

Juha Kyrönlampi

## **RF-LÄHETIN-VASTAANOTIN**

# **RF-LÄHETIN-VASTAANOTIN**

Juha Kyrönlampi  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

---

Tekijä: Juha Kyrönlampi  
Opinnäytetyön nimi: RF-lähetin-vastaanotin  
Työn ohjaaja: Helena Tolonen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018  
Sivumäärä: 33 + 1 liite

---

Työ tehtiin elektroniikka-alan yritykselle. Työssä yhdistettiin tuotteen kaksi erillistä moduulia yhdeksi moduuliksi. Uuden moduulin tai tuotteen tarve tuli asiakkaan vaatimuksista. Yhdistäminen toteutettiin suunnittelemalla kahdelle erilliselle moduulille yhtenäinen kotelorakenne.

Työ aloitettiin kirjaamalla lähtökohdat muistiin ja selvittämällä eri osastoilta, mitä uudelta moduulilta halutaan. Yhdistetyn moduulin keskeisimmiksi kriteereiksi valikoituivat moduulin paino, IP-luokitus sekä MIL-STD-810G-standardin pudotus- ja värinätestit. Lähtöarvojen ja suunnittelusuunnan ollessa selvänä ruvettiin suunnittelemaan moduulille mekaniikkaa. Mekaniikkasuunnittelu sisältää kotelorakenteen suunnittelun sekä komponenttien valinnat ja niiden sijoittelun. Työssä oli tarkoituksena myös valmistaa toiminnallinen prototyyppi ja suorittaa tälle useita erilaisia testejä. Prototyypin valmistus päädyttiin kuitenkin rajaamaan pois ja työ rajattiin mekaniikka- ja konseptimalliin.

Mekaniikkasuunnittelu aloitettiin niistä muodoista, joita ei voida muuttaa. Moduulin tuli säilyttää modulaarinen ominaisuus aikaisempien moduulien kanssa. Moduulin jäähdytyksen ja IP-tiiveyden suunnitteluun käytettiin huomattavan paljon aikaa.

Moduulin suunnittelussa päästiin asetettuihin tavoitteisiin. Moduulin paino saatiin laskettua 2,8 kg:aan, korkeudesta saatiin 10 mm pois, ominaisuuksia saatiin lisättyä ja tiiveydessä päästiin IP54-luokitukseen. Arvot voivat vähän poiketa lopullisesta moduulista, koska moduulista ei valmistettu prototyyppiä.

Työssä perehdyttiin myös PEEK CF30 -materiaaliin alumiinin korvaajana, mutta valmistajan erilaisten ongelmien vuoksi sitä ei päästy testaamaan. Tulevaisuudessa PEEK CF30 -materiaalia kannattaisi tutkia lisää ja saatujen tuloksien perusteella yrityksen kannattaisi tuotteistaa tässä työssä suunniteltu moduuli.

---

Asiasanat: RF-lähetin, RF-vastaanotin, jäähdytys, kotelo, mekaniikkasuunnittelu, PEEK CF30

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option of Machine Automation  
Engineering

---

Author: Juha Kyrönlampi  
Title of thesis: RF-Transmitter-Receiver  
Supervisor: Helena Tolonen  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018  
Pages: 33 + 1 attachment

---

The commissioner of this thesis is a company which works in the field of electronics. The company had a need for a new product or module, which should contain features from existing product and from two different modules. A need for a new module came from customer's requirements. The company needed lighter and IP54 protected module, which should pass MIL-STD-810G-standard drop and vibration tests.

First plan was to design and make a functional prototype for the company. For timing reasons it was decided that requirements of this project were narrowed to concept and mechanical designs only. Time was also used to look for different manufacturing methods and different kinds of materials for the module.

The design managed to meet the weight, dimension and feature requirements. Combining two different modules reduced the weight to 2,8 kilograms. The height of the module was reduced 10 millimeters and the number of features was increased. The module should also be IP54 protected.

The main material for the module was aluminum. The aim was to test PEEK CF30 as a substitute for the aluminum, but manufacturer had several difficulties with this material. For that reason it was not possible to test this material.

The project outcomes show that the company should start the project and take this new product to production. The company should also make tests for the PEEK CF30 material because that would offer a great deal of potential to replace the aluminum. The weight of the enclosures should be halved with this material.

---

Keywords: RF-receiver, RF-transmitter, cooling, housing, mechanical designing, PEEK CF30

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 LÄHTÖTIEDOT	9
2.1 Kontrollimoduuli	9
2.2 Lähetin-vastaanotinmoduuli	10
2.3 Yhteenveto lähtötiedoista	11
3 TAVOITTEET UUDELLE TUOTTEELLE	13
3.1 Tuotekehityksen tavoitteet	13
3.2 Tuotannon toivomukset	14
3.3 PLM:n toivomukset	15
3.4 Asiakkaiden toivomukset ja MIL-STD-810-standardi	16
3.5 Tavoitteiden ja toivomuksien yhteenveto	17
3.5.1 Pakolliset ominaisuudet	17
3.5.2 Vaihtoehtoiset ominaisuudet	18
4 VALMISTUSMENETELMIEN VERTAILU	19
4.1 CNC-koneistus	19
4.2 Ruiskuvalu	19
4.2.1 Ruiskuvalun kustannukset	20
4.2.2 Ruiskuvalumuotin suunnittelu	20
4.3 3D-tulostus	20
4.4 Yhteenveto valmistusmenetelmästä	21
5 MATERIAALIVERTAILU	23
5.1 Alumiini	23
5.2 Teräs	23
5.3 Muovi	24
6 MEKANIKKASUUNNITTELU JA KOMPONENTTIVALINNAT	25
6.1 Jäähdytys	26
6.1.1 Siilin mekaaniset ominaisuudet	27

6.1.2 Komponenttien liittäminen siiliin	27
6.1.3 Tuulettimet	27
6.2 PEEK CF30 -muovin ongelmat	29
6.3 Liittimet	29
7 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	32
LIITTEET	
Liite 1 Aikataulu	

## **SANASTO**

CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CNC	Computer Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus
EMC	Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
HOQ	House of Quality, laadun talo
IP	International Protection, kansainvälinen suojaus
MJP	MultiJet Printing
NUC	Next Unit of Computing
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta
QFD	Quality Function Deployment, asiakaslähtöinen tuotteen kehitys
RF	Radio Frequency, radiotaajuus
SLA	Stereolithography, stereolitografia
SLS	Selective Laser Sintering, lasersintraaminen
SSD	Solid State Drive

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunnitellaan mekaniikka elektroniikka-alan yrityksen tuotteen uudelle moduulille. Uudessa moduulissa yhdistetään kaksi erillistä moduulia yhdeksi. Tarve uudelle moduulille tai tuotteelle syntyi asiakkaan vaatimuksesta asiakkaan pitäessä tuotteen painoa kriittisenä. Samalla uudessa moduulissa pyritään parantamaan muita aikaisempien moduulien osa-alueita kuten IP-luokitusta, koottavuutta ja huollettavuutta.

Työssä selvitetään ensin lähtökohdat, raja-arvot ja vaatimukset uudelle moduulille. Kotelorakenteelle selvitetään vaihtoehtoista valmistusmenetelmää koneistuksen tilalle ja eri materiaalia korvaamaan alumiini. Moduulille suunnitellaan kotelorakenne kaikkine osineen ja komponentteineen suunnittelusuunnan, valmistusmenetelmän ja materiaalin ollessa selvänä. Työn lopuksi tehdään yhteenveto ja pohditaan, onko tämän moduulin tuotteistaminen järkevää suunnittelun ja mallien pohjalta.

Lopputuloksien perusteella yritys päättää, käynnistetäänkö moduulista virallinen projekti ja viedäänkö moduuli tuotantoon. Opinnäytetyö on rajattu taustatutkimukseen ja suunnitteluun. Valmista moduulia tai prototyyppiä ei tässä raportissa käsitellä.



## 2 LÄHTÖTIEDOT

Perustuotteen tuoterakenne koostuu useasta eri moduulista. Moduuleja yhdistämällä päällekkäin voidaan saavuttaa erilaisia tuotekokonaisuuksia, toimintoja ja käyttökohteita. Tärkeimmät moduulit ovat kontrollimoduuli ja lähetin-vastaanotinmoduuli. Tuoterakenteessa tulee aina olla yksi kontrollimoduuli ja vähintään yksi lähetin-vastaanotinmoduuli.

