardi ISO 6780:n mukaan 1100 x 1100 mm lavalle sopivaksi. Näin ollen auton lavalle mahtuu kaksi laatikkoa yhden sijaan.

### 3.2 Valmistusmenetelmä

Koska laatikon osat valmistetaan UHMWPE:stä, jonka muottivalaminen vaatii erikoisosaamista johtuen muovin ominaisuuksista päätettiin, että osat ovat halvempi valmistaa NC-koneistamalla. Tässä valmistusmenetelmässä on myös se etu, ettei muottien takia ole sidottuna tiettyyn valmistajaan, ja osien valmistusta on helpompi hajauttaa eri valmistajille tarpeen vaatiessa. Valmistusmenetelmästä johtuen jouduttiin laitteen osat suunnittelemaan siten, että ne pystytään valmistamaan koneistamalla. Muun muassa sisäkulmien pyöristyksissä ja onkaloiden sijainneissa ja muodoissa jouduttiin kiinnittämään huomiota NC-koneistuksen rajoituksiin.[2]

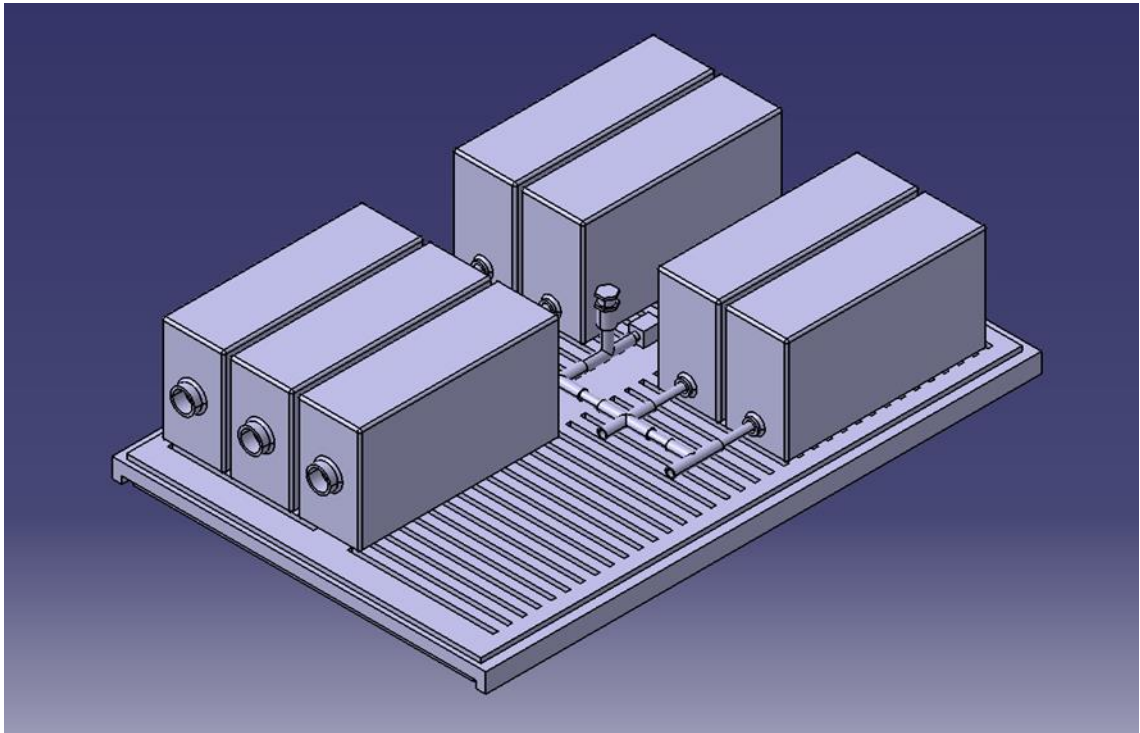


Kuva 3. Laatikon ulkokuori muotoilijan luonnoksen mukaisesti. Huomaa sivuilla kantokahvat, joiden sisälle elektroniikka ja akut on asennettu.

