

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka, Tuotekehitys

2022

Jim Eriksson

# ULTRAKEVYEN LENTOKONEEN SUUNNITTELUPROSESSI

– maallikon tie taivaalle



Jim Eriksson

# Ultrakevyen lentokoneen suunnitteluprosessi

- maallikon tie taivaalle

Opinnäytetyössä tavoitteena oli selvittää B1-luokan yksipaikkaisen ultrakevyen lentokoneen suunnittelun oleelliset vaiheet. Työssä selvitetään viranomaisten asettamat vaatimukset kyseiselle lentokoneelle. Työ on suunnattu harrastekäyttöön tarkoitetun ultrakevyen lentokoneen suunnittelun vaiheisiin, laskelmiin sekä dokumentointiin. Suunnittelu ja dokumentointi kattaa oleelliset komponentit ultrakevyen rakenteesta. Koneen suunnittelussa sekä materiaalivalinnassa on jokaisessa vaiheessa otettu harrastepohjainen rakentaminen huomioon. Työ sisältää lujuuslaskentaa kriittisistä komponenteista sekä selvitystä ilmailuun kohdistettujen vaatimusten täyttymisestä.

Jokaisen käsitellyn komponentin toimintaa on ensin kuvailtu, minkä jälkeen on esitetty siihen liittyvät vaatimukset ja laskelmat. Materiaalivalintaa on käsitelty tietyille osille. Jokaista käsiteltyä komponenttia on mallinnettu CAD-pohjaisessa ohjelmistossa ja osia yhdistetty kokoonpanoiksi. Lopullinen kokoonpano sisältää kaikki työssä käsitellyt komponentit. Kriittinen tekijä ilmailussa on aina paino ja työssä tämä on otettu huomioon niin mallinnusohjelmassa kuin muulla dokumentoinnilla. Työssä ei niinkään keskitytä fyysisiin rakentamis- tai kokoonpanovaiheisiin. Opinnäytetyö on selvitys suunnitteluprosessin vaiheista. Opinnäytetyön tekohetkellä ei ollut aikomusta toteuttaa fyysistä ultrakevyttä.

Asiasanat:

Ultrakevyt lentokone, siviili-ilmailu, suunnitteluprosessi

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering, Product Development

2022 | 32 pages, 11 pages in appendices

Jim Eriksson

# Design process of an ultralight aircraft

- an amateur's route to aviation

The goal of the thesis was to sort out the most important steps in the design of a B1 class ultralight aircraft. Requirements set by the authorities for the aircraft in question are listed and processed. This thesis focuses on the design steps, calculations and documentation of an ultralight aircraft intended for civil aviation. The design and documentation cover only the most essential components of an ultralight aircraft. Hobby-based construction was considered in the design and material selection of the aircraft at every stage. The work includes a stress analysis of critical components and a comparison on the fulfillment of the requirements for aviation.

The function of each component processed is first described, after which requirements and calculations related to the component are presented. Material selection was addressed for certain parts. Each processed component was then modeled in CAD-based software and the parts combined into assemblies. The final assembly includes all the components processed in the thesis. One critical factor in aviation is always weight and this was considered in the work both in the modeling program and with other documentation. This thesis covers neither construction nor assembly phases. This thesis is a study of the different stages of the design process. At the time of doing the thesis there was no intention to implement building a physical aircraft.

Keywords:

Ultralight aircraft, civil aviation, design process

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet ja sanasto</b>	<b>7</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>8</b>
<b>2 Taustatietoa</b>	<b>9</b>
2.1 Ultrakevyet lentokonetyypit suomessa	9
2.1.1 B1-Luokan ultrakevyt lentokone	9
2.1.2 B2-luokan ultrakevytlentokone	9
2.2 Vaatimukset	10
2.3 Ohjelmistot, dokumentointi ja tiedonhallinta	10
<b>3 Suunnittelu</b>	<b>12</b>
3.1 Siipi ja siivekkeet	12
3.1.1 Koko, kuvasuhde ja siipiprofiili	12
3.1.2 Siivekkeiden koko ja sijoitus	15
3.1.3 Siiven mallinnus ja suunnittelu	16
3.2 Runko ja pyöräripustus	17
3.2.1 Runko	17
3.2.2 Pyöräripustus	19
3.2.3 Kannuspyörä	20
3.3 Sivu- ja korkeusvakaaja sekä peräsimet	21
3.4 Moottori ja voimavälitys	24
3.4.1 Tehopainosuhde	24
3.4.2 Moottorivalinta	25
3.4.3 Potkuri ja välityssuhde	25
3.4.4 Moottorin sijoitus	27
3.5 Ohjaus	27
<b>4 Lopuksi</b>	<b>30</b>
4.1 Suunnittelun ultrakevyen arvot	30
4.2 Reflektointi työstä	30
<b>Lähteet</b>	<b>32</b>

# Liitteet

Liite 1. Kokoonpano piirustus 1100

Liite 2. AIR M5-10 Ultrakevyiden ilma-alusten lentokelpoisuus ja valmistus

## Kaavat

Kaava 1: Siipipinta-ala (D. Raymer, 2002)	12
Kaava 2: Siiven kuvasuhteen laskeminen (D. Raymer, 2002)	13
Kaava 3: Korkeusvakaajan koko (D. Raymer, 2002)	22
Kaava 4: Korkeusvakaajan kuvasuhde (D. Raymer, 2002)	23
Kaava 5: Sivuvakaajan koko (D. Raymer, 2002)	23
Kaava 6: Sivuvakaajan kuvasuhde (D. Raymer, 2002)	24
Kaava 7: Tehopainosuhte ultrakevyissä (D. Raymer, 2002)	24

## Kuvat

Kuva 1: Phantom mallinen B1 luokan ultrakevyt	9
Kuva 2: Mallinnettu työ kokonaisuudessaan.	11
Kuva 3: Siipiprofiili vaihtoehtoja (D. Raymer, 2002)	14
Kuva 4: Clark Y siipiprofiili (M. Chakraborty, 2015)	14
Kuva 5: Siivekkeiden kokosuhte kuvaaja (D. Raymer, 2002)	15
Kuva 6: Siipikokoonpano	16
Kuva 7: Leikkaus siivestä ja siiven tuentapistestä	17
Kuva 8: Siiven kiinnityspisteet rungossa.	18
Kuva 9: Rungon sivuprofiili	18
Kuva 10: Pyöränripustus kokoonpano	20
Kuva 11: Kannuspyörä ja laakerointi	21
Kuva 12: Siiven ja peräsimen etäisyyden mittaus (D. Raymer, 2002)	21
Kuva 13: Rotax 503 missä alennusvaihte sekä potkuri	26
Kuva 14: Ohjaamo, ohjaussauva ja polkimet	27
Kuva 15: Ohjaamo kuvattuna edestä	28
Kuva 16: Painopisteen sijoitus lentokoneessa.	30



# Käytetyt lyhenteet ja sanasto

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
Airfoil	Siipiprofiili
AR	Aspect Ratio eli Kuvasuhde
Assembly	Kokoonpano
BOM	Bill of Material, materiaali tai osaluettelo
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CL	Coefficient of Lift eli Nostovoimakertoin
MAC	Mean Aerodynamic Chord eli siiven pituus
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics
Part(s)	Solidworksissä käytetty nimike osalle/tiedostolle.
Pitch	Lentokoneen liikehdintää Y-akselin ympärillä
Roll	Lentokoneen liikehdintää X-akselin ympärillä
RPM	Revolution per minute eli Kierrosta per minuutti
Siipiprofiili	Siiven muoto
Yawing	Lentokoneen liikehdintää Z-akselin ympärillä

# 1 Johdanto

Ihmiset ovat kautta aikojen katsoneet ylös taivaalle ja unelmoineet olevansa yhtä vapaita kuin linnut. Lukuisten haaveilijoiden epämenestyksikkäiden yritysten jälkeen kaksi veljestä Wilbur ja Orville Wright onnistuivat vuonna 1903 siinä, missä kukaan muu ei ollut vielä onnistunut. 12 sekuntia irtioton jälkeen ensimmäinen miehitetty lento oli laskeutunut. Ilmailu ja lentokoneet ovat tämän tapahtuman jälkeen kehittyneet tavalla, mitä tuskin Wrightin veljekset olisivat voineet kuvitella. Lentokoneet ja ilmailu kiehtovat kaiken ikäisiä taustaa katsomatta. Ilmailu käsitteenä on hyvin laaja ja on tarkoitettu kaikille.

Osa-alueena ilmailussa on siviili-ilmailu, johon tämä työ keskittyy. Ultrakevyet lentokoneet saattavat taloudellisesti olla monelle ainoa vaihtoehto mahdollistaa oma ilmailu-ura. Useassa maassa, kuten myös Suomessa, on mahdollista rakentaa oma harrastekäyttöön tarkoitettu ultrakevyt lentokone. Pääsy lentämään itserakennetulla ultrakevyellä edellyttää liikenne- ja viestintäviraston tarkastuksen läpäisyä sekä ultrakevyeen ilmailuun tarkoitettua lentolupakirjaa. Vaikka ultrakevyet ovat ilmailun yksinkertaisimpia muotoja, on aihe kuitenkin hyvin laaja ja tämä työ raapaisee vain pintaa hyvin kiinnostavasta aiheesta. Työ keskittyy kaikista oleellisempiin komponentteihin ja niihin liittyviin vaatimuksiin.



## 2 Taustatietoa

### 2.1 Ultrakevyet lentokonetyypit suomessa

Ultrakevyitä harrasterakenteisia lentokoneluokkia löytyy Suomesta kaksi. B1- ja B2-luokan lentokoneet. Tämän lisäksi Ultrakevyitä helikopteriluokkia löytyy myös kaksi. (Traficom, 2021)

#### 2.1.1 B1-Luokan ultrakevyt lentokone

Yksipaikkaisena B1-luokan ultrakevyen lentokoneen maksimi lentoonlähtömassa on maalentokoneena 300 kg ja vesilentokoneena maksimissaan 330 kg. Kaksipaikkaisena maalentokoneena 450 kg ja vesilentokoneena 495 kg. Sakkausnopeus B1-luokan ultrakevyillä on 65 km/h (35 solmua). (Traficom, 2021)

#### 2.1.2 B2-luokan ultrakevytlentokone

Yksipaikkaisena B2-luokan ultrakevyen lentokoneen maksimi lentoonlähtömassa on maalentokoneena 450 kg ja vesilentokoneena maksimi 500 kg. Kaksipaikkaisena maalentokoneena 600 kg ja vesilentokoneena 650 kg. Sakkausnopeus B2-luokan ultrakevyillä on 83 km/h (45 solmua). (Traficom, 2021)



Kuva 1: Phantom-mallinen B1-luokan ultrakevyt

## 2.2 Vaatimukset

Harrasterakenteisten ultrakevyiden lentokoneiden tulee Suomessa täyttää Liikenne- ja viestintäviraston Traficomin AIR M5-10 määräykset. Tämä liitteenä.