Uuden käyttökohteen vuoksi painon pudottaminen tuli merkittäväksi. Lähetin-vastaanotinmoduuli ei toimi ilman kontrollimoduulia, joten katsottiin järkeväksi yhdistää nämä kaksi moduulia yhdeksi. Tällä tavalla pystytään säästämään runkojen ja komponenttien painossa, sillä moduuleilla on erilliset rungot ja komponenteissa päällekkäisyyksiä. Samalla voitaisiin korjata molempien moduulien puutteita, vähentää valmistuskustannuksia, lyhentää tuotantoaikoja ja suunnitella entistä monipuolisempi tuote.

### 2.1 Kontrollimoduuli

Kontrollimoduuli ohjaa muita moduuleja ja mahdollistaa tuotekokonaisuuden käytön. Kontrollimoduulista on tehty neljä eri variaatiota, mutta käytännössä käytössä on vain kaksi. Kolmas ja neljäs variaatio on lähes samanlainen kuin toinen variaatio. Ulkomitat ovat pysyneet samana, mutta painoa on tullut vähän lisää irrotettavan 2,5”-n SSD-kovalevyn vuoksi. Taulukon 1 tiedot on otettu yrityksen sisäisistä tiedoista.

*TAULUKKO 1. Kontrollimoduulin tekniset tiedot (1)*

	1. Variaatio	2. Variaatio
<b>Koko (L x S x K)</b>	300 x 226 x 30 mm	300 x 226 x 51 mm
<b>Paino</b>	1,45 kg	1,85 kg
<b>Materiaali</b>	EN AW 5083	EN AW 5083
<b>Valmistusmenetelmä</b>	Koneistus	Koneistus
<b>Tiiveys</b>	IP20	IP20
<b>Virrankulutus</b>	25 W	25 W
<b>Käyttölämpötila</b>	-5...+40°C	-5...+40°C

Moduulien valmistuksessa on käytetty valamalla valmistettua EN AW 5083 -alumiinia. Valssausmenetelmällä valmistettua alumiinia ei ole ollut mahdollista käyttää moduulien valmistuksessa. Ensimmäisissä prototyypeissä valssattu alumiini muutti muotoaan koneistuksen jälkeen (2.)

Toisessa variaatiossa moduulin runkoa on korotettu lisääntyvien ominaisuuksien vuoksi ja lisäkomponentit ovat tuoneet lisää painoa. Molemmat variaatiot sisältävät myös ohutlevyosia.

Kontrollimoduuli sisältää NUC-PC-mallin, joka on poistumassa tuotannosta. NUC-PC:tä ei ole mahdollista saada enää lisää, joten uusi moduuli tulee tarpeeseen. Uuden NUC-PC:n mallissa kiinnitysreiät ja liittimet ovat eri kohdissa, joten uutta PC:tä ei voida käyttää suoraan vanhan tilalla.

## **2.2 Lähetin-vastaanotinmoduuli**

Lähetin-vastaanotinmoduuli toimii RF-signaalien lähettimenä ja vastaanottimena eli mittalaitteena. Lähetin-vastaanotinmoduulista on valmistettu vain yksi variaatio ja tätä variaatiota on tarvittaessa päivitetty. Kontrollimoduulin tavoin lähetin-vastaanotinmoduuli on valmistettu EN AW 5083 -alumiinista ja moduuli sisältää useita eri ohutlevyosia.

Lähetin-vastaanotinmoduuli lämpenee käytössä ja osa komponenteista tarvitseekin jatkuvaa jäähdytystä. Kriittisistä komponenteista löytyvät alumiiniset jäähdytyssovitimet. Moduulin sisällä on kaksi EBM-papstin valmistamaa radiaalituuletinta. Tuulettimet ottavat viileää ilmaa moduulin toiselta puolelta ja puhaltavat ilman jäähdytysriipojen läpi poistaen lämpöä ulos moduulin toiselta puolelta. Taulukon 2 tiedot on otettu yrityksen sisäisistä tiedoista.

TAULUKKO 2. Lähetin-vastaanotinmoduulin tekniset tiedot (1)

	Lähetin-vastaanotin
Koko (L x S x K)	300 x 226 x 40 mm
Paino	2,25 kg
Materiaali	EN AW 5083
Valmistusmenetelmä	Koneistus
Tiiveys	IP20
Virrankulutus	50 W
Käyttölämpötila	-5...+40°C
Äänitaso	n. 50 dB

### 2.3 Yhteenveto lähtötiedoista

Tuoterakenteen modulaarisuus tuo omat rajoitteensa tuotesuunnittelulle. Uuden moduulin tulee olla taaksepäin yhteensopiva, joten moduulin leveyden ja syvyyden tulee pysyä samana. Tuoterakenteesta löytyy myös kaksi erilaista ketjutuskorttia ja neljä kiinnitystassua. Näiden paikkoja ei voida muuttaa eikä komponentteja voida vaihtaa toisiin. Ketjutuskortit voidaan suunnitella erilaisiksi, mutta liittimien tulee pysyä samoina. Lisäksi löytyy vielä lisämoduuliliitin, jonka mallia ei voida muuttaa.

Kontrollimoduulista ja lähetin-vastaanotinmoduulista löytyy päällekkäisyyksiä komponenteista, kuten rungot ja kolme erilaista piirilevykorttia. Uuden moduulin suunnittelulla saadaan säästöä painossa ja valmistuskustannuksissa, kun komponenttien päällekkäisyydet poistetaan eli kaksi samaa komponenttia saadaan korvattua yhdellä. Komponentteja ja liitoskohtia vähentämällä saadaan myös pienennettyä virrankulutusta. Komponenttien yhteispaino on noin 1,2 kg päällekkäisyyksineen. Jäähdytyslaitteet olivat komponenteissa paikoillaan.

Piirilevyihin joudutaan tekemään muutoksia, kun päällekkäisyyksiä poistetaan. Mahdollisesti joudutaan myös tekemään ohjelmistomuutoksia, jotta uusi tuote toimii muidenkin moduulien kanssa.

Lähtötiedot määrittelevät myös moduulin raja-arvot. Päällekkäin laitettuna kontrollimoduulin ja lähetin-vastaanotinmoduulin korkeus on 70 mm kontrollimoduuli variaatio 1:n kanssa ja painoa 3,7 kg. Variaatio 2:n kanssa korkeutta kertyy 91

mm ja painoa 4,1 kg. Lähetin-vastaanotinmoduulin jäähdytys pitää olla tehokas, joten tuulettimia joudutaan käyttämään myös uudessa moduulissa.

### **3 TAVOITTEET UUELLE TUOTTEELLE**

Uuden tuotteen alkusuunnittelu aloitettiin määrittelemällä tavoitteet ja keräämällä yhteen eri osastojen toivomuksia. Lopuksi tuotekehitysosaston tavoitteista ja muiden osastojen toivomuksista muodostettiin yhteenveto, joka asetti tuotteen kehitykselle suunnan. Toivomukset ja tavoitteet kerättiin aluksi erikseen eri osastoilta ja tämän jälkeen pidettiin yhteispalaveri, jossa kaikki ilmaantuneet asiat koottiin yhteen. Tällä menettelytyylillä pyrittiin varmistamaan, että uudesta moduulista tulee järkevä ja haluttu.

#### **3.1 Tuotekehityksen tavoitteet**

Tuotekehitysosasto asetti omat tavoitteensa uudelle moduulille perustuen lähinnä käyttötarkoitukseen, edellisten tuotteiden tai moduulien puutteiden tai ongelmien korjaamiseen ja aikaisemmin saatuihin palautteisiin. Osa uuden moduulin tavoitteista tulee myös lähtötiedoista, koska uudessa tuotteessa yhdistetään käytännössä kaksi eri moduulia. Uuden moduulin ollessa toteutumiskelpoinen, tulee sen olla matalampi ja painaa vähemmän kuin kaksi moduulia yhteensä. Tähän perustuen tulee uuden moduulin olla matalampi kuin 91 mm ja painaa alle 4,1 kg.