### 3.3 Koneiston suunnittelu

Kun laatikon ulkokuori liitoksineen ja eristeineen oli saatu suunniteltua halutun kaltaiseksi, oli aika alkaa suunnitella varsinaista laitteistoa laatikon sisälle. Laitteiston toimintaperiaate oli suunniteltu siten, että kulmākaseteissa höyrystynyt kylmä hiilidioksidi johdetaan putkia pitkin koneistotilasta laatikon tavaratilaan. Virtausta säädetään magneettiventtiilillä. Putkistossa on myös varoventtiili estämässä höyrystymisestä johtuvaa liiallista paineennousua. Kylmākasettien alla on nk. konvektiosäleikkö, joka avataan kun tavaratila halutaan jäähdyttää nopeasti. Tämä jäähdytys perustuu konvektioon, jolla raskas kylmä ilmamassa siirretään yläpuolen kylmätilasta alapuolella sijaitsevaan säilytystilaan. Konvektiosäleikkö koostuu neljästä polyuretaanilevystä, joissa olevat läpiviennit ovat kohdakkain, kun halutaan tehostaa jäähtymistä, ja jotka sulkeutuvat, kun lämpötila halutaan pitää tasaisena. Koska polyuretaanivaahdon kulutuskestävyys on heikkoa ja kitkakerroin korkea, jouduttiin säleikön liukulevyihin suunnittelemaan

UHMWPE:stä liukupinnat, jotta konvektiosäleikön levyt eivät hierrä toisiaan rikki laitetta käytettäessä.[4] (Kuva 4.)



Kuva 4. Alustavaa kuvaa kylmäkaapin koneistosta ja konvektiosäleiköstä. Yhdeksän kylmäkasettia, joista kaksi poistettu, putkistoa ja varoventtiili keskellä kuvaa. Polyuretaanilevyt konvektiosäleikön sisällä.

### 3.4 Elektroniikan sovittaminen tuotteeseen

Vaikka elektroniikkakomponenttien vaatimukset oli pyritty pitämään mielessä alusta alkaen, jouduttiin lopussa käymään elektroniikkaosaston kanssa läpi kaikki heidän toiveensa ja vaatimuksensa, jotta laitteen elektroniikka toimisi halutulla tavalla ja moitteettomasti. Läpi käytiin muun muassa paine- ja lämpötila-antureiden oikea sijoittaminen, akkujen ja herkkien komponenttien suojaus kylmältä ja ulkoisilta iskuilta sekä johdotukset. Esimerkiksi lämpötila-antureiden sijoittamisessa oli tärkeää ottaa huomioon asianmukainen sijoittaminen, jotta saadaan mahdollisimman totuudenmukainen kuva laitekon sisälämpötilasta.

## 4 Tuotteen testaus ja tulevaisuus

### 4.1 Testaukset

Vakava Technologiesin Thermolid on markkinoilla aivan uusi tuote. Tästä johtuen tuotteessa on varmasti ominaisuuksia, jotka ovat puutteellisia, vajavaisia tai muuten vain ovat jääneet huomiotta prototyyppiä suunnitellessa. Tämän takia ennen varsinaisen tuotannon aloittamista valmistetaan laatikosta prototyyppi, joka kootaan itse suunniteltuun osallistuneiden kanssa. Koontivaiheessa huomattavat virheet pystytään kirjaamaan heti ylös ja muuttamaan piirustuksia tarvittaessa. Kun tuote on saatu onnistuneesti koottua, on vielä viimeisien testauksien vuoro, joissa varmistetaan tuotteen ja sen komponenttien toimivuus. Testattavana on muun muassa laitteen tiiveys, koneiston toimivuus halutulla tavalla, mekaanisten osien, kuten ovien, toimivuuden testaus ja ohjauslaitteiden ja tietojenhallintalaitteiden toimivuus. Kun laite toimii kokonaisuudessaan halutulla tavalla ilman ongelmia, on aika aloittaa tuotanto.