Tähän työhön oleellisia kohtia AIR M5-10 määräyksestä:

Rungon ja rakenteiden on kestävä positiivista kuormitusta 3.8 g ja negatiivista 1.5 g. Tarkoittaa painovoiman 3.8 kertaista voimaa nousussa ja 1.5 kertaista voimaa laskussa. (Traficom, 2021)

Sakkausnopeus on enintään 65 km/h (35 solmua). (Traficom, 2021)

Kuormattavuus on oltava yksipaikkaisilla vähintään 95kg ja kaksipaikkaisilla 175kg. (Traficom, 2021) Eli lentokoneen omapaino maalentokoneena 205kg

Lentokoneessa käytettävien mittareiden ei tarvitse olla tyyppihyväksytyjä, vaan ilmailukäyttöön tarkoitettuja. (Traficom, 2021)

Istuin ja istuinvöiden on oltava siihen käyttöön sopivia. (Traficom, 2021)

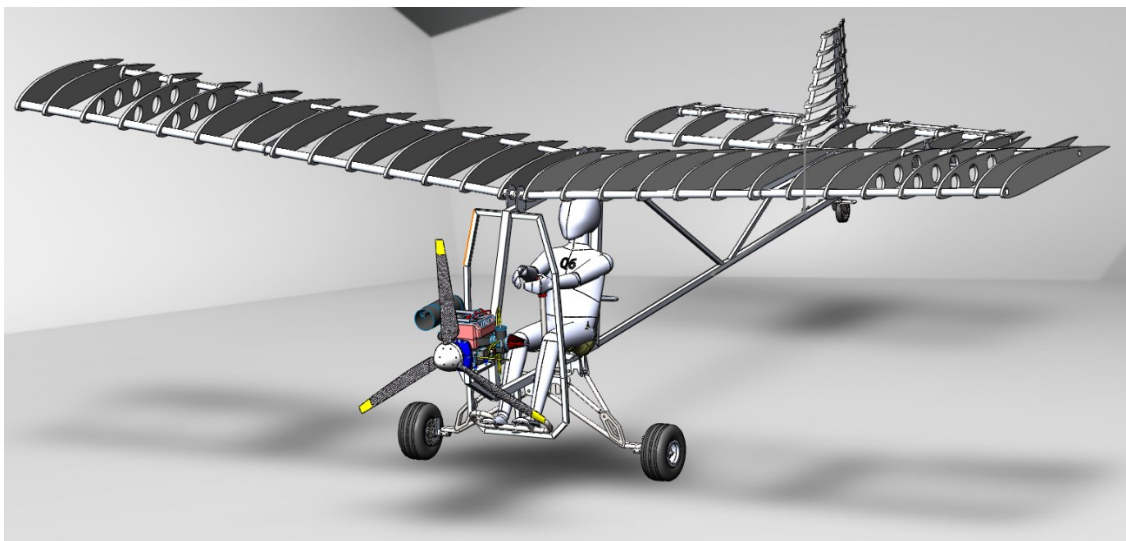
B1-ultrakevyen lentokoneen meluraja on 68dB. (Traficom, 2021)

## 2.3 Ohjelmistot, dokumentointi ja tiedonhallinta

Mallintamiseen käytettiin Solidworks 3D CAD-ohjelmistoa. Ohjelmistossa on laajat CAE simulaatiomahdollisuudet. Ohjelmistossa luodaan yksittäisiä dokumentteja nimeltä "Parts" eli osat. Useasta osasta voi luoda "Assembly" eli kokoonpano. Yksinkertaistamaan suunnittelua lentokone jaettiin alikokoonpanoihin, kuten runko, laskeutumisteline, siipi ja moottori. Jaettuna moneen kokoonpanoon tiedostohallinta yksinkertaistuu. Ohjelmistossa määritellään suunnittelun osan materiaali osakohtaisesti, mikä mahdollistaa painon ja painopisteen laskemisen ohjelmassa. Humanoidin materiaali määriteltiin vedeksi vastaamaan ihmisen painoa.

Ohjelmisto tarjoaa mahdollisuuden BOM- listaukseen, mikä yksinkertaistaa komponenttien määrien ja nimikkeiden hallintaa. Tämän lisäksi luotiin taulukkotiedosto, missä osanumeroiden ja lyhyen osaselityksen lisäksi listattiin osan paino. Tämä helpottaa kokonaispainon tarkkailua.

Osa- ja kokoonpanonumerointi toteutettiin juoksevilla numeroinnilla. Osat 001, 002, 003 ja kokoonpanot 1001, 1002, 1003.



Kuva 2: Mallinnettu työ kokonaisuudessaan.

### 3 Suunnittelu

Suunnitteluprosessi aloitettiin listaamalla kriteerejä ja muita arvoja koottuun taulukkotiedostoon. Lentokoneen koon hahmottamiseksi työhön hankittiin täysikokoinen ihmismallinne yritykseltä 3DHumanmodel. Hankitun humanoidimallinnuksen etuna oli mahdollisuus liikuttaa sen niveliä itse Solidworksissä. Varsinkin ohjaimien ja istuimen suunnitteluun humanoidista oli huomattava etu etäisyyksien säätämiseen.

#### 3.1 Siipi ja siivekkeet

Siivellä tarkoitetaan lentokoneen rakennetta, joka luo nostetta ilmanvirtauksesta. Siivekkeet ovat pääsiiven kärjissä olevat liikuteltavat pinnat, joilla ilmanvirtauksen suuntaa voidaan muuttaa ja ohjata siten lentokonetta. Jotta kone pystyisi nousemaan, nostovoiman on voitettava painovoima. Lentokoneen lennon mahdollistamiseksi siiven on luotava nostetta. Yksinkertaisissa suorakaiteen muotoisissa siivissä on kolme huomioon otettavaa seikkaa. Siiven koko, siiven kuvasuhde ja siivessä käytettävä muotoprofiili.

##### 3.1.1 Koko, kuvasuhde ja siipiprofiili

Aikaisemmin mainitut kriteerit ovat oleelliset siipikoon laskemisessa, sillä siinä otetaan huomioon paino ja sakkausnopeus.

$$\begin{aligned} S &= \text{Siipipinta-ala} \\ m &= \text{Massa} \\ \rho &= \text{Ilmantiheys} \\ v &= \text{nopeus} \\ CL &= \text{Nostovoimakertoin} \end{aligned}$$

$$S = \frac{m}{\frac{\rho * v^2}{2} * C_L}$$

Kaava 1: Siipipinta-ala (D. Raymer, 2002)

$$S = \frac{300kg * 9.81 m/s^2}{\frac{1.225kg/m^3 * (15m/s)^2}{2} * 1.65} = 10.67m^2$$

Kaavaa käyttäen saadaan siipikooksi  $10.67m^2$ . Huomioitavaa on, että laskettu koko on pienin mahdollinen siipikoko tarpeellisen noston saavuttamiseksi korkeimmassa sallitussa sakkausnopeudessa eli kokoa voi suurentaa.

CL on siipiprofiilin tuottama nostekomponentti, alla valitusta siipiprofiilin valintakuviosta ilmenee työssä käytetyn profiilin komponentti olevan 1.65.

Siiven kuvasuhde tarkoittaa siiven muotoa eli leveys pituus -suhdetta. Samalla siipi pinta-alalla voi olla monta eri kuvasuhdetta.

Ultrakevyiden kuvasuhde vaihtelee 5.0 ja 8.0 välillä. Mitä korkeampi luku, sitä leveämpi mutta lyhyempi siipi. Esimerkiksi purjelentokoneella, jolla on todella leveä mutta lyhyt siipi voi olla kuvasuhde, joka on jopa yli 30. Mitä pienempi kuvasuhdeluku, sitä ketterämmin lentokone käyttäytyy, sillä massa on keskitetympi ja siiven aiheuttama momentti näin pienempi. Työhön valittiin tämän takia loppupäästä kuvasuhteeksi 5.

$$\begin{aligned} AR &= \text{Kuvasuhde} \\ b &= \text{Leveys (siiven)} \\ S &= \text{Siipipinta-ala} \end{aligned}$$

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

Kaava 2: Siiven kuvasuhteen laskeminen (D. Raymer, 2002)

$$b = \sqrt{AR * S}$$

$$b = \sqrt{5 * 10.67m^2} = 7.3m$$

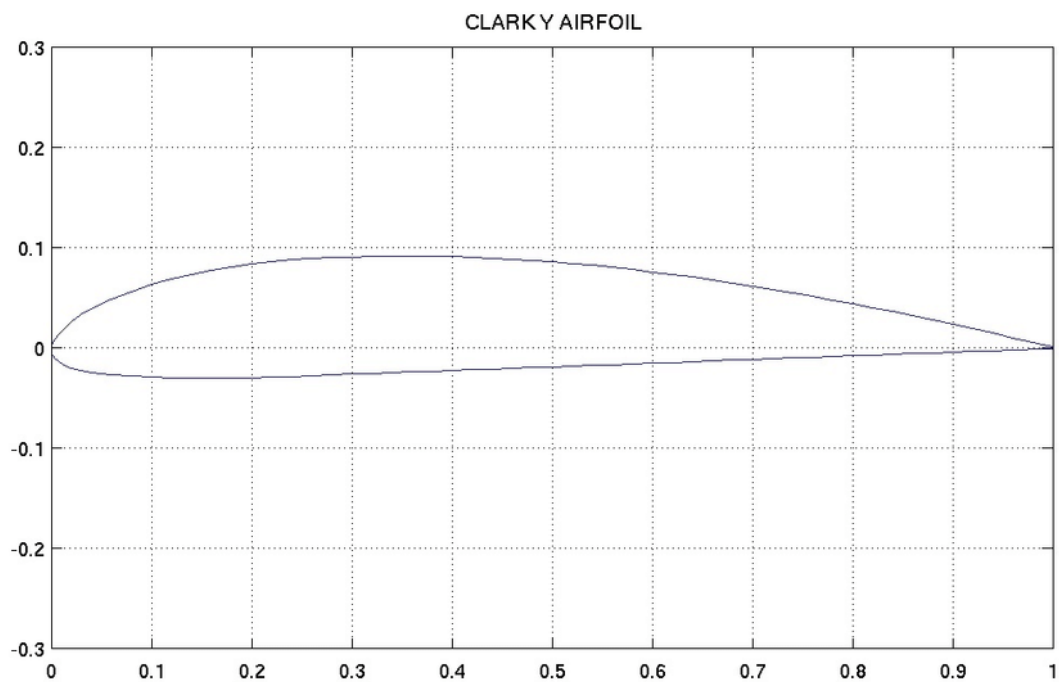
Näin siiven leveydeksi saadaan 7.3 m ja pinta-alasta laskettuna siiven pituudeksi saadaan 1.46 m

Siipiprofiili tarkoittaa siiven muotoa, siiven muoto tuottaa paine-eroa ja suuntaa ilmavirtausta luodakseen nostetta. Erilaisia siipiprofiileja on lukuisia. Useat niistä ovat NACA:n kehittämiä. Pääpiirteenä siipiprofiileille on se, että mitä ohuempia ne ovat sitä vähemmän ilmanvastusta ja vähemmän nostetta. Työhön valittiin kuvassa ilmenevän Clark-Y profiilin, joka on hyvin yleisesti käytetty siipiprofiili ultrakevyissä.

Clark-Y siipiprofiili on Virginus E. Clark'in vuonna 1922 kehittämä. Siipiprofiilin muoto on yksinkertainen, mikä helpottaa sen valmistusta varsinkin harrastekäytössä. Clark-Y siipiprofiililla on hyvät sakkausominaisuudet sekä hyvä ilmavastus/noste suhde. (Thoracentesis, 2021)

<i>Conventional</i>	Root Airfoil	$C_{lmax}$	Tip Airfoil	$C_{lmax}$
Aeronca C3	Clark Y	1.65	Clark Y	1.65
Bede BD-4	NACA 64-415	1.60	NACA 64-415	1.60
Bede BD-5	NACA 64-212	1.50	NACA 64-218	1.50
Beech 35 Bonanza	NACA 23016.5	1.60	NACA 23012	1.60
Bellanca Skyrocket II	NACA 63-215	1.60	NACA 63-215	1.60
Bellanca Citabria	NACA 4412	1.60	NACA 4412	1.60
Bellanca Decathlon	NACA 1412	1.60	NACA 1412	1.60
Bowers Fly Baby 1-A	NACA 4412	1.60	NACA 4412	1.60
Cessna 152	NACA 2412	1.65	NACA 0012	1.55
Cvjetkovic CA-65	NACA 4415	1.55	NACA 4415	1.55
Garrison Melmoth	NACA 65A316	1.50	NACA 65A316	1.50

Kuva 3: Siipiprofiilivaihtoehtoja (D. Raymer, 2002)