Käyttökohteita lisäämällä moduulin tiiveysluokka haluttiin nostaa IP20:stä IP54:ään. Tiiveysluokka IP54 tarkoittaa pölyltä suojausta ja roiskevesitiiveyttä. IP-tiiveys pyritään säilyttämään silloin, kun moduuli on ulkokäytössä eikä tähän ole liitettyä mitään johtoja tai muita yksiköitä.

IP-tiiveydellä tarkoitetaan suojausta ulkoisilta uhkilta kuten vierailta esineiltä, pölyltä ja vedeltä. IP:n jälkeen ensimmäinen numero kertoo tiiveyden vieraita esineitä ja pölyä vastaan. Toinen numero kertoo tiiveyden vettä vastaan. IP-luokkatiiiveydet voidaan nähdä yksinkertaistettuna taulukosta 3. (3.)

### TAULUKKO 3. IP-luokitukset (3)

<b>Numero</b>	<b>Suojaustaso pölyltä ja vierailta esineiltä</b>
IP0x	Ei suojausta
IP1x	Suojaus suurilta kappaleilta joiden halkaisija on maksimissaan 50 mm
IP2x	Suojaus keskisuurilta kappaleilta joiden halkaisija on maksimissaan 12,5 mm
IP3x	Suojaus pieniltä kappaleilta joiden halkaisija on maksimissaan 2,5 mm
IP4x	Suojaus erittäin pieniltä kappaleilta joiden halkaisija on maksimissaan 1 mm
IP5x	Suojauspölyltä --> ei saa muodostua haitallisia pölykertymiä
IP6x	Täydellisesti suojattu pölyltä --> pölytiivis
<b>Numero</b>	<b>Suojaustaso vedeltä ja kosteudelta</b>
IPx0	Ei suojausta
IPx1	Suojaus vedeltä, mikä tippuu pystysuoraan
IPx2	Suojaus vedeltä, mikä tippuu pystysuoraan tai maksimissaan 15° kulmassa
IPx3	Suojaus vedeltä, mikä sataa maksimissaan 60° kulmassa
IPx4	Suojaus roiskevedeltä
IPx5	Suojaus suihkuavalta vedeltä
IPx6	Suojaus voimakkaasti suihkuavalta vedeltä
IPx7	Suojattu vedeltä hetkellisessä upotuksessa
IPx8	Suojattu vedeltä jatkuvassa upotuksessa. Vettä ei saa päästä haitallisiin paikkoihin
IPx9	Suojattu kuumalta ja paineelliselta vedeltä, joka kulmasta 30 sekunnin ajan

Käyttöympäristön lämpötilaa haluttiin myös nostaa 40 °C:sta 50 °C:seen, jotta käyttökohteita saataisiin lisää. Samalla moduulin melutasoa halutaan pienentää, mikä lisää omat haasteensa käyttöympäristölämpötilan noston ja IP-luokituksen kanssa.

### 3.2 Tuotannon toivomukset

Tuotekehityksen kannalta tuotannon toiveet moduuliin ovat erityisen tärkeitä. Tuotantoajoissa jokainen säästetty minuutti säästää myös rahaa. Tuotannolta saadaan tuotekehitykselle täysin eri näkökulma, jota mikään muu osasto tai asiakkaat eivät näe. Moduulin pitää olla helposti ja nopeasti koottavissa, mutta myös helposti ja nopeasti huollettavissa. Tuotannossa laite kootaan yhdistämällä komponentti A komponenttiin B. Sen vuoksi tuotteen kokoamisessa ei ole suotavaa käyttää viilaa, poraa tai muita muovaavia työkaluja.

Tuotantoaikoja saadaan nopeutettua vähentämällä komponenttien määrää, käyttämällä kasauksessa mahdollisimman paljon samoja ruuveja ja suunnittelemalla

moduulille selkeä rakenne. Selkeässä rakenteessa jokaisella komponentilla ja kaapelilla on oma ja selkeä paikka. Toive olisi myös vähentää ruuvien ja korotusruuvien määrää. Komponenttien määrä vähenee automaattisesti, kun kahden eri moduulin päällekkäisyyksiä poistetaan. Nykyisellään kahdella lämpenevällä komponentilla on erilliset jäähdytyslaitteet. Nämä jäähdytyslaitteet halutaan korvata yhdellä.

### **3.3 PLM:n toivomukset**

PLM:n toiveet keskittyvät lähinnä tuotteiden käyttöön ja asiakkailta saamaan palautteeseen ja vaatimukseen. PLM huolehtii, että tuotteen ominaisuudet, ulkonäkö ja laatu vastaavat asiakkaan tarpeita.

Uudesta moduulista haluttaisiin valmistaa vain yksi variaatio, josta löytyisivät kaikki ominaisuudet, joita eri variaatiot sisältävät tällä hetkellä. Tämä helpottaisi huomattavasti myyntiä, tuotantoa ja hankintaosastoa. Komponentteja voitaisiin jättää pois laitteen sisältä, jos asiakas haluaa mahdollisimman keveän ja edullisen tuotekokonaisuuden. Mahdollista voi myös olla, ettei asiakkaalla ole käyttöä kaikille ominaisuuksille.

USB-liittimien määrää haluttiin kasvattaa yhdestä kappaleesta useampaan. Kontrollimoduulissa on yksi USB-liitin, johon on liitetty USB-jakaja usean laitteen kiinnitystä varten. USB-liittimien lisääminen vaatii enemmän tilaa mekaniikasta, mikä voi aiheuttaa ongelmia suunnittelussa. Liittimissä on haluttu käyttää Hartingin valmistamia liittimiä. Nämä liittimet ovat laadukkaita ja kestäviä, mutta myös tilaa vieviä. Näiden korvaaminen erilaisella liittimellä voisi olla aiheellista, mutta laatu ja kestävyys eivät kuitenkaan saisi kärsiä. Kaikki moduulin liittimet halutaan säilyttää aikaisempien tuotteiden tapaan yhdellä sivulla.

Kontrollimoduulissa käytettävää GPS-korttilevyä haluttiin parantaa toimintavarmemmaksi ja käytettävyyttä paremmaksi. Tuotteen rakenne pitäisi vähintään saada pölytiiviksi ja mahdollisuuksien mukaan vesitiiviiksi. Siksi IP54 on hyvä vaihtoehto.

### 3.4 Asiakkaiden toivomukset ja MIL-STD-810-standardi

Suurin osa asiakkaiden vaatimuksista tulee PLM:n kautta. Yksi asiakas halusi kuitenkin uudelta moduulilta vaativampia ominaisuuksia. Moduuli saisi painaa maksimissaan 2,8 kg välttämättömien komponenttien kanssa, täyttää IP67:n vaatimukset ja MIL-STD-810G-standardin pudotus- ja tärinätestit.

MIL-STD-810G-standardi on Yhdysvaltojen armeijan kehittämä vaatimusluokka. Standardi sisältää useita erilaisia vaativia testejä. Asiakkaan toivomuksissa moduulin tulisi läpäistä ainoastaan pudotus ja tärinätestit tästä standardista. (4.)

Pudotustestissä laite tulee pudottaa joka laita, sivu ja nurkka edellä yhteensä 26 kertaa. Pudotus tapahtuu betonin päälle, jonka päällä on 2 tuumaa (50,8 mm) paksu vanerilevy. Laite pudotetaan käyttökorkeuden ja laitteen painon mukaan, pudotuskorkeus tässä tapauksessa olisi 122 cm. Testissä saa käyttää viittä eri laitetta ja testi on hyväksytty, jos laitteet toimivat eikä niissä näy päälle päin merkittäviä vaurioita pudotuksien jälkeen. Pudotukset voidaan jakaa vapaasti laitteiden välillä. Pudottamiseen käytetään pudotuslaitetta tai pikalukituskoukkuja. (4.)