### 4.2 Tulevaisuus

Kun tuotteen pilottihanke on saatu käyntiin ja asiakkaalta on saatu kerättyä tietoa ja korjausehdotuksia tuotteesta, ruvetaan mahdollisia vikoja korjaamaan ja tämän jälkeen lähestymään uusia asiakkaita ja heidän tarpeitaan. Koska pilottilaatikko on lavakokoa 1100 x 1100, joudutaan todennäköisesti tekemään laatikoita myös muille standardilavoille sopiviksi asiakkaiden tarpeiden mukaan. Tulevaisuudessa saattaa tulla myös muutoksia kylmälaiteistoon, eristyksiin ja materiaaleihin.

Tekniikan kehittyä myös säätölaitteisiin ja elektroniikkaan tulee mahdollisesti muutoksia ja kehityksiä. Myös laitteiden huoltoon ja asiakastukeen panostetaan, kun asiakkaita alkaa olla enemmän.

## 5 Yhteenveto ja loppusanat

Tämä insinöörityö tehtiin osana Vakava Technologiesin Thermolid projektia, jossa luotiin aivan uudenlainen kylmäkuljetuslaite. Tästä johtuen aikataulujen yhdistäminen projektin ja insinöörityö välillä oli välillä hankalaa. Koska kyseessä oli monialainen projekti,

joutui välillä väkisinkin tilanteeseen, jossa ei pystynyt projektia eikä insinööriä työstämään eteenpäin. Tästä huolimatta projekti on ollut äärimmäisen mielenkiintoinen ja katsetta avartava, sillä monialaisuudesta johtuen on joutunut ottamaan paljon asioita huomioon piirustuksia laatiessa. On myös ollut mielenkiintoista seurata, kuinka avoimista suunnitelmista on pikkuhiljaa syntynyt piirustukset oikeasta laitteesta. Valitettavasti prototyyppiä ei ehditty saada valmiiksi opinnäytetyön puitteissa, joten tämän työn loppupää jää niin sanotusti ”auki”.

Lopuksi haluaisin kiittää Vakava Technologiesin työryhmää tästä mahdollisuudesta tutustua itselleni aivan uuteen alaan ja kiittää myös heidän innostavaa asennettaan ja tasavertaista ja rohkaisevaa kohteluaan nuorta ja kokematon työntekijää kohtaan. Kiitokset etenkin Arto Pitsingille, Mikko Rannalle, Janne ”Huopa” Puustellille, Otso Lindforsille sekä Juha Kunnakselle. Suuri kiitos myös lehtori Pekka Saloselle, joka ei menettänyt uskoa minuun, vaikka sen olin itse jo menettänyt.

Kiitokset myös perheelle ja ystäville, jotka ovat tukeneet elämässä, erityiskiitos Jennille.

## Lähteet

1. Hiilidioksidin ominaisuuksia. 2008. Verkkodokumentti  
<<http://www.uigi.com/carbondioxide.html>>. Luettu 19.4.2016.
2. Pitsinki, Arto, projektin johtaja, Vakava Technologies Oy, Helsinki. Haastattelun perustuva tieto valmistajien kilpailutuksista, asiakkaiden tarpeista ja logistiikasta. Haastattelu 11.4.2016.
3. Çengel & Ghajar. 2011, Heat and Mass Transfer Fundamentals and Applications Fourth edition, The McGraw-Hil companies, New York.
4. Polyeteenimuovien ominaisuuksia. 2013. Verkkodokumentti  
<[http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pe/vink\\_pe\\_esite\\_a4\\_web.pdf](http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pe/vink_pe_esite_a4_web.pdf)>. Luettu 22.4.2016.
5. UHMWPE:n ominaisuuksia. 2012. Verkkodokumentti.  
<<http://www.plastic-products.com/spec11.htm>>. Luettu 22.4.2016.
6. Polyuretaanin ominaisuuksia. 2013. Verkkodokumentti.  
<[http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pur/vink\\_pur\\_esite\\_a4\\_web.pdf](http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pur/vink_pur_esite_a4_web.pdf)>. Luettu 26.4.2016.



## Tilaaajan käyttämä lava-auto

Tilaaajan käyttämien lava-autojen kyytiin mahtuu kaksi 1100 x 1100 mm lavaa