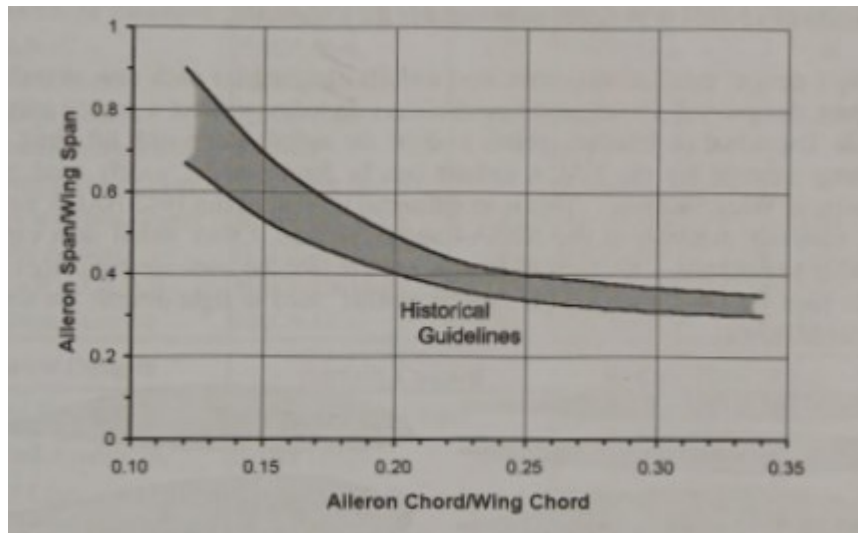


Kuva 4: Clark Y siipiprofiili (M. Chakraborty, 2015)

### 3.1.2 Siivekkeiden koko ja sijoitus

Siivekkeet vastaavat lentokoneen Roll-liikkeen ohjauksesta eli koneen X-akselin ympärillä tapahtuvasta liikkeestä. Siivekkeet ohjaavat lentokonetta ohjaamalla siiven ympäröivää ilmapirtta ylös tai alas. Siivekkeet liikkuvat samaan aikaan vastakohtaisiin suuntiin toisiinsa nähden. Siivekkeen koko vaikuttaa ohjauksen herkkyyteen ja vasteeseen. Kuvio kuvaa siivekkeiden kuvasuhdetta eli leveyttä verrattuna pituuteen. Työhön valittiin siivekepituudeksi 25 % siiven pituudesta ja kuvion perusteella siivekkeen leveys olisi 30 % siiven leveydestä. Laskettu siivekeleveys on yhteenlaskettu leveys vasemman ja oikeanpuolisesta siivekkeestä, jakamalla tulos kahdella saadaan yhden siivekkeen leveys.

Mitä ulommas siivekkeet on asetettu siivissä, sitä suuremmalla momentilla ne vaikuttavat rungon liikkumiseen. Siivekkeiden asettelu onkin tästä syystä perinteisesti aivan siiven kärjissä.



Kuva 5: Siivekkeiden kokosuhde kuvaaja (D. Raymer, 2002)

$S_l = \text{Siivekkeen leveys}$

$$S_l = \frac{0.3 * 7.3m}{2} = 1.095m$$

$S_p = \text{Siivekkeen pituus}$

$$S_p = 0.25 * 1.46 = 0.365m$$

### 3.1.3 Siiven mallinnus ja suunnittelu

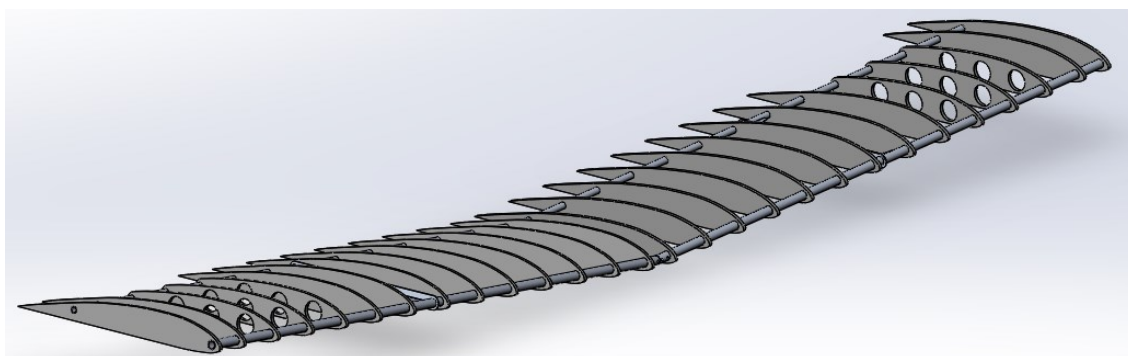
Ultrakevyissä muotomateriaali on usein kevyttä puutuotetta, kuten balsaa tai ohutta vaneria. Usein käytettyjä ovat myös kovat vaahtomuovit, kuten polystyreeni ja polyuretaani. (D. Raymer, 2002) Vaahtomuoveilla selvänä etuna on niiden keveys. Vaahtomuovit soveltuvat hyvin kohtiin, joissa taivutusta tai vetoa ei tapahdu. Muotomateriaalina vaahtomuoviin kohdistuu pääosin vain painetta ilmavirtauksesta.

Muotomateriaalit ovat peitetty pintamateriaalilla, joka on pääosin keinotekoisia polykuitukangasta, kuten Ceconite®. (R. Alexander, 2015)

Kohdissa, joissa esiintyy vetoa ja/tai vääntöä, tulee vaahtomuoveja välttää. Näihin kohtiin käytettyjä materiaaleja ovat alumiini sekä komposiitit, kuten lasikuitu, hiilikuitu ja aramidikuidut (kevlar). Kaupallisissa ultrakevyissä monesti kaikki muotopinnat sekä rakenneosat ovat valmistettu hiilikuidusta (S. Raj, 2017).

Työssä päädyttiin käyttämään pääosin yhdistelmää polystyreenilevystä ja alumiini putkesta. Polystyreenilevyllä saavutetaan oikeanlainen siipiprofiili ja alumiiniputkilla saavutetaan toivottu jäykkyys siiville. Polystyreenilevyn ja alumiiniputken välinen liitos tulee liimata esimerkiksi Epoksi-hartsilla.

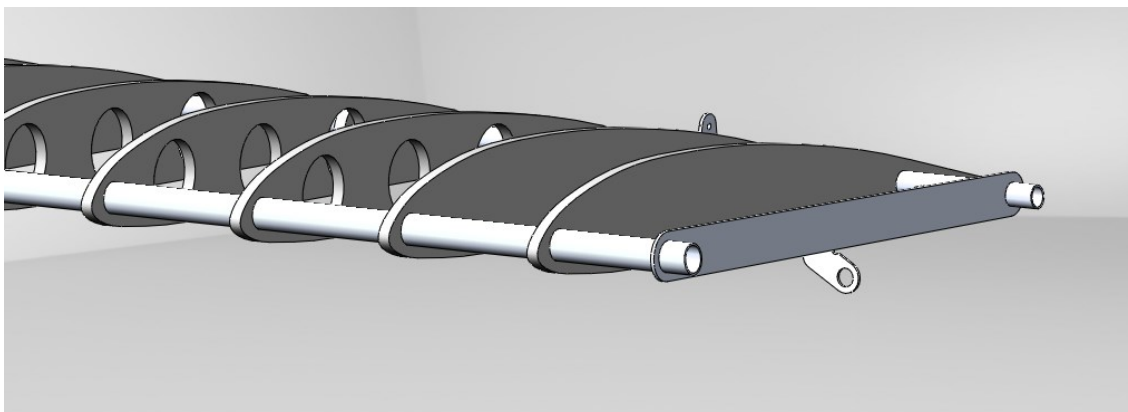
Takimmainen pienempi alumiininen runkoputki hyödynnettiin siivekkeiden saranaksi. Siivekkeiden muoto tuli samasta siipiprofiilista kuin mitä siivelle käytettiin. Eli siivekkeiden ollessa täysin keskellä liikerataa siiven muoto on yhtenäinen. Siivekkeiden ohjaus on rakennettu itse siiven sisälle, vähentämään siipiprofiilista poikkeavia muotoja.



Kuva 6: Siipikokoonpano

Vahvistamaan siipiä ja välttämään taipumasta nosteen voimasta ylöspäin, siipiin lisättiin kiinnikkeet teräsvaijerille. Teräsvaijeriin lisätään tämän lisäksi vanttiruuvi, jolla vaijeri saadaan esikiristettyä.





Kuva 7: Leikkaus siivestä ja siiven tuentapiste

## 3.2 Runko ja pyöräripustus

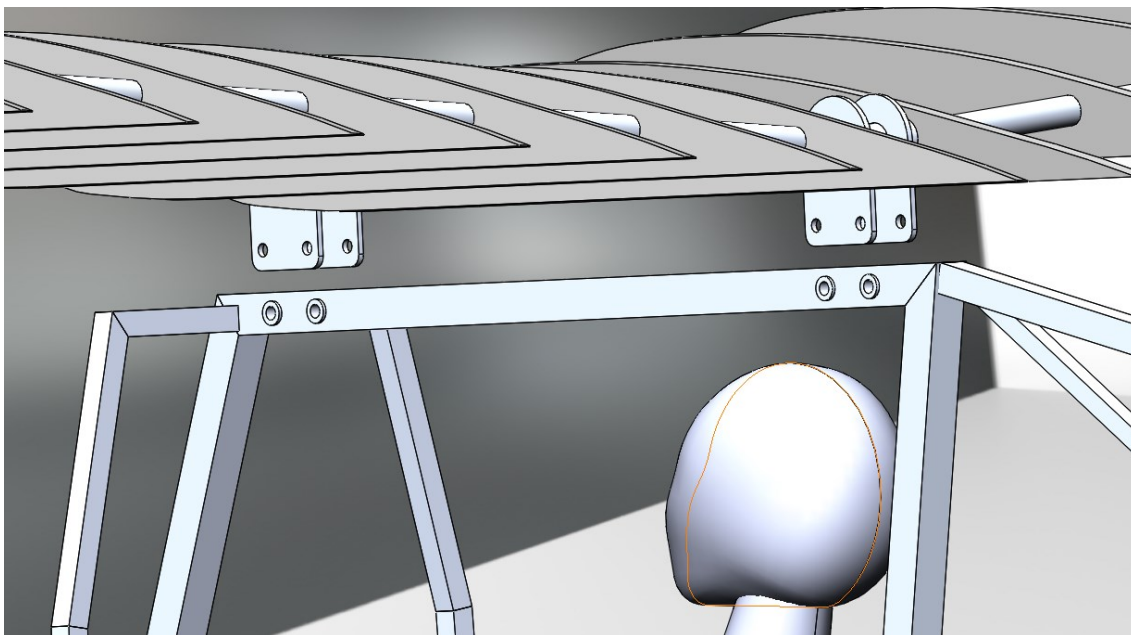
### 3.2.1 Runko

Siipi, sivu- ja korkeusperäsin ja moottori suunniteltiin moduuleiksi eli rungosta irrotettaviksi kokonaisuuksiksi. Runkoon suunniteltiin tämän takia kiinnityspisteitä näille kaikille, jotta irrottaminen olisi helppoa. Rungon materiaaliksi valittiin neliöprofiili alumiiniputkea sen erinomaisen jäykkyyks/paino suhteen ansiosta. Runkoon päädyttiin käyttämään 2"(50,8mm), rungon häntään 1.5"(38.1mm) ja hännän diagonaalituiksi 1"(25.4mm) neliöputkea.

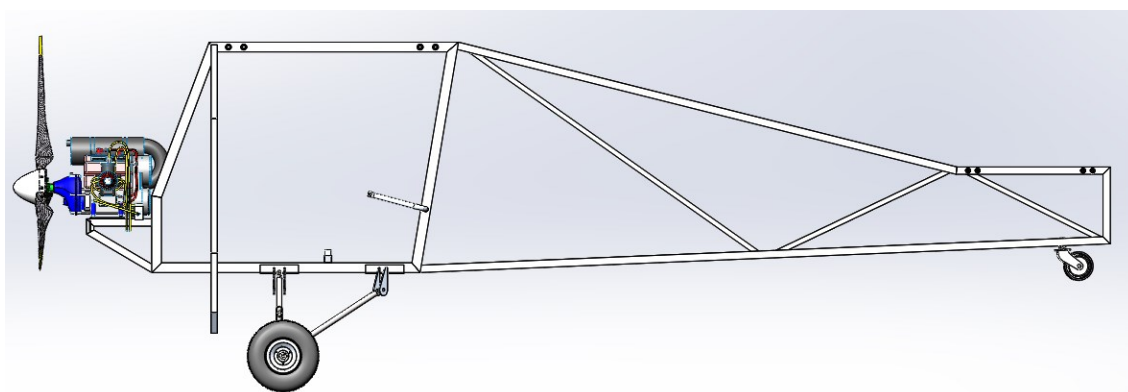
Vahvistamaan runkoa liitoskohdista alumiiniholkit suunniteltiin hitsattavaksi keskelle profiilia, näin liitospultin kosketuspinta kasvaa. Samalla alumiiniholkit estävät kiristämästä kiinnityskorvia niin paljon, että neliöputki muuttaisi muotoaan ja näin heikentyisi. Alumiiniholkkeja suunniteltiin siivelle, peräsimelle, penkille, pyöräripustukselle sekä kannuspyörälle.