MIL-STD-810G-standardiin on valmiiksi määritelty tärinätestejä eri käyttökohteiden mukaan. Nämä testit on esitetty eri kuvaajissa. Satunnaisessa tärinätestissä materiaali tai laite altistetaan satunnaisille taajuuksille materiaalin ominaisvärähtelytaajuuksien välillä sekä laitteen käyttökohteen mukaan. Yleensä alin käytetty taajuus on puolet materiaalin matalimmasta ominaistajuudesta ja korkein taajuus kaksi kertaa materiaalin ominaistajuus. Yleensä ei kuitenkaan mennä yli 2 000 Hz. Tärinätestissä laitteesta ei saa irrota osia ja kaikkien mekanismien ja ominaisuuksien tulee toimia normaalisti tärinätestin jälkeen. Testin läpäisemiseksi tärinätestin aikana laitteelle saa tehdä korjauksia ja parannuksia. Testaus tulee kuitenkin lopettaa korjauksien ajaksi ja aloittaa alusta. Tärinätesteissä laite testataan XYZ-koordinaatiston mukaan. Testit kestävät useita tunteja, mutta vastaavat käyttötunneissa useita tuhansia. (5.)



### **3.5 Tavoitteiden ja toivomuksien yhteenveto**

Moduulin kehitykselle asetetut tavoitteet lajiteltiin pakollisiin ja vaihtoehtoisiin ominaisuuksiin. Ominaisuuksiin ja niiden jakoon päästiin pitämällä yhteinen pala-veri kaikkien osastojen välillä. Erittäin hyvä vaihtoehto olisi ollut tehdä ominaisuuksista QFD-menetelmää käyttäen laatutalo eli HOQ. Yksinkertaisuudessaan laatutalo koostuu useammasta eri osa-alueesta. Osa-alueet lajitellaan asiakkaan tarpeisiin, kilpailevien tuotteiden vertailuun, teknisiin vaatimuksiin, kohdearvoihin ja näiden osa-alueiden väliseen suhteeseen. Lopuksi näistä muodostuu talomainen konsepti, josta nähdään, mitkä ominaisuudet ovat pakollisia, mitkä toissijaisia ja mitkä ei välttämättömiä. Laatutaloa ei kuitenkaan tehty, koska kyseessä oli kahden moduulin yhdistäminen yhdeksi moduuliksi tai itsenäiseksi tuotteeksi ja eri osastojen välillä oli yhtenevät mielipiteet moduulin kehityssuunnasta. (5.)

#### **3.5.1 Pakolliset ominaisuudet**

Uuden moduulin tulisi sisältää kaikki kontrollimoduulin ja lähetin-vastaanotinmoduulin ominaisuudet yhdessä variaatiossa eli yhdessä mekaniikkakuoressa. Kaikkine komponentteineen uusi moduuli saisi painaa 3,5 kg ja 2,8 kg välttämättömillä komponenteilla. Korkeudessa pyritään pysymään alle 70 mm, joka vastaa matalinta variaatiomallia. Maksimissaan moduulille saa tulla korkeutta 91 mm. Moduulin tulisi toimia luotettavasti käyttöympäristölämpötilan ollessa 50 °C, mikä tarkoittaa sitä, että moduulin tulee toimia vielä 60 °C:ssa. Moduulin pölyn ja veden suojauksessa pyritään vähintään tasoon IP54, kun moduuliin ei ole kytketty toista yksikköä tai liitetty mitään liittimiä. Kaikki liittimet ja tuuletusaukot tulee suojata siten, ettei pölyä tai roiskevettä pääse laitteen kriittisiin komponentteihin. Asiakkaan toivomuksesta moduulin tärinä- ja pudotustestit pyritään täyttämään MIL-STD-810G-standardin mukaisesti.

Kaksi eri komponenttia tulee käyttämään yhteistä jäähdytysiiliä. Moduulin rakenteesta pyritään tekemään mahdollisimman yksinkertainen ja kaapeleille merkitään omat paikat, jotta tuotantoaikoja saadaan lyhennettyä. Liittimet sijoitetaan yhdelle sivulle, mikä selkeyttää ja helpottaa käyttöä. Uuden moduulin tulee olla taaksepäin yhteensopiva aikaisempien moduulien kanssa.

### **3.5.2 Vaihtoehtoiset ominaisuudet**

Moduulista pyritään tekemään mahdollisimman hiljainen, mutta käyttöympäristö-lämpötilan noston vuoksi tämä voi olla haasteellista. USB-liittimiä lisätään, jos mekaniikkaan jää tarpeeksi tilaa. GPS-kortin paikoitusta ja käyttöä pyritään parantamaan. NUC-PC tullaan vaihtamaan uuteen malliin, mutta pyritään myös katsomaan muilta valmistajilta kuin Intelilta vaihtoehtoista tuotetta. RF-kanavien määrää voitaisiin myös mahdollisesti nostaa useampaan ja miettiä jo valmiiksi komponenttien mitoitusta myöhempiä päivityksiä varten.

## 4 VALMISTUSMENETELMIEN VERTAILU

Valmistusmenetelmä on hyvä olla selvillä ennen mekaniikkasuunnittelun aloittamista. Jokaisessa valmistusmenetelmässä on omat rajoitteensa, mikä vaikuttaa mekaniikkasuunnitteluun. Uuden tuotteen runkorakenteen valmistusmenetelmäksi vertaillaan CNC-koneistamista, ruiskuvalamista ja 3D-tulostusta.

### 4.1 CNC-koneistus

Kotelomaisen rakenteen CNC-koneistamisessa käytetään jrsintä. Kappale on kiinnitettynä pöytään ja työkalu muovaa ahiosta haluttua kappaletta poistamalla materiaalia. CNC-koneistuksella voidaan valmistaa erittäin tarkkoja ja viimeistelyjä osia. Materiaalivalikoima on laaja, mutta pehmeiden materiaalien tarkka koneistaminen on aina haastavaa. (11; 12.)

Kappaleen saaminen suunnitteluvaiheesta fyysiseksi kappaleeksi sujuu suhteellisen nopeasti. Yleensä valmiin kappaleen saa muutamassa viikossa. Prototyyppi voidaan valmistaa samasta materiaalista, josta valmis tuotekin valmistettaisiin. CNC on edullinen tapa valmistaa kappaleita, jos määrät pysyttelevät sadoissa kappaleissa. (11.)

### 4.2 Ruiskuvalu

Ruiskuvalamisessa muovirakeet sulatetaan ja puristetaan muottiin. Sulan jäähtyttyä eli jähmetettyä, muotti aukaistaan ja valmis kappale voidaan poistaa. Prosessi on yleensä osittain tai täysin automatisoitu ruiskuvalukoneella. Ruiskuvalamisella voidaan valmistaa suuria tuotantoeriä erittäin nopeasti. (7.)

Ruiskuvaluun suunniteltu muotti koostuu vähintään kahdesta osasta. Kone painaa osat vastakkain, jolloin muottipalasten väliin jäävään tilaan ruiskutetaan sulaines, josta haluttu kappale muodostuu. Samaan muottiin voidaan tehdä tila useammalle kappaleelle, jolloin yhdellä ruiskutuksella saadaan valmistettua useampi kappale. Tällöin muotin sisään tulee suunnitella erilliset jakolinjat, joita pitkin sulaines pääsee muottiin. Ruiskuvalamisella saavutetaan hyvä pinnanlaatu eikä pintaa välttämättä tarvitse enää jälkikäsitellä. (7.)

### **4.2.1 Ruiskuvalun kustannukset**

Ruiskuvalamisessa aloituskustannukset ovat erittäin suuret. Tarkan muotin kustannukset ovat useita tuhansia, jopa useita kymmeniä tuhansia euroja. Tällä ei kuitenkaan ole väliä, jos tarkoituksena on valmistaa useita tuhansia kappaleita, jolloin aloituskulut valmistettua osaa kohden jäävät pieniksi. Muotin tekemisen jälkeen muutoksien tekeminen kappaleeseen tulee kalliiksi. Kappaleelle joudutaan muokkaamaan muottia ja mikäli se ei ole mahdollista, joudutaan valmistamaan uusi muotti. (7.)

### **4.2.2 Ruiskuvalumuotin suunnittelu**

Valmistettavan kappaleen geometria tulee soveltua ruiskuvaluun, jotta kappale on mahdollista irrottaa muotista. Suoria ja negatiivisia geometrioita tulee välttää. Aika ruiskuvaletun kappaleen suunnittelusta valmiiseen kappaleeseen on pitkä. Ennen muotin suunnittelua ja valmistusta muotilla valmistettavan kappaleen toimivuus kannattaa varmistaa tekemällä kappale jollain muulla valmistusmenetelmällä. Muotin tekeminen on erittäin kallista ja sen muuttaminen vielä kalliimpaa, ellei mahdotonta. (7.)

### **4.3 3D-tulostus**

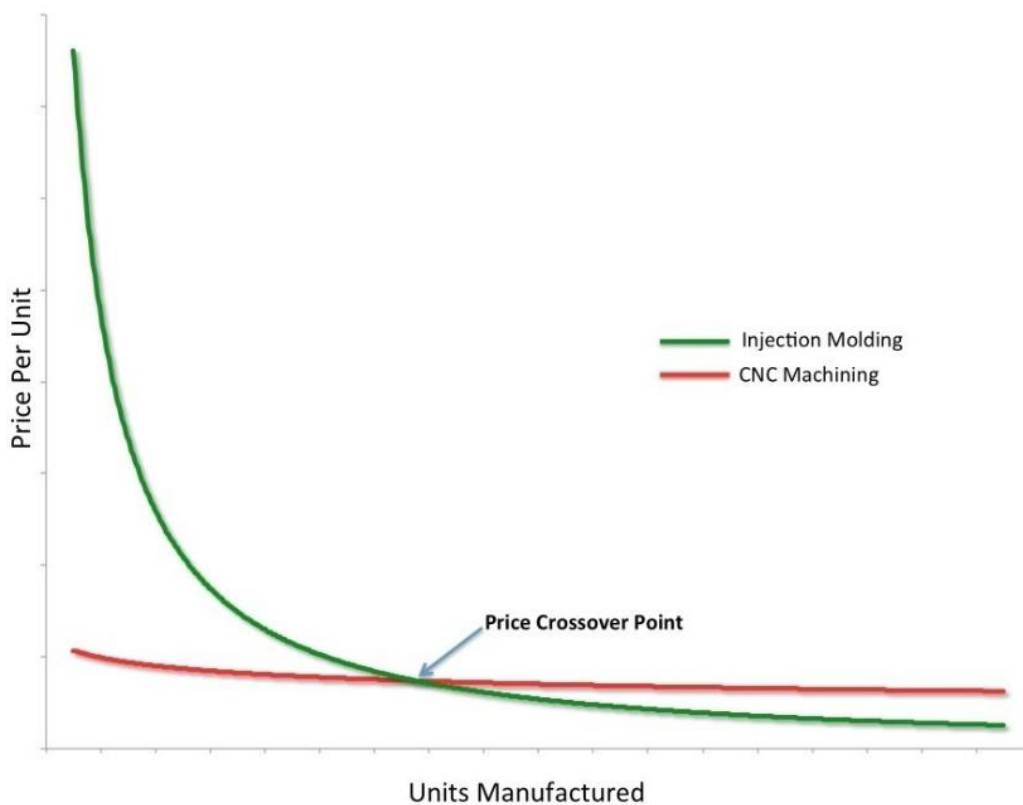
3D-tulostusmuotoja löytyy erilaisia. Jokaisella tulostusmuodolla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Peruseriaate tulostuksessa on kuitenkin sama. Kappalemallin 3D-CAD-kuva viipaloidaan kerroksiin erillisellä ohjelmalla ja 3D-tulostin rakentaa kappaleen ohjelman mukaan kerros kerrokselta joko lisäämällä materiaalia tai kovettamalla nestettä, jauhetta tms. kerroksittain. (8.)

3D-tulostusmenetelmistä SLA- tai SLS-tekniikat voisivat mahdollisesti toimia tuotteena. Prototyypin valmistaminen näillä menetelmillä olisi ainakin järkevää. SLS-tekniikassa laser kovettaa jauhetta kerros kerrokselta ja SLA-tekniikassa UV-laser kovettaa nesteitä ja komposiitteja kerros kerrokselta rakentaen valmiin kappaleen. (9; 10.)

3D-tulostaminen on nopeaa ja edullista, kun valmistusmäärät ovat kymmenissä tai sadoissa kappaleissa. 3D-tulostamalla prototyypin valmistaminen ja testaaminen on edullista. Tässä tapauksessa valmiin tuotteen kotelorakenteeksi se ei välttämättä sovellu. Tulostuksen laatu tai kestävyys ei välttämättä vastaa kotelolle asetettuja vaatimuksia, vaikka molemmista tavoista löytyy erittäin varteen otettavia materiaaleja. (9; 10.)

#### 4.4 Yhteenveto valmistusmenetelmästä

Ruiskuvalun hyöty CNC-koneistukseen verrattuna saavutetaan 100 - 5 000 kpl:een jälkeen. Määrään vaikuttaa muun muassa kappaleen koko, kappaleen monimutkaisuus ja jälkikäsittelyn tarve valamisen jälkeen. Tämä voidaan nähdä kuvasta 1. (11.)



*KUVA 1. Ruiskuvalun ja CNC-koneistamisen hinta valmistettua kappaletta kohti (11)*

Aikaisempia moduuleja on vuosien varrella räätälöity asiakkaiden tarpeiden mukaan ja tuotantomäärät ovat kohtuullisen pieniä. Laitteita valmistetaan yhteensä

noin 150 - 200 kpl vuodessa. Jo pelkästään näistä syistä valaminen ei ole kannattava vaihtoehto tuotantomenetelmänä. Tähän mennessä kotelot ovat CNC-koneistettu ja tämä osoittautuu tälläkin kertaa järkeväksi vaihtoehdoksi. 3D-tulostusta kannattaa käyttää kuitenkin prototyypin valmistuksessa ja testata myös 3D-tulostamista mahdollisena lopullisena tuotteena.

## 5 MATERIAALIVERTAILU

Valmistustavan ollessa selvänä voidaan keskittyä runkorakenteen valmistusmateriaaliin. Materiaalia tulee pystyä koneistamaan ja materiaalin tulee säilyttää muotonsa koneistuksen jälkeen. Painorajoituksen vuoksi kestävyys-painosuhte tulee olla kohdillaan. Rungon tulee kestää MIL-STD-810G-standardin mukaiset pudotus ja värinätestit. Materiaalia pitää pystyä maalaamaan, ellei materiaalin pinnan ulkonäkö miellytä sellaisenaan. Materiaalin tulisi olla myös sähköä johtavaa, jotta kotelosta saadaan EMC-tiivis. EMC-tiiveys voidaan kyllä saavuttaa erilaisilla pinnoituksilla.

Kuten lähtötiedoista käy selville nykyiset rungot ovat valmistettu alumiinista. Ohutlevyosissa on myös pääosin käytetty alumiinia. Teräksestä on valmistettu joitain ohutlevyosia, jos osalta on vaadittu jäykkyyttä, mutta kappaleen on pitänyt pysyä mahdollisimman ohuena.

### 5.1 Alumiini

Alumiiniluokkia ja -laatuja on kymmeniä erilaisia. Alumiiniluokat eroavat toisistaan seostuksellaan. Yleensä ottaen alumiineissa yhdistyvät keveys ja riittävä kestävyys. Alumiinin tiheys riippuen seostuksesta on noin  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , eli kuutiometri alumiinia painaa noin 2 700 kg. Alumiini voidaan anodisoida seostuksesta riippuen tai maalata. EN AW 5083 -alumiini on osoittautunut hyväksi seostukseksi kotelarakenteille. EN AW 5083 ei väännä koneistuksen aikana ja se voidaan anodisoida ja maalata. (13.)

### 5.2 Teräs

Teräslajeja on tuhansia ja kuten alumiineissakin seostukset ovat erilaisia. Valuraudasta teräksen erottaa sen hiilipitoisuus. Hiilipitoisuuden pitää olla alle 1,7 %, jotta voidaan puhua teräksestä. Teräokset ovat erittäin lujia ja kestäviä, mutta painavia. Teräksen tiheys riippuu seostuksesta, mutta se on erittäin lähellä puhtaan raudan tiheyttä. Raudan tiheys on noin  $7,85 \text{ g/cm}^3$ , eli kuutiometri terästä painaa noin 7 850 kg. Alumiiniin verrattuna teräs painaa siis lähes kolme kertaa enemmän. Kotelorakennetta suunniteltaessa materiaalia pitäisi siis olla karkeasti

noin kolme kertaa vähemmän kuin alumiinilla, jotta saavutetaan sama paino. Nykyisillä tuotteilla koteloiden seinämävahvuudet ovat jo erittäin ohuet, eikä materiaalia voitaisi tarpeeksi poistaa hyödyn saavuttamiseksi. Lisäksi kierteitykset vaativat tietyn seinämävahvuuden. (14.)