Siiven kiinnityspulttien lujuuslaskenta toteutettiin laskemalla aiheutuvaa leikkausvoimaa. Vaikka siiven tukivaijeri vähentää kuormitusta kiinnityspulteista, koko 300kg laskettiin kuormaksi. Traficom:in rakennevaatimusten mukaisesti rakennekomponenttien on kestävä 3.8g kuormitusta, eli 3.8 kertainen painoon aiheuttamaan voimaan nähden. Siipi kiinnitetään neljällä pultilla ja leikkauspintoja on kahdeksan. Pultit ovat 10.9 kovuusluokkaa ja koko on M12. 10.9 kovuusluokan pulttien leikkauslujuus on 399 N/mm<sup>2</sup>. M12 koon pultin jännitys pinta-ala on 84.3 mm<sup>2</sup>.

$$\text{Leikkausvoima} = \frac{3.8g * 300kg * 9.81m/s^2}{8 * 84.3mm^2} = 16.5 N/mm^2$$



Kuva 8: Siiven kiinnityspisteet rungossa.



Kuva 9: Rungon sivuprofiili

Kun laskettiin sivu- ja korkeusvakaajan leikkausvoimaa, käytettiin kuormituksen a pinta-alasuhteutus siiven pinta-alaan, joka jaettiin kokonaispainosta. Myös vakaajaan käytettiin 3.8 g kertoimena. Vakaajan kiinnityspultit ovat kokoa M10 ja kovuusluokka 10.9. M12 koon pultin jännitys pinta-ala on 58.0 mm<sup>2</sup>.

$$300kg * \frac{2.1m^2}{10.67m^2} = 59kg$$

$$Leikkausvoima = \frac{3.8g * 59kg * 9.81m/s^2}{8 * 58.0mm^2} = N/mm^2$$

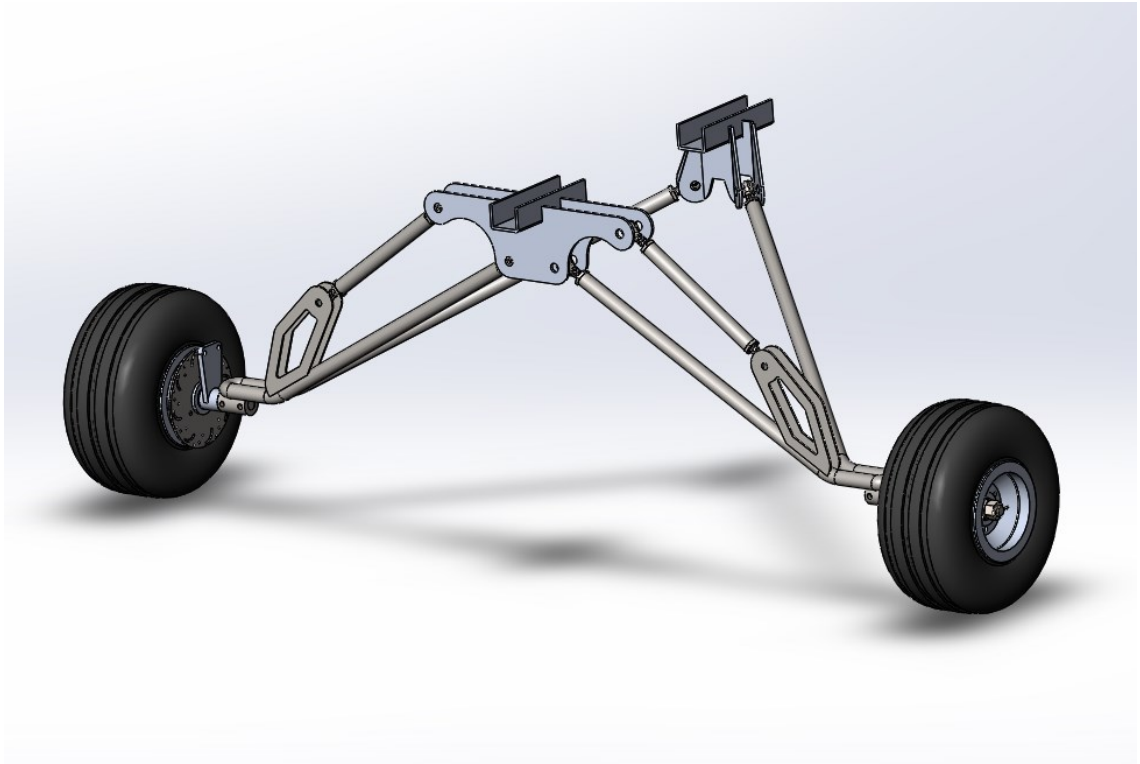
### 3.2.2 Pyöräripustus

Pyöräripustus käsittää tässä opinnäytetyössä pyöriä, napoja sekä niihin liittyviä tukivarsia.

Koneeseen valittiin Black Max Brakes valmistamaa BX1000 pyörä/jarru sarjaa. Sarjaan kuuluu pyörät vanteilla, navat sekä kaikki tarvittavat jarruosat. BX1000 sarja soveltuu jopa 453 kg painoisiin ultrakevyisiin lentokoneisiin. Sarja on kahden jarrupiirin järjestelmä, missä oikea ja vasen pyörä ovat eri jarrupiirissä. Tämä mahdollistaa pyörien jarruttamista erikseen. Joka helpottaa kääntelyä hitaissa nopeuksissa maassa. Laskeutumis- tai hätäjarrutus tapahtumassa jarrutetaan kuitenkin kummallakin pyörällä yhtä paljon. Jarrut ovat tyyppiä nestekäyttöiset levyjarrut, ja jarrupiiriä on johdettava turvallisesti kummallekin pyörälle. BX1000 sarjan jokainen oleellinen komponentti mallinnettiin kokoonpanoon.

Työssä päädyttiin käyttämään kolmion mallista tukivarsimallia. Takaviistoon asetettu putki on tarkoitus tukea ripustusta painumasta taakse jarrutuksessa. Tukivarsien päissä on kilpa-autoilussa yleisesti käytetyt nivelpäät kierteillä. Korkeuden säätö toteutettiin ylemmällä putkella, jolla on kummassakin päässä nivelpäät. Nivelpäät tarjoavat myös säätö mahdollisuuksia.

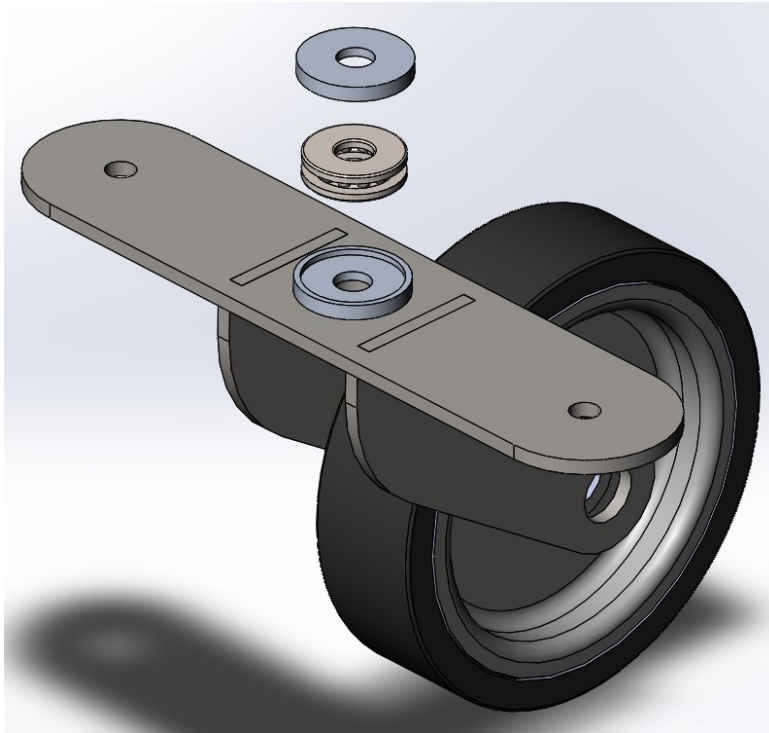
Pyöräripustus on siis jäykkä ja vain renkaan jousto pehmentää iskuja maahan kosketuksessa. Tukivarsien materiaali on kylmävedetty saumaton teräsputki koossa 30x3mm. Pyöräripustus kiinnitetään runkoon pulttaamalla. Kiinnityksessä käytettävät U-profiilit tukevat ripustusta rungon ympärille, keskittävät ripustuksen sekä lisäävät kosketuspintaa runkoon.



Kuva 10: Pyöränripustuskokoonpano

### 3.2.3 Kannuspyörä

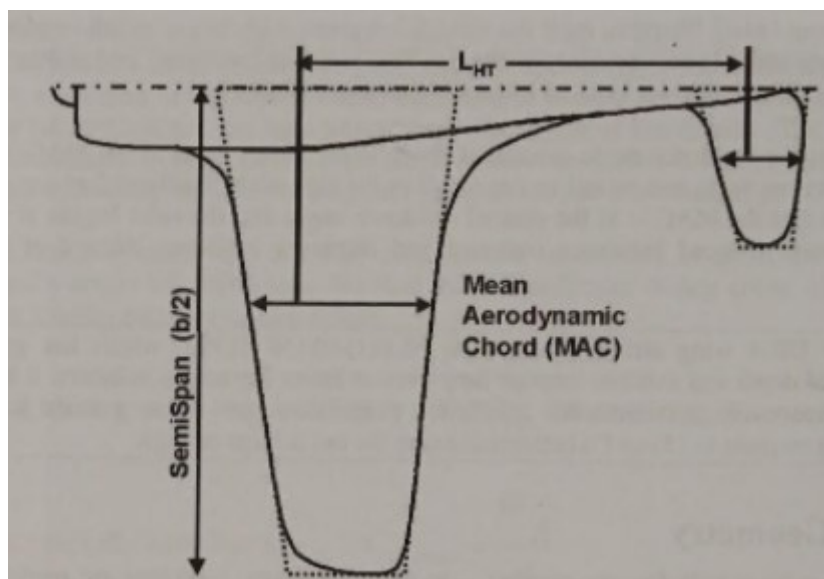
Lentokone suunniteltiin kannuspyörällä eli kolmas ja ohjaava pyörä on takana rungossa. Ohjaus maassa on toteutettu kääntämällä tätä pyörää samalla ohjauksella kuin sivuperäsimellä. Malli on hyvin yksinkertainen ja toimii ostoskärryn takapyörien tapaan. Itse pyörä on sijoitettu kiinnityspisteen taakse minkä ansiosta ohjaussuunta on sama kuin sivuperäsimelle. Pyörän sijoittelun ansiosta pyörä keskittyy takaisin suoraan ajaessa maassa. Kannuspyörän liikutettavuus toteutettiin painekuulalaakerilla, joka keskitettiin kahden olakkeella varustetun alumiiniholkin väliin.



Kuva 11: Kannuspyörä ja laakerointi

### 3.3 Sivu- ja korkeusvakaaja sekä peräsimet

Sivu ja korkeusvakaajat vastaavat lentokoneen tasapainosta ja vakaudesta. Niiden kokoon vaikuttaa siiven koko ja etäisyys siivestä. Etäisyys määräytyy 25% MAC pituudesta siiven ja korkeusperäsimen siipiprofilissa. Etäisyys siiven ja peräsimen välissä vaikuttaa peräsimen aiheuttamaan momenttiin runkoon nähden.