### **5.3 Muovi**

Erilaisia muoviseoksia löytyy tuhansia. Oikeasta muovista kotelon valmistaminen olisi erittäin järkevää jo pelkästään painosyistä. Käytettävältä muovilta kuitenkin vaaditaan erittäin paljon. Muovin tulisi johtaa sähköä EMC-tiiveyden vuoksi, kestää MIL-STD-810G-standardin pudotus- ja värinätestit, olla koneistettavissa tai 3D-tulostettavissa ja mahdollisesti muovia pitäisi pystyä vielä maalaamaan. Muovista on mahdollista tehdä EMC-tiivis eli sähköä johtava sisäpuolisella pinnoitteella.

#### **PEEK CF30**

PEEK CF30 -muovi on hiilikuituvahvistettua PEEK (polyeetterieetteriketoni) muovia, mikä luokitellaan erikoismuoviksi. PEEK CF30 -muovissa on 30 % hiilikuitua, mikä lisää tuotteen kestävyyttä ja tekee siitä sähköä johtavan. Muovin kimmomoduuli on noin 1:10 alumiinin kimmomoduulista, mutta tiheys on vain  $1,38 \text{ g/cm}^3$  eli kuutiometri muovia painaa vain 1 380 kg:aa, eli noin puolet vähemmän kuin alumiini. Kontrollimoduulin variaatio 2 ja lähetin-vastaanotinmoduulin yhteispaino tipahtaisi materiaalimuutoksella vajaa 800 g:aa eli 3,3 kg:aan. (15.)

PEEK CF30 -muovista voidaan osat valmistaa koneistamalla. Muovilla olisi erittäin hyvät edellytykset läpäistä myös MIL-STD-810G-standardin pudotus- ja värinätestit. PEEK CF30 -materiaali on erittäin kallista, mikä tulisi nostamaan runkorakenteen hintaa. Lähetin-vastaanotinmoduulin kohdalla kotelorakenteen hinta nousisi vajaa nelinkertaiseksi. Hintaa tulisi kuitenkin verrata molempien kontrollimoduulin ja lähetin-vastaanotinmoduulin koteloihin. Tällöin hinnan nousu jäisi noin kaksinkertaiseksi. Hinnan nousu voitaisiin kompensoida myyntihinnalla, jos materiaalilla saadaan huomattava markkinaetu kilpailijoihin nähden. PEEK CF30 -materiaalista päätettiin tilata protokappaleet lähetin-vastaanotinmoduulille, jotta materiaalia päästäisiin testaamaan käytännössä.



## 6 MEKANIKKASUUNNITTELU JA KOMPONENTTIVALINNAT

Kontrollimoduulin ja lähetin-vastaanotinmoduulin kotelorakenteissa pohjaosa on sisältänyt kotelon pohjan, seinät ja sisäpuoliset muotoilut. Kotelon yläosa on sisältänyt pelkästään kannen tuotteelle. Tuotannossa tuote joudutaan kasaamaan seinämien sisälle, mikä tämän kokoisessa tuotteessa voi aiheuttaa ongelmia ruuvauksessa, liittimien liittämässä ja johtojen vedossa. Myöskään huollon kannalta rakenne ei ole paras mahdollinen, koska pääsy tiettyyn komponenttiin kärsiksi voi olla estynyt seinämien vuoksi. Koneistamisen valmistuskustannukset tällaisessa rakenteessa ovat alhaisemmat, koska kansi voidaan valmistaa ohuesta aihioista, mikä johtaa pienempiin materiaalikustannuksiin sekä koneistusaikoihin.

Mekaniikkasuunnittelu aloitettiin kopioimalla lähetin-vastaanotinmoduulin pohjaratkaisu ja niiden komponenttien paikat joiden paikkaa ei voida muuttaa. Kotelorakenne käännettiin toisinpäin eli pohjaosa sisältää pohjan sekä sisäpuoliset muotoilut. Yläosa sisältää ulkoseinät, kannen, liittimet sekä kannen kiinnityksen. Näin saadaan parannettua moduulin kasausta ja huoltoa.

Mekaniikkasuunnittelun aikana vaatimukset selkeytyivät ja osa ominaisuuksista päätettiin jättää pois. Teoriassa mekaniikan tiiveysluokka pitäisi olla IP68, mutta Harting -liittimet pudottavat tiiveysluokan IP67 ja antenniliittimet pudottavat tiiveysluokkaa entisestään IP54. IP54 oli alkuperäinen tiiveysluokka tuotteelle, joten tavoitteeseen päästiin. Moduulien ketjutusliittimiin ja lisälaiteliittimeen joudutaan tiivisteet valmistamaan valamalla kumista, mutta loput tiivisteet voidaan vesileikata liimapintaisesta tiivistysmateriaalista.

Taulukosta 4 voidaan nähdä erot komponenteissa, ruuveissa ja mekaniikkaosissa eri moduulien välillä. Ruuveihin on laskettu myös korotusruuvit ja korinaluslevyt, joita uudessa moduulissa on vähemmän kuin kontrolli- tai lähetin-vastaanotinmoduulissa ja huomattavasti vähemmän kuin kontrolli- ja lähetin-vastaanotinmoduuleissa yhteensä. Mekaniikkaosissa on kaikki valmistettavat tai itse suunnitellut mekaaniset osat. Komponentit sisältävät kaikki loput osat kuten piiri-levyt ja vakiokomponentit. Kontrollimoduulista on laskettu variaation 1 osat. Taulukon 4 tiedot ovat otettu yrityksen sisäisistä tiedoista ja mekaniikkamalleista.

TAULUKKO 4. Osavertailu (17)

	Kontrolli	Lähetin-vastaanotin	Yhteensä	Yhdistetty
Ruuvien määrä	74	76	150	98
Erilaisia ruuveja	12	15	18	15
Mekaniikkaosat	14	27	41	25
Komponentit	17	19	36	27

Suunnitellun moduulin korkeus on 60 mm, mikä on 10 mm matalampi kuin kontrollimoduuli ja lähetin-vastaanotinmoduuli yhteensä. Mekaniikan laskennallinen paino asettui 1,7 kg:aan ja koko moduulin arvioitu paino pitäisi olla noin 2,8 kg. Moduulille asetetut tavoitteet alitettiin, vaikka ominaisuuksia lisättiin. Keveimmillään moduulin paino tulee olemaan 2,5 kg. Laskelmissa on käytetty rungon materiaalina EN AW 5083 -alumiinia.

### 6.1 Jäähdytys

Moduulin jäähdytyksen suunnitteluun käytettiin erittäin paljon aikaa suhteessa muuhun suunnitteluun. Moduuliin tehtiin yksi isompi jäähdytys siili, missä jäähdytys helat ja tuulettimet ovat omassa tunnelissa eristettynä muista komponenteista. Näin saadaan parannettua moduulin jäähtymistä ja varmistettua IP-tiiveys.

Jäähdytys siilistä ja koko jäähdytyksen toteutuksesta tehtiin kolme eri variaatiota ennen kuin lopullinen ratkaisu löytyi. Jäähdytystunneli jäähdytettävien komponentteineen vie suuren osan mekaniikasta, joten tämän toteuttaminen täytyi olla kasauksen, huollon, tiiveyden ja koko mekaniikan korkeuden kannalta optimi. Eri variaatioissa etsittiin parasta ratkaisua painon, kasattavuuden, IP-tiiveyden ja ilma-aukkojen pinta-alan suhteen.