Kuva 12: Siiven ja peräsimen etäisyyden mittaus (D. Raymer, 2002)

Sivuperäisin vastaa lentokoneen Yawing-liikkeen ohjauksesta eli koneen Z-akselin ympärillä. Sivuperäsin ohjaa lentokonetta ohjaamalla peräsimen ympäröivää ilmavirtaa oikealle tai vasemmalle.

Korkeusperäsin puolestaan vastaa Pitch-liikkeen ohjauksesta eli koneen Y-akselin ympärillä. Korkeusperäsin ohjaa lentokonetta, ohjaamalla peräsimen ympäröivää ilmavirtaa ylös tai alas yhtenäisesti vasemmalla, että oikealla puolella lentokonetta, ettei pyörimistä tapahtuisi.

Sivu- ja korkeusperäsin suunniteltiin yhtenäiseksi moduuliksi ja materiaaliksi valittiin siiven tapaan polystyreeniä muotomateriaaliksi, alumiiniputkea ja alumiini lattaprofiilia jäykkyyden saavuttamiseksi.

Samoin kuin siivessä vaakaperäsimen profiili on Clark Y ja saranointi on toteutettu vastaavalla tavalla käyttäen takimmaista pienempää alumiiniputkea. Ohjausjärjestelmää yksinkertaistamaan, korkeusperäsin tehtiin yhtenäiseksi koko vakaajan leveydeltä. Sivuperäsimen kohdalla korkeusperäsimestä on poistettu muotoprofiili ehkäisemään peräsimiä koskettamasta tietyissä ohjausolosuhteissa.

Peräsiminen siivekkeiden koko vaikuttaa ohjaukseen herkkyyteen. Koon laskemiseksi käytettiin kaavoja:

$$\begin{aligned} S_k &= \text{Korkeusvakaajan pinta-ala} \\ C_k &= \text{korkeusvakaajan suhdekerroin} \\ C &= \text{Siiven MAC} \\ S &= \text{Siipipinta-ala} \\ l &= \text{Pituus siivestä korkeusvakaajaan} \end{aligned}$$

$$S_k = C_k * \frac{C * S}{l}$$

Kaava 3: Korkeusvakaajan koko (D. Raymer, 2002)

$$S_k = 0.5 * \frac{1.46m * 10.67}{3,685m} = 2.1 m^2$$

$AR_k = \text{Korkeusvakaajan kuvasuhde}$   
 $b_k = \text{Korkeusvakaajan leveys}$

$$AR_k = \frac{b_k^2}{S_k}$$

Kaava 4: Korkeusvakaajan kuvasuhde (D. Raymer, 2002)

$$b_k = \sqrt{AR_k * S_k}$$

$$b_k = \sqrt{5 * 2.1m^2} = 3.24m$$

$S_s = \text{Sivuvakaaja pinta-ala}$   
 $C_s = \text{Sivuvakaajan suhdekerroin}$   
 $b = \text{Siiven leveys}$   
 $S = \text{Siipipinta-ala}$   
 $l = \text{Pituus siivestä sivuvakaajaan}$

$$S_s = C_s * \frac{b * S}{l}$$

Kaava 5: Sivuvakaajan koko (D. Raymer, 2002)

$$S_s = 0.04 * \frac{7.3m * 10.67m^2}{3.685m} = 0.845m^2$$

$AR_s = \text{Sivuvakaajan kuvasuhde}$   
 $B_s = \text{Sivuvakaajan pituus}$   
 $S_s = \text{Sivuvakaajan pinta-ala}$

$$AR_s = \frac{b_s^2}{S_s}$$

Kaava 6: Sivuvakaajan kuvasuhde (D. Raymer, 2002)

$$b_s = \sqrt{AR_s * S_s}$$

$$b_s = \sqrt{2 * 0.845m^2} = 1.2m$$

### 3.4 Moottori ja voimavälitys

Voimanlähteenä harrasterakenteisissa ultrakevyissä lentokoneissa on usein lentokonekäyttöön muokattuja 2-tahtimoottoreita esimerkiksi moottorikelkoista. Selvä etu 2-tahtisissa moottoreissa on keveys verrattuna vastaavaan 4-tahtimoottoriin. Voiman välityksenä toimii alennusvaihte laskemaan potkurin kierroslukua potkuri valmistajan antamaan arvoihin. Alennusvaihte on usein toteutettu hammashihna tai hammasrata välityksellä. Liikenne- ja viestintäviraston hyvin alhaisesta melutason rajoituksesta (68dB) ultrakevyissä lentokoneissa on käytettävä äänenvaimenninta. Eri potkuri vaihtoehdot vaikuttavat myös moottorista aiheutuvaan melutasoon.

#### 3.4.1 Tehopainosuhte

Ultrakevyiden tehopainosuhte on tyypillisesti 10–15lbs per hevosvoima eli n 4.5–6.8.kg per hevosvoima. (D. Raymer, 2002) Kun tiedetään maksiminopeus sekä paino, voidaan laskea vaadittu tehopainosuhte ja sen myötä vaadittava moottoriteho sen saavuttamiseksi.

$$T/P = 0.4535 * 325 * (55kts)^{-0.75} = 7.30kg/hv$$

Kaava 7: Tehopainosuhte ultrakevyissä (D. Raymer, 2002)



$$Hv = \frac{300kg}{7.30kg/hv} = 41.1hv$$

Vaadittu teho halutun nopeuden saavuttamiseksi maksimikuormalla on siis 41.1 hv, moottorin valinnassa tämä toimii alarajana ja suotavaa olisi löytää teholtaan vastaavaa tai tehokkaampaa moottoria lisäämättä painoa.

### 3.4.2 Moottorivalinta

Rotax 447 on BRP-Rotax:in valmistama kaksisylinterinen kaksitahtimoottori lentokonekäyttöön. Moottori tuottaa 41.6hv ja painaa 26.8 kg. Maksimaalinen pyörintänopeus 6800RPM. (Rotax 447, Wikipedia) Moottoriin löytyy saman valmistajan alennusvaihte Rotax 'B' Gearbox kolmella eri välityssuhteella (2.00, 2.24 ja 2.58). Moottori soveltuu työhön tehoiltaan sekä painoltaan.

Rotax 551 on BRP-Rotax:in valmistama kaksi sylinterinen kaksitahtimoottori lentokonekäyttöön. Moottori tuottaa 50hv ja painaa 31.4 kg. Maksimaalinen pyörintänopeus 6800RPM. (Rotax 503, Wikipedia) Moottoriin löytyy vastaavaan tapaan kuin 447 -mallille saman valmistajan alennusvaihte samoilla välityssuhteilla

Kawasaki 440 on Kawasaki Heavy Industries valmistama kaksisylinterinen kaksitahtimoottori lentokonekäyttöön. Moottori tuottaa 38hv ja painaa 22 kg. (Kawasaki 440, Wikipedia)

Moottoriksi valittiin Rotax 503 sen täytettyä laskujen asettamat tehovaatimukset ja kasvattamalla painoa Rotax 447 malliin verrattuna ainoastaan 17 %.

Henkilön Oleksandr Babenko:n tuottama malli kyseisestä moottorista saatiin käyttöön mallinnusta helpottamaan. Malli sisältää valmiiksi Rotax 'B' Gearbox alennusvaihteen.

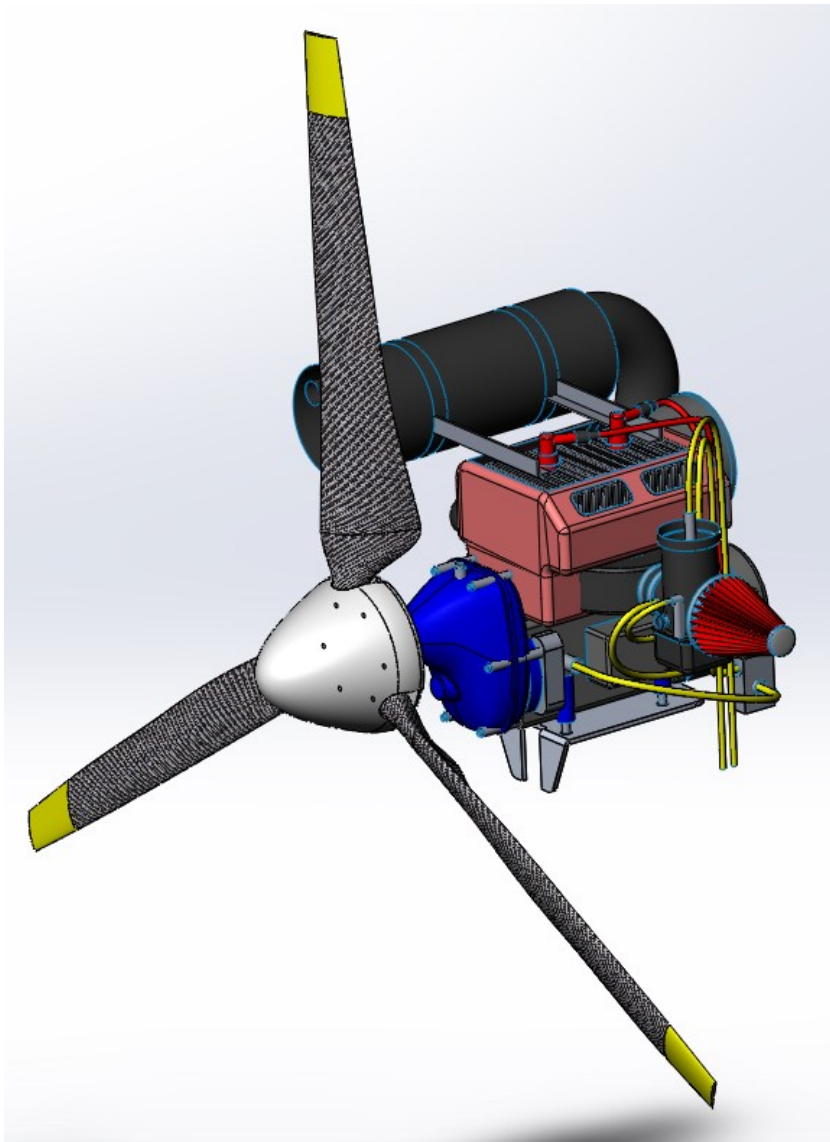
### 3.4.3 Potkuri ja välityssuhde

Potkuri ja välityssuhde valittiin Ultra-Prop propellers valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kyseiselle moottorille ja vaihdelaatikko yhdistelmälle valmistajan mukainen suositus olisi 3-lapainen Ultra-Prop 1 malli 104. Potkurin halkaisija on 59" (1498.6 mm). Välityssuhteeksi tulisi Rotax 'B\*' Gearboxin 2.58:1. Välityssuhde määrää potkurin pyörintänopeuden verrattuna moottorin pyörintänopeuteen. 2.58:1 välityssuhteella potkurin lopullinen pyörintänopeus moottorin huippukierroksilla on 2635RPM.

Rajoittavana tekijänä potkurin ja välityssuhteen valintaprosessissa on potkurin kehänopeus. Potkurit toimivat tehokkaammin alääänisissä nopeuksissa. (Propeller (aeronautics), Wikipedia)

Ultra-Prop 1 Mallin 104 kehänopeus asennettuna moottoriin 2.58:1 välityssuhteella voidaan laskea seuraavanlaisesti.

$$Kehänopeus = \frac{6800RPM * 1.498m * \pi * 60min}{2.58 * 1000} = 743.6 km/h$$



Kuva 13: Rotax 503 missä alennusvaihde sekä potkuri.

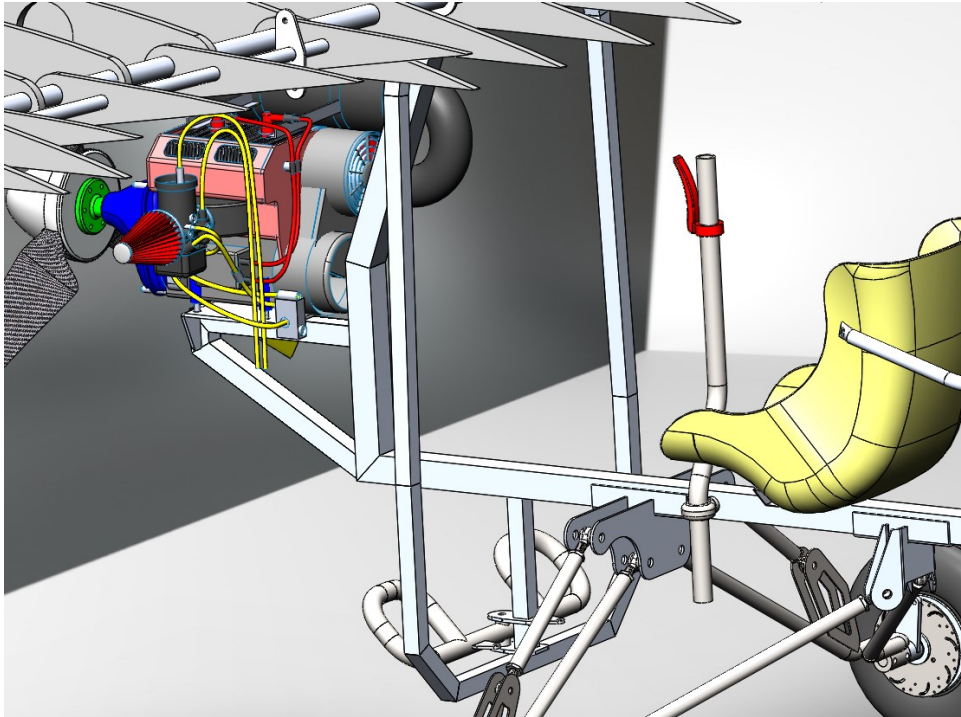
### 3.4.4 Moottorin sijoitus

Ultrakevyissä on yleisesti vain yksi moottori. Potkurin keskilinja pitää sijoittaa lentokoneen keskilinjalle, sillä jotkut alennusvaihteet siirtävät potkurikeskilinjaa sivulle moottorin linjasta. Moottoripotkuriyhdistelmiä voidaan sijoittaa niin siiven etupuolelle kuin takapuolelle tai yhdistettynä siipeen. Työssä moottori ja potkuri sijoitettiin lentokoneen etupuolelle siksi, että moottorin ja alennusvaihteen pyörintäsuunta on oikea etupuolelle asennettavalle potkurille. Etupuolella moottorin kiinnitykset runkoon oli mahdollista toteuttaa yksinkertaisesti ja kevyemmin kuin takapuolella. Näin asennettuna potkuri ja moottori vetää runkoa edestä.

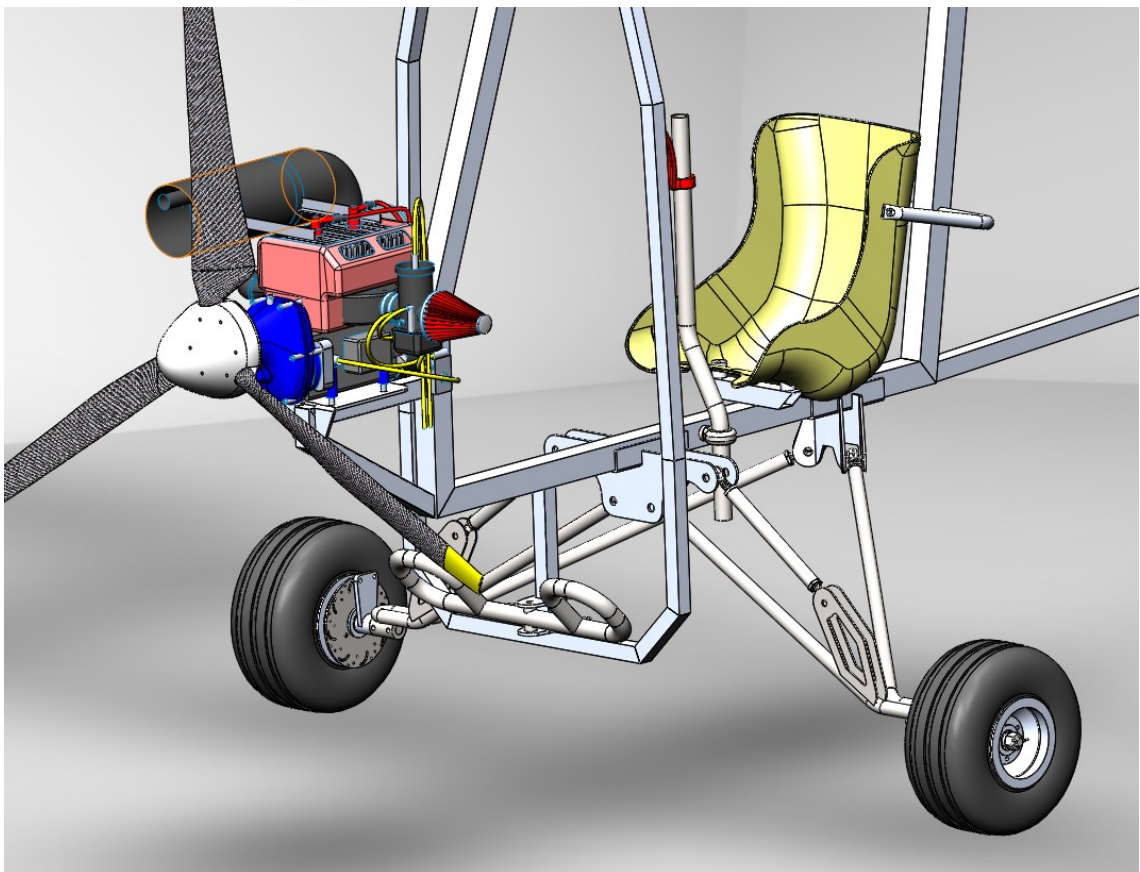
### 3.5 Ohjaus

Harrasterakenteisissa ultrakevyissä on aina mekaaninen ohjaus, joka on toteutettu joko vaijereilla, varsilla tai vääntötangoillakin. Täysin mekaaniset ohjaukset ovat toiminnan puolesta hyvin varmoja. Haittana on tehostuksen puute ohjauksesta. Kaikkia ohjaus pintoja pitää ohjata kumpaankin suuntaan ja tärkeää on, ettei paluu liike eroaisi ohjausliikkeestä. Vaijeri- tai tanko-ohjaus liitoskohtien väljyys on oltava mahdollista poistaa esimerkiksi kaksoiskierre komponenteilla. Kaksoiskierrekomponentteja ovat esimerkiksi vaijeri käytössä vanttiruuvit. Näin mahdollistetaan, että ohjauspintoja voitaisiin ohjata lineaarisesti liikeratojen päistä päihin.

Lentokonetta suunniteltiin käyttämään hyvin perinteistä ohjausta missä X- ja Y-akselin liikkeet ohjataan yhdellä ohjaussauvalla. Z-akselin liikehdintää mahdollistaa poljinkeinu, jota ohjataan kummallakin jalalla. X- ja Y-akselin toivotut ohjausliikkeet toteutetaan ohjaussauvasta vääntö- ja työntötangoin. Ohjausliikkeet siirretään sittemmin ohjauspinnoille vaijereilla. Vaijerin edut tankoihin tulee selvästi esille, kun voiman suuntaa pitää muuttaa. Vaijerikäytössä tämä toteutetaan helposti rissapyörillä. Edut työntötangolla vaijeriin nähden on mahdollisuus kahden suuntaiseen liikehdintään. Z-akselin ohjausta suunniteltiin käyttämään ainoastaan teräsvaijeria niin peräsimelle kuin kannuspyörälle.



Kuva 14: Ohjaamo, ohjaussauva ja polkimet



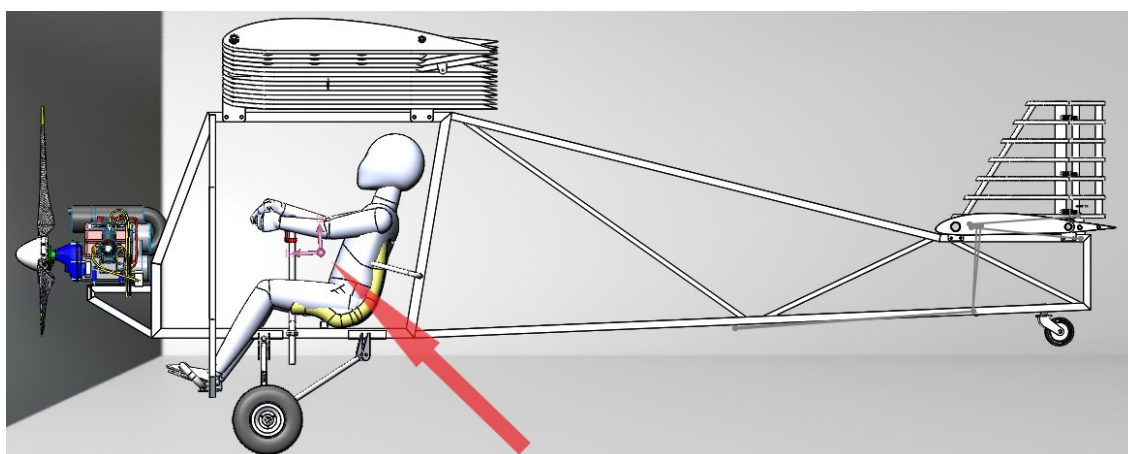
Kuva 15: Ohjaamo kuvattuna edestä

Myös moottorin kierrossäätö on ohjaamista, lentokoneissa kaasua pysyy asennossa, johon se asetetaan eli tarvetta pitää kaasua tietyssä asennossa ei ole. Työhön suunniteltu Rotax 503 moottori on kaasutinmoottori ja kaasukahva ohjaa vaijerilla suoraan kaasuttimen läppää. Erona lentokoneissa, verrattuna maassa liikkuviin ajoneuvoihin, on läpän palautin jousen toimintasuunta. Jos kaasukahvan pitomekanismi vaurioituisi tai vaijeri katkeaisi kaasuläpän sulkeutumisen sijaan, kaasutin aukeaisi täysin.

## 4 Lopuksi

### 4.1 Suunnitellun ultrakevyen arvot

Yhteenlaskettu paino lentokoneelle on 167,5 kg, painossa ei ole huomioitu polttoaineen- tai lentäjän painoa. Lentäjällä, jonka kokonaispaino on 90 kg jäisi vielä varaa 42.5 kg polttoaineelle. Bensiinin suhteen tämä tarkoittaisi reilua 55 litraa.



Kuva 16: Painopisteen sijoitus lentokoneessa.

Lentokoneen painopiste sijoittuu kuvassa ilmenevään paikkaan. Painopisteen sijoitus keskelle siipeä on optimaalista. Painopisteen korkeussuuntaiseen sijoitteluun pystyisi vaikuttamaan helpoiten muuttamalla moottorin sijoittelua. Lentokoneen piirustukset päämittoineen liitteissä

### 4.2 Reflektointi työstä

Työn aloitettua julkisen informaation määrä varsinkin internet-sivustoilla yllätti. Aiheesta löytyy lukuisia kirjoja ja foorumeja kuin myös ohjevideoita niin suunnittelusta ja oman lentokoneen valmistuksesta. Haastavaa olikin suodattaa tietoa ja verrata muihin lähteisiin. Yllättävän iso osa löydetyistä informaatiosta olikin mielipidetietoa eikä esimerkiksi laskuihin perustuvaa. Itselle ajatus lentokoneen rakentamisesta toisen mielipiteen perusteella tuntuu pelottavalta. Ja mielipidepohjainen informaatio onkin muissa aiheissa ongelmallista internetissä. Osittain tieto ei ollut fakta pohjaista vaan kopioitu toisesta lentokoneesta. Aika monesti luotettiin toisen lentokoneen kokoihin omaankin koneeseen. Samalla löytyi paljon faktapohjaista informaatiota arkistoista ja kirjastopalveluilta. Henkilölle, joka suunnittelee rakentavansa omaa ultrakevyttä,

suosittelen hankkimaan koottua tiedostoa tai kirjan, mikä kattaisi niin suunnittelu- kuin valmistusvaiheet.