Jäähdytystunnelin otto- ja poistoaukot suunniteltiin erillisistä osista. Tämä ratkaisu hidastaa kokoamista ja laitteen purkua, koska osien määrä kasvoi kahdella ja ruuvien määrä neljällä. Kyseiset osat joudutaan asentamaan yläosan kiinnityksen jälkeen ja poistamaan ennen yläosan irrottamista. Tämä ratkaisu varmisti kuitenkin haluttuun IP-luokkaan pääsemisen.

### **6.1.1 Siilin mekaaniset ominaisuudet**

Jäähdytys­siilin materiaaliksi valittiin 6063-T6-alumiini. Kyseinen alumiini on erittäin yleinen jäähdytys­siilissä, koska kyseinen alumiiniseos omaa hyvän lämmön­johtavuuden (209 W / (mK)) painoon nähden. Kuparin lämmön­johtavuus on 384 W / (mK), mutta kupari painaa yli 3 kertaa enemmän kuin alumiini. Tässä tapauksessa siilinä ei olisi ollut järkevää käyttää kuparia, koska siiltä ei olisi voinut tehdä pienemmäksi. Jäähdytys­siili tulee anodisoida mustaksi, joka parantaa lämmön ottoa ja haihduttamista. (16.)

Jäähdytys­siili on suhteellisen iso ja painava verrattuna laitteen kokoon. Jäähdytys­siilin lopullinen paino on 445 g ja koko leveimmistä kohdista on 295,10 x 132 mm.

### **6.1.2 Komponenttien liittäminen siiliin**

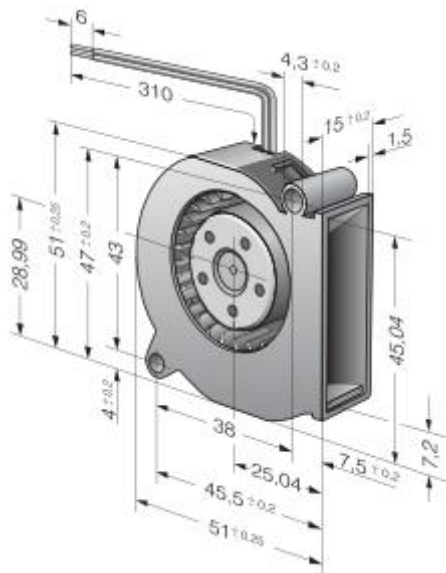
Jäähdytys­siiliin asennetaan suoraan kaksi eri piirilevyä, joiden komponentit tarvitsivat erittäin hyvän jäähdytyksen. NUC-PC:stä poistetaan tuuletin ja alkuperäiset jäähdytysosat. Jäähdytysosat korvataan kupari- ja alumiinilevyillä. Kuparilevy asennetaan suoraan prosessoria vasten ja alumiinilevy tämän päälle pitämään jäähdytysputket paikoillaan. NUC-PC:n kaksi jäähdytysputkea yhdistetään jäähdytys­siiliin haihduttamaan lämpöä. Käytännössä NUC-PC:n alkuperäinen aktiivinen jäähdytys korvataan passiivisella jäähdytyksellä.

Moduulin virtalähteen jäähdytys hoidetaan yhdistämällä jäähdytystä tarvitseva komponentti lämpöputkella jäähdytys­siiliin. Periaatteena käytetään samanlaista ratkaisua kuin NUC-PC:n kohdalla.

### **6.1.3 Tuulettimet**

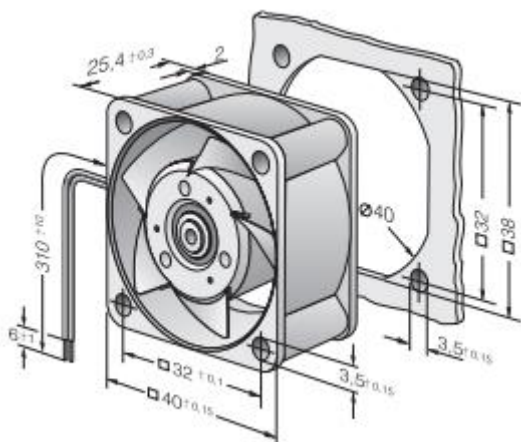
Mekaniikassa tuulettimet ottavat ilmaa laitteen ulkopuolelta puhaltaen ilman jäähdytysripojen välistä jäähdyttäen ripoja ja vieden lämmintä ilmaa ulos laitteesta. Jäähdytyksessä oli mahdollista käyttää joko radiaalituulettimia tai aksiaalituulettimia.

Radiaalituuletin on matala, mutta tarvitsee yläpuolelleen tilaa ilmavirtausta varten. Radiaalituulettimilla on yleensä ottaen parempi painetuotto kuin aksiaalituulettimilla. Radiaalituuletin ottaa ilman yläpuolelta Y-akselin suuntaisesti ja puhalltaa sen ulos sivusta X-akselin suuntaisesti. Radiaalituulettimen malli voidaan nähdä kuvasta 2.



*KUVA 2. Radiaalituuletin (18)*

Aksiaalituuletin ottaa ja puhalltaa ilman X-akselin suuntaisesti. Aksiaalituuletin voi olla suoraan laitteen sivussa ottaen ilmaa laitteen ulkopuolelta. Tässä tapauksessa radiaali- ja aksiaalituulettimet vaativat lähes saman tilan mekaniikasta. Aksiaalituulettimen malli voidaan nähdä kuvasta 3.



*KUVA 3. Aksiaalituuletin (19)*

Aikaisemmassa moduulissa on käytetty radiaalituulettimia, jotka ovat osoittautuneet erittäin hyväksi. Radiaalituulettimien saatavuus halutussa koossa ja IP68 luokituksella osoittautui kuitenkin erittäin haasteelliseksi. Siksi ainoaksi vaihtoehdoksi jäi käyttää aksiaalituulettimia. Valikoidun aksiaalituulettimen tiiveysluokitus on IP68. IP68-luokituksella haluttiin varmistaa, ettei tuuletin voi rikkoutua veden vaikutuksesta.

## **6.2 PEEK CF30 -muovin ongelmat**

Lähetys-vastaanotinmoduulin mekaniikat tilattiin viikolla 48 ja osien piti saapua viikolla 2, mutta osat myöhästyivät erilaisten ongelmien vuoksi eikä osia keretty saamaan opinnäytteen teon aikana. Osien olisi pitänyt saapua viimeistään viikolla 15 ehtiäkseen tähän raporttiin. Siksi PEEK CF30 -materiaalia ei keretty testaamaan. Hinta ja koneistusongelmat kertovat, ettei PEEK CF30 -materiaali välttämättä ole paras mahdollinen tuotantolaitteisiin. PEEK CF30 -materiaalia pyritään kuitenkin testaamaan tulevaisuudessa.

## **6.3 Liittimet**

Moduulissa käytettiin samoja Hartingin valmistamia PushPull-liittimiä kuin kontrollimoduulissakin. Liittimet ovat todettu hyväksi eikä liittimien vaihtaminen olisi ollut järkevää taaksepäin yhteensopivuuden vuoksi. Kovalevynä voidaan käyttää Samsungin valmistamaa 2,5":n SSD-kovalevyä. Kovalevy saadaan irrotettua ja asennettua alle viidessä sekunnissa. Kovalevy voidaan asentaa joko kiinteästi asennustelakkaan tai jättää kelluvaksi, jolloin tuotteessa voidaan käyttää useampaa eri kovalevyä. USB-liittimiä ei voitu lisätä laitteeseen tilaongelmien vuoksi.

## 7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli yhdistää kaksi erillistä moduulia yhdeksi ja näin luoda uusi moduuli. Keskeisimpinä tavoitteina uudesta tuotteesta piti saada IP54-tiivis, pudottaa painoa 2,8 kg:aan ja nostaa laitteen käyttöympäristön lämpötilaa 40 °C:sta 50 °C:seen. Alkuperäisenä tavoitteena oli saada valmistettua tuotteesta prototyyppi, mutta muiden projektikiireiden vuoksi päädyttiin opinnäytetyö rajaamaan suunnitteluasteelle. Teoriassa uuden moduulin pitäisi saavuttaa kaikki kriteerit, jotka tämän projektin tavoitteenakin oli. Aina joudutaan tekemään pieniä kompromisseja suunnittelun aikana. Laitteen fyysisiä mittoja on lähes mahdoton enää pienentää, ellei piirilevyjä ja liittimiä saada pienennettyä.