Haastavaa itselle oli myös suunnittelun jakaminen osa-alueisiin. Ja rajata mitä jokaiseen osa-alueeseen kuuluu. Aiheen laajuuden ansiosta vain oleellisimmat osa-alueet oli valittava opinnäytetyöhön. Yhtenä tavoitteena itselle oli selvittää vastaavan projektin laajuuden. Itselle työ herätti kiinnostusta ilmailusta harrastuksena.

## Lähteet

Dan P. Raymer. 2002. Simplified Aircraft Design for Homebuilders. Los Angeles, CA : Design Dimension Press

Manash Chakraborty, 2015. A Computational Study on two horizontally close sequential airfoils to determine conjoined pressure distribution and aerodynamic influences on each other. [https://www.researchgate.net/publication/281824169\\_A\\_Computational\\_Study\\_on\\_two\\_horizontally\\_close\\_sequential\\_airfoils\\_to\\_determine\\_conjoined\\_pressure\\_distribution\\_and\\_aerodynamic\\_influences\\_on\\_each\\_other](https://www.researchgate.net/publication/281824169_A_Computational_Study_on_two_horizontally_close_sequential_airfoils_to_determine_conjoined_pressure_distribution_and_aerodynamic_influences_on_each_other)

Sarath Raj, Chithirai Pon Selvan M, Michael G. Bseliss, 2017. DESIGN AND ANALYSIS OF WING OF AN ULTRALIGHT AIRCRAFT

Thoracentesis, 2021. <http://www.thoracentesis.science/2021/02/Clark-Y-airfoil%20.html>

Traficom, 2021 AIR M5-10 Ultrakevyiden ilma-alusten lentokelpoisuus ja valmistus. <https://www.traficom.fi/fi/saadokset/air-m5-10-ultrakevyiden-ilma-alusten-lentokelpoisuus-ja-valmistus>

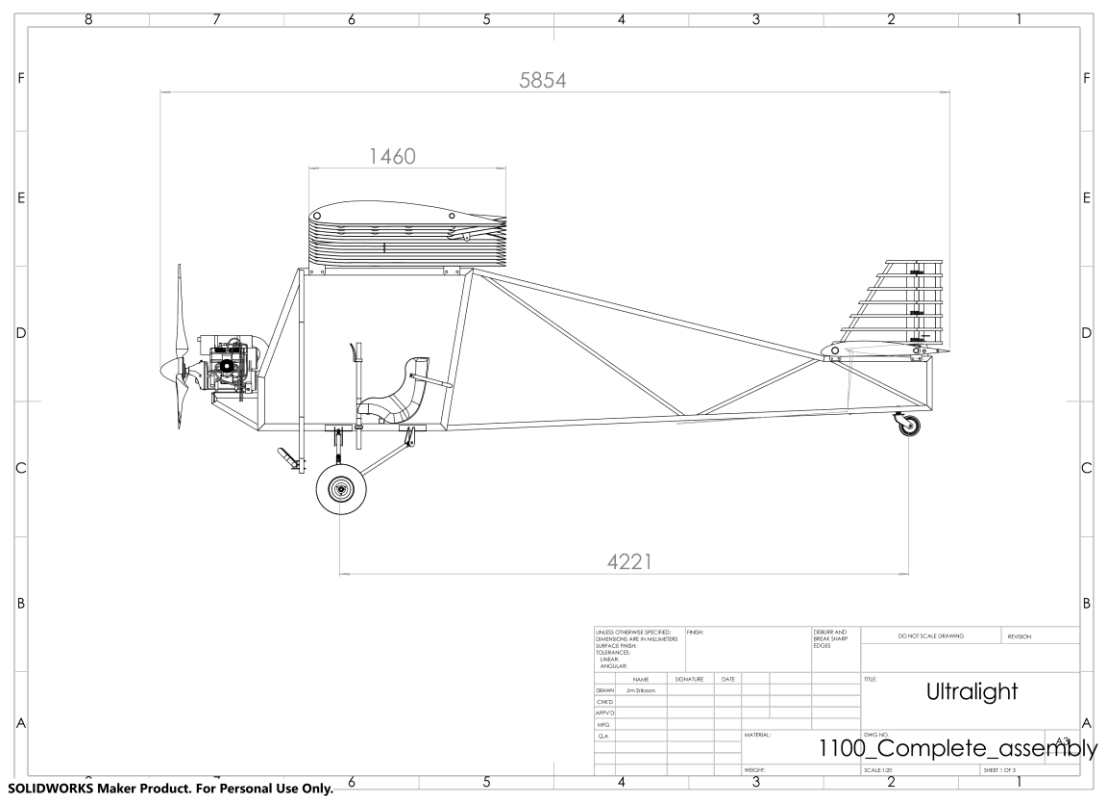
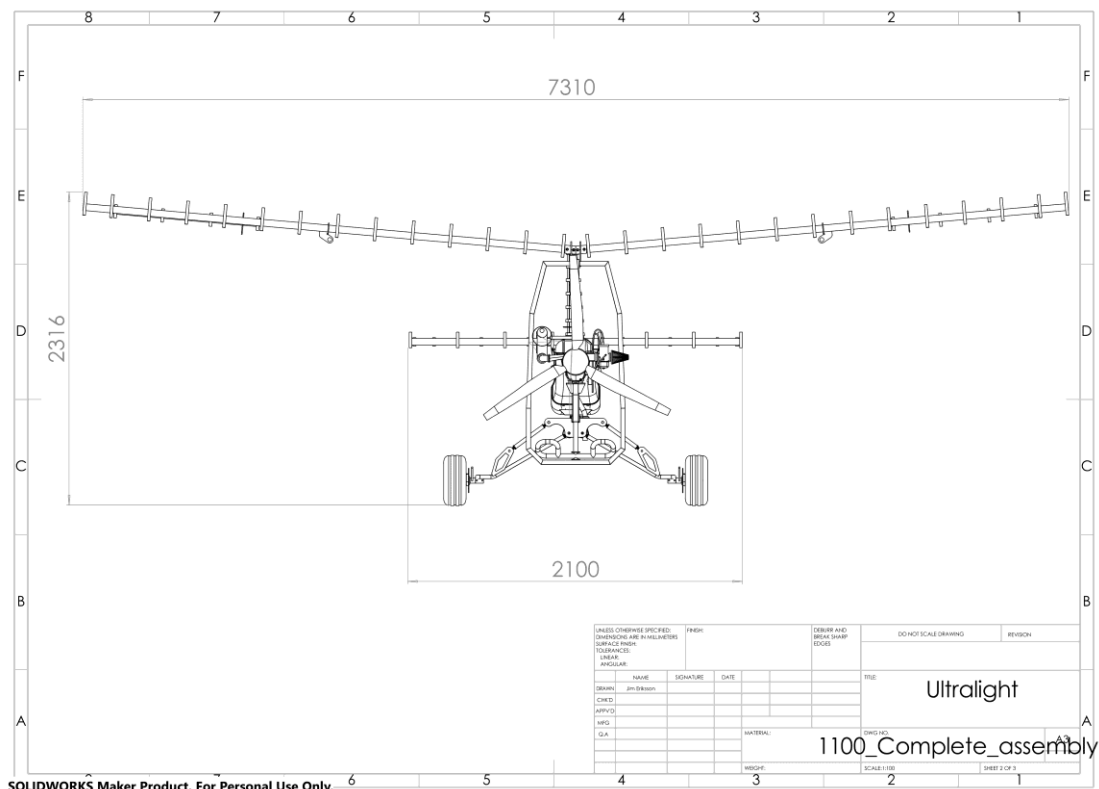
Wikipedia, 2021. Kawasaki 440. [https://en.wikipedia.org/wiki/Kawasaki\\_440](https://en.wikipedia.org/wiki/Kawasaki_440)

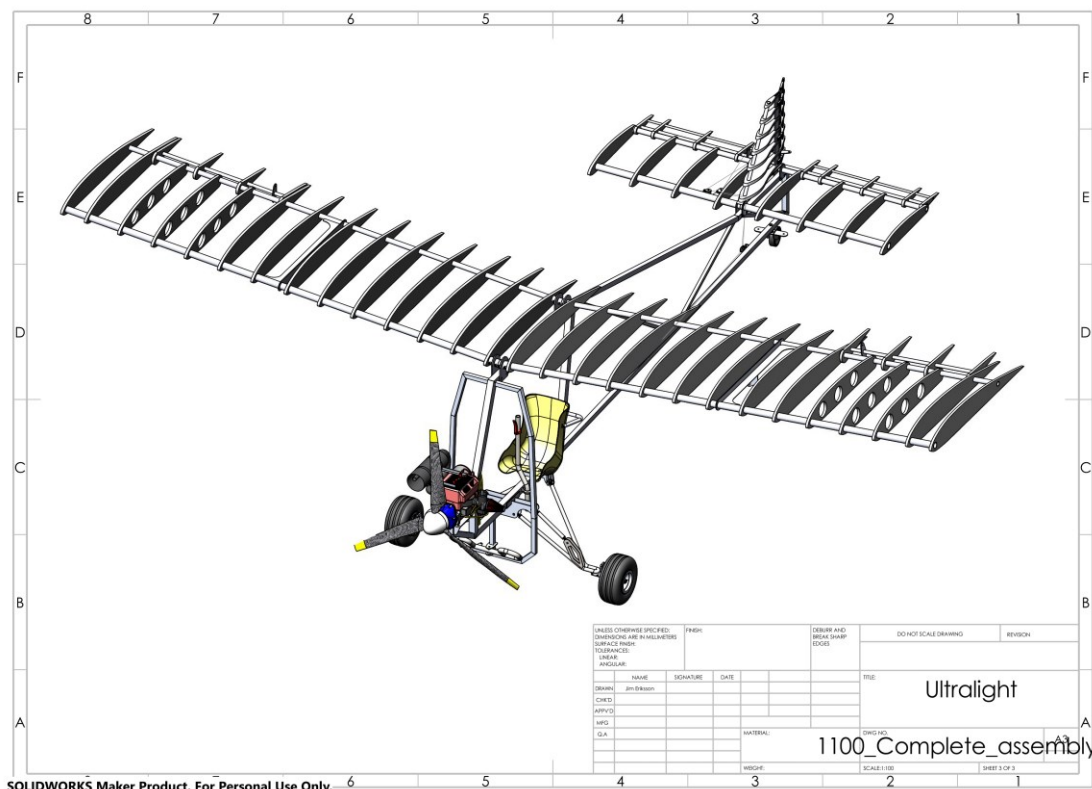
Wikipedia, 2022. Propeller (aeronautics). [https://en.wikipedia.org/wiki/Propeller\\_\(aeronautics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Propeller_(aeronautics))

Wikipedia, 2020. Rotax 447. [https://en.wikipedia.org/wiki/Rotax\\_447](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotax_447)

Wikipedia, 2022. Rotax 503. [https://en.wikipedia.org/wiki/Rotax\\_503](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotax_503)









Liikenne- ja viestintävirasto

**Määräys**TRAFICOM/119328/03.04.00.00/2019  
AIR M5-10

Antopäivä: 18.12.2020	Voimaantulopäivä: 1.1.2021	Voimassa: toistaiseksi
Säädöserusta: Ilmailulaki (864/2014) 33 ja 44 §		
Määräyksen vastaisen toiminnan seuraamuksista säädetään: Ilmailulaki (864/2014) 175 ja 178 §		
Muutostiedot: Tällä määräyksellä kumotaan Liikenteen turvallisuusviraston 20.12.2016 antama määräys AIR M5-10, Ultrakevyiden lentokoneiden lentokelpoisuus, valmistus ja rekisteröinti (TRAFI/25028/03.04.00.00/2014).		