Moduulin pääsuunnittelu on valmis, ja moduuli voidaan tuottaa loppuun piirilevyjen suunnittelun jälkeen. Mekaniikkaan joudutaan tekemään pieniä korjauksia, kunhan piirilevyjen suunnittelu on valmis. Lopulliset muokkaukset liittyvät lähinnä tiivistekohtien optimointiin ja tolerointiin. Tiivisteet liikuttavat kappaleita jostain kymmenyksiä suuntaan tai toiseen, mikä vaikuttaa muiden komponenttien paikoitukseen. Lisäksi mekaniikkaan joudutaan vielä suunnittelemaan virtapainike, jäähdytys virtakortille ja kiinnitys GPS-kortille. Työmäärällisesti kyse on alle sadasta tunnista.

Projekti oli aikataulussa vuoden 2017 loppuun, mutta alkuvuoden 2018 kiireiden vuoksi aikataulu petti eikä tuotteelle keretty suunnittelemaan lopullisia piirilevyjä, tekemään ohjelmaa eikä valmistamaan prototyyppiä. Prototyypin puuttumisen vuoksi tuotteen testaus jäi puuttumaan. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli myös tarkoitus testata PEEK CF30 -muovia, mutta erilaisten ongelmien vuoksi materiaalista ei saatu tilattuja kappaleita. Aikatauluongelmat olisi voitu ratkaista aloittamalla projekti aikaisemmin tai käyttämällä tähän huomattavasti enemmän resursseja ja aikaa. PEEK CF30 -muovin ongelmat viittaavat materiaalin huonoon tuotantokelpoisuuteen tai koneistusyrityksen kokemattomuuteen PEEK CF30 -materiaaliin.

Prototyypin puuttumisen vuoksi käytännön testauksia esimerkiksi moduulin koostamisesta ei voitu suorittaa. Tuotteen hyvä koottavuus on erittäin kriittinen tuotantokäytännön ja huollon kannalta. Suunnittelussa jouduttiin tekemään kompromissejä koostavuuden ja huollon kannalta, jotta muihin kriteereihin päästiin. Jokaisella ominaisuudella ja kriteerillä on omat painoarvonsa, joiden perusteella kompromissit tehtiin. Komponenttien sijoituksessa on käytetty kerrosrakennetta, jotta tilassa on voitu säästää mahdollisimman paljon. Ennen kuoren irrotusta joudutaan kuoresta irrottamaan viisi eri komponenttia, mikä tarkoittaa kymmenen ruuvien irrotusta kuoren kiinnitysruuvien lisäksi. Työn helpottamiseksi ruuvien kannat ovat samat.

Kontrolli- ja lähetin-vastaanotinmoduulin osien määrä verrattaessa yhdistettyyn moduuliin, ruuvien määrä väheni 52 kappaletta ja erilaisten ruuvien määrä väheni kolmella kappaleella. Valmistettavien mekaniikkaosien määrä väheni 16 kappaletta ja komponenttien määrä väheni 9 kappaletta.

Projektin tulokset vaikuttavat positiivisilta, ja niiden vuoksi kyseisen moduulin tuotteistaminen olisi järkevää. Jatkossa yritys päättää, käynnistetäänkö tästä oikea projekti ja viedäänkö moduuli tuotantoon. Tulevaisuudessa olisi hyvä jatkaa PEEK CF30 -materiaalin testausta, optimoida ja testata erilaisia jäähdytysratkaisuita sekä suorittaa MIL-STD-810G-standardin testit.

## LÄHTEET

1. Tuotteen tekniset tiedot. Sisäinen dokumentti. Tilaajayritys.
2. G.AL® C250. GLEICH Aluminium. Saatavissa: <http://gleich.de/en/products/g-al-c250/>. Hakupäivä 14.11.2017.
3. IP-classification. 2017. RISE – Research Institutes of Sweden. Saatavissa: <http://sp.se/en/index/services/ip/sidor/default.aspx>. Hakupäivä 18.11.2017.
4. MIL-STD-810G. 10-2008. Department of defense test method standard. environmental engineering considerations and laboratory tests. Sivut: 516.6-25, 516.6-26 ja 516.6-29 ja 516.6-30. Saatavissa: [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810G\\_12306/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810G_12306/). Hakupäivä 2.12.2017.
5. MIL-STD-810G. 10-2008. Department of defense test method standard. Environmental engineering considerations and laboratory tests. 10-2008. Sivut: 514.6A-5 ja 514.6A-6. United States of America. Department Of Defence. Saatavissa: [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810G\\_12306/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810G_12306/). Hakupäivä 2.12.2017.
6. Dr. A. J. Lowe. 2000. Webeducate. Saatavissa: <http://www.webducate.net/qfd/qfd.html>. Hakupäivä 19.11.2017.
7. Everything You Need To Know About Injection Molding. 2016. Creative Mechanisms. Saatavissa: <https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-injection-molding>. Hakupäivä 3.12.2017.
8. What is Additive Manufacturing? 2017. Amazing AM, LLC. Saatavissa: <http://additivemanufacturing.com/basics/>. Hakupäivä 3.12.2017.
9. Stereolitografia (SLA). Canorama Oy. Saatavissa: <http://www.canorama.fi/fi/3d-printer-technology/stereolitografia-sla>. Hakupäivä 3.12.2017.
10. Selective Laser Sintering (SLS). Canorama Oy. Saatavissa: <http://www.canorama.fi/fi/3d-printer-technology/selective-laser-sintering-sls>. Hakupäivä 3.12.2017.



11. Team VendOp. 2016. CNC Machining vs. Injection Molding, Which is the Right Choice? VendOp. Saatavissa: <https://www.vendop.com/blog/cnc-machining-vs-injection-molding-which-is-the-right-choice/>. Hakupäivä 3.12.2017
12. CNC MILLING. 2018. WorldSkills International. Saatavissa: <https://www.worldskills.org/what/career/skills-explained/manufacturing-and-engineering-technology/cnc-milling/>. Hakupäivä 14.01.2018.
13. Carholt, Elin – Swecast AB. Alumiiniseokset. Suom. Tuula Höök. (s. 1-10). Saatavissa: [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/metals\\_aluminum\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/metals_aluminum_FI.pdf). Hakupäivä 9.12.2017
14. Teräs. Teräsrakenneyhdistys. Saatavissa: <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneollisuus/teras-materiaalina/terasta-ja-rautaa/>. Hakupäivä 9.12.2017.
15. HPM'S – High-Performance Materials PEEK CF30. 2015. Aikolon Oy. Saatavissa: <https://www.aikolon.fi/tuotteet/erikoismuovit/peek-cf30>. Hakupäivä 9.12.2017.
16. The importance of radiation in heat sink design. 2018. heatsinkcalculator.com. Saatavissa: <http://www.heatsinkcalculator.com/blog/the-importance-of-radiation-in-heat-sink-design/#more-371>. Hakupäivä 7.4.2018.
17. 3D-mallit. Sisäinen dokumentti. Tilaajayritys
18. RLF 35-8/14 N DC centrifugal compact fan. 06-2016. ebm-papst St. Georgen GmbH & Co. KG. Saatavissa: [http://img.ebmpapst.com/products/datasheets/DC-centrifugal-fan-RLF35814N-ENU.pdf?\\_ga=2.34663713.1263634109.1523095723-473375784.1499248324](http://img.ebmpapst.com/products/datasheets/DC-centrifugal-fan-RLF35814N-ENU.pdf?_ga=2.34663713.1263634109.1523095723-473375784.1499248324). Hakupäivä 7.4.2018.
19. 412 JHH DC axial compact fan. 06-2016. ebm-papst St. Georgen GmbH & Co. KG. Saatavissa: [http://img.ebmpapst.com/products/datasheets/DC-axial-fan-412JHH-ENU.pdf?\\_ga=2.21621179.1263634109.1523095723-473375784.1499248324](http://img.ebmpapst.com/products/datasheets/DC-axial-fan-412JHH-ENU.pdf?_ga=2.21621179.1263634109.1523095723-473375784.1499248324). Hakupäivä 7.4.2018