**Ultrakevyiden ilma-alusten lentokelpoisuus ja valmistus**

1	SOVELTAMISALA .....	1
2	MÄÄRITELMÄT .....	1
3	SUOMESSA VALMISTETTUJEN UL-ILMA-ALUSTEN LENTOKELPOISUUSVAATIMUKSET .....	2
4	KOELENNOT .....	4
5	KUORMATTAVUUS .....	4
6	VAATIMUKSET VARUSTEILLE .....	5
7	LENTO-OHJEKIRJA .....	5
8	HUOLTO-OHJEET .....	6
9	MELU .....	6
10	TYYPITODISTUS .....	6
11	KANSALLISUUS- JA REKISTERITUNNUKSET .....	8
12	LUPA ILMAILUUN .....	8
13	POIKKEUKSET .....	8

**1 SOVELTAMISALA**

Tätä määrystä sovelletaan EASA-perusasetuksen liitteessä I tarkoitettujen tai muutoin EU-sääntelyn ulkopuolelle jäävien aerodynaamisesti ohjattujen ultrakevyiden lentokoneiden ja helikopterien, sekä EASA-perusasetuksen liitteessä I tarkoitettujen purjelentokoneiden ja autogirojen lentokelpoisuuteen ja valmistukseen. Painopistehjattuihin ultrakevyisiin lentokoneisiin, moottoroituihin laskuvarjoihin sekä liitimiin sovelletaan ilmailumääräystä OPS M2-9, Liitimet.

**2 MÄÄRITELMÄT****2.1 Tässä määräyksessä tarkoitetaan:**

*autogirolla* yksi- tai kaksipaikkaista kaupallisesti valmistettua autogiroa, jonka suurin sallittu lentoonlähtömassa on enintään 600 kg, tai harrasterakenteista autogiroa;

*harrasterakenteisella UL-ilma-aluksella* ilma-alusta, mukaan lukien koottavina sarjoina toimitettavat ilma-alukset, jonka valmistus- ja kokoonpanotehtävistä vähintään 51 prosenttia suorittaa

harrasterakentaja tai voittoa tavoittelematon harrasteyhdistys omiin tarkoituksiinsa ja ilman kaupallisia tavoitteita;

*luokan B1 ultrakevyellä helikopterilla* helikopteria, jonka suurin sallittu lentoonlähdomassa on yksipaikkaisilla helikoptereilla enintään 300 kg ja yksipaikkaisilla amfibio- tai kellukevarustetuilla helikoptereilla enintään 330 kg sekä kaksipaikkaisilla helikoptereilla enintään 450 kg ja kaksipaikkaisilla amfibio- tai kellukevarustetuilla helikoptereilla enintään 495 kg; koko UL-helikopterin kantava pelastusvarjo nostaa suurinta sallittua lentoonlähdomassarajaa yksipaikkaisten osalta 15 kg ja kaksipaikkaisten osalta 25 kg;

*luokan B2 ultrakevyellä helikopterilla* helikopteria, jonka suurin sallittu lentoonlähdomassa on yksi- tai kaksipaikkaisilla helikoptereilla enintään 600 kg sekä yksi- tai kaksipaikkaisilla amfibio- tai kellukevarustetuilla helikoptereilla enintään 650 kg;

*luokan B1 ultrakevyellä lentokoneella* lentokonetta, jonka suurin sallittu lentoonlähdomassa on yksipaikkaisilla maalentokoneilla enintään 300 kg ja yksipaikkaisilla amfibio- tai vesilentokoneilla enintään 330 kg, sekä kaksipaikkaisilla maalentokoneilla enintään 450 kg ja kaksipaikkaisilla amfibio- tai vesilentokoneilla enintään 495 kg, ja jonka sakkausnopeus tai pienin vakaa lentonopeus laskuasussa on enintään 65 km/h CAS (35 solmua); koko UL-lentokoneen kantava pelastusvarjo nostaa suurinta sallittua lentoonlähdomassarajaa yksipaikkaisten osalta 15 kg ja kaksipaikkaisten osalta 25 kg;

*luokan B2 ultrakevyellä lentokoneella* lentokonetta, jonka suurin sallittu lentoonlähdomassa on yksipaikkaisilla maalentokoneilla enintään 450 kg ja yksipaikkaisilla amfibio- tai vesilentokoneilla enintään 500 kg, sekä kaksipaikkaisilla maalentokoneilla enintään 600 kg ja kaksipaikkaisilla amfibio- tai vesilentokoneilla enintään 650 kg, ja jonka sakkausnopeus tai pienin vakaa lentonopeus laskuasussa on enintään 83 km/h CAS (45 solmua);

*luokan B1 ultrakevyellä purjelentokoneella* purjelentokonetta, jonka suurin sallittu lentoonlähdomassa on yksipaikkaisena enintään 250 kg ja kaksipaikkaisena enintään 400 kg; koko UL-purjelentokoneen kantava pelastusvarjo nostaa suurinta sallittua lentoonlähdomassarajaa yksipaikkaisten osalta 15 kg ja kaksipaikkaisten osalta 25 kg;

*purjelentokoneella* kiinteäsiipistä ilma-alusta, jossa ei ole työntövoimaa tuottavaa voimalaitetta;

*tyyppitarkastuksella* tarkastusta, jolla selvitetään ultrakevyen ilma-alustyyppiin sovellettavien lentokelpoisuusvaatimusten täyttyminen ja jonka tuloksena ilma-alustyyppiille myönnetään tyyppitodistus;

*ultrakevyellä helikopterilla* yhteisnimitystä luokan B1 ja B2 ultrakevyille helikoptereille;

*ultrakevyellä ilma-aluksella* (UL-ilma-alus) UL-lentokonetta, UL-purjelentokonetta, UL-helikopteria tai autogiroa, jota ohjataan kolmen akselin suhteen ohjainpinnoin;

*ultrakevyellä lentokoneella* yhteisnimitystä luokan B1 ja B2 ultrakevyille lentokoneille;

*validointimenettelyllä* kohdassa 10.3 kuvattua ulkomaisen tyyppitodistuksen tunnustamista Suomessa ja suomalaisen tyyppitodistuksen myöntämistä sen perusteella.

2.2 UL-moottoripurjelentokoneet luetaan tässä määräyksessä UL-lentokoneisiin kuuluviksi.

### 3 SUOMESSA VALMISTETTUIJEN UL-ILMA-ALUSTEN LENTOKELPOISUUSVAATIMUKSET

#### 3.1 Lentokelpoisuusvaatimukset UL-lentokoneille

##### 3.1.1 Yleistä

- a) Suomessa kaupallisesti valmistettujen UL-lentokoneiden ja UL-purjelentokoneiden on täytettävä tämän määräyksen lentokelpoisuusvaatimukset sekä Liikenne- ja viestintäviraston hyväksymässä "Suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirjassa" esitetyt hyväksymisperusteet.

- b) Harrasterakenteisen UL-lentokoneen ja soveltuvien osien UL-purjelentokoneen on täytettävä tämän määräyksen lentokelpoisuusvaatimusten lisäksi määräyksessä AIR M5-1 asetetut harrasterakenteisten ilma-alusten lentokelpoisuusvaatimukset.

### 3.1.2 Lujuus

- 3.1.2.1 Rakenteen on kestävä vähintään seuraavia liikehtimiskuormituskertoimia vastaavat rajakuormat:

- a) positiivinen kuormituskerroin 3,8 g ja
- b) negatiivinen kuormituskerroin 1,5 g.

Lisäksi rakenteen on kestävä Euroopan unionin lentoturvallisuusvirasto EASAn hyväksyntäeritelmän CS-22 mukaisesti määritetyt puuskakuormat. Suunnittelussa on käytettävä CS-22:n mukaisia varmuuskertoimia. Rakenteen kestävyys vaadittujen rajakuormien alaisena kuormitustapauksissa on näytettävä riittävällä tavalla toteen.

- 3.1.2.2 Edellä esitetyt lujuusvaatimukset eivät koske yksipaikkaisia UL-lentokoneita tai UL-purjelentokoneita, joiden tyhjämassa on enintään 120 kg. Niiden on kuitenkin kestävä lennon aikana odotettavissa olevat liikehtimis- ja puuskakuormat niissä olosuhteissa ja tilanteissa, joissa UL-lentokone tai UL-purjelentokone on suunniteltu käytettäväksi.

### 3.1.3 Sakkausnopeus

Sakkausnopeudella tarkoitetaan sakkausnopeutta standardiolosuhteissa laskuasussa ilman moottoritahoa ( $V_{SO}$ ) suurimmalla sallitulla lentoonlähtömassalla. Mikäli UL-lentokoneella ei ole havaittavissa selvää sakkausta, on sakkausnopeus se lentonopeus, jolla lentokone on vielä ohjattavissa ja vajoaa 4 m/s (800 ft/min).

### 3.1.4 Muut ominaisuudet

UL-lentokoneen tai UL-purjelentokoneen pääohjainlaitteiden käyttösuuntien on täytettävä EASAn hyväksyntäeritelmän CS-22 vaatimukset. UL-lentokoneella tai UL-purjelentokoneella ei saa olla epätavallisia tai vaarallisia ominaisuuksia tai muita sellaisia ominaisuuksia, joita ohjaaja ei voi hallita ilman poikkeuksellisia taitoja. Tällaisia ominaisuuksia ovat muun muassa hallitsemattoman raju kallistuminen tai hallitsematon syöksykierteeseen joutuminen sakkaustilanteessa.

## 3.2 Lentokelpoisuusvaatimukset autogiroille

### 3.2.1 Yleistä

- a) Suomessa kaupallisesti valmistettujen autogirojen on täytettävä tämän määräyksen lentokelpoisuusvaatimukset sekä yleisilmailujulkaisussa CAP 643 *British Civil Airworthiness Requirements - Section T Light Gyroplanes* esitetyt lentokelpoisuusvaatimukset.
- b) Harrasterakenteisen autogiron on täytettävä tämän määräyksen lentokelpoisuusvaatimusten lisäksi soveltuvien osien myös CAP 643:ssa esitetyt lentokelpoisuusvaatimukset.

### 3.2.2 Lujuus

- 3.2.2.1 Rakenteen on kestävä vähintään seuraavia liikehtimiskuormituskertoimia vastaavat rajakuormat:

- a) positiivinen kuormituskerroin 3,5 g ja
- b) negatiivinen kuormituskerroin -0,5 g.

Autogiron ja sen roottorin tulee olla suunniteltu positiivisille ja negatiivisille liikehtimiskuormituskerroimille ilmanopeudesta 0 maksimis suunnittelunopeuksiin

asti. Rakenteen kestävyys vaadittujen rajakuormien alaisena kuormitustapauksissa on näytettävä riittävällä tavalla toteen.

- 3.2.2.2 Edellä esitetyt lujusvaatimukset eivät koske yksipaikkaisia autogiroja, joiden tyhjämassa on enintään 120 kg. Niiden on kuitenkin kestettävä lennon aikana odotettavissa olevat liikehtimis- ja puuskakuormat niissä olosuhteissa ja tilanteissa, joissa autogiro on suunniteltu käytettäväksi.

### 3.3 Lentokelpoisuusvaatimukset UL-helikoptereille

Suomessa kaupallisesti valmistettujen UL-helikopterien on täytettävä tämän määräyksen lentokelpoisuusvaatimukset sekä Saksan ilmailuviranomaisen julkaisussa LTF-ULH esitetyt lentokelpoisuusvaatimukset.

## 4 KOELENNOT

4.1 Tämä kohta koskee vain Suomessa kaupallisesti valmistettuja UL-ilma-aluksia. Harrasterakenteisten ilma-alusten koelennoista määrätään ilmailumääräyksessä AIR M5-2, Harrasterakenteisten ilma-alusten rakentaminen. Ulkomailta tuotavalla UL-ilma-aluksella on oltava tyyppitodistus, jonka myöntämisen yhteydessä koelento-ohjelma on suoritettu. Suomalaisen tyyppitodistuksen hakemisesta ulkomailla valmistetulle UL-ilma-alukselle validointimenettelyn kautta määrätään kohdassa 10.3.

4.2 Koelennoilla on osoitettava, että UL-ilma-aluksen suoritusarvot ja muut lento-ominaisuudet täyttävät tässä määräyksessä asetetut vaatimukset.

4.3 Liikenne- ja viestintävirastolle esitetty asianmukainen koelento-ohjelma, jonka pituus on vähintään 45 lentotuntia, on lennettävä tyyppitodistuksen saamiseksi UL-ilma-alukselle, jolla ei ole kohdan 10.3 vaatimukset täyttävää ulkomaista tyyppitodistusta.

4.4 Liikenne- ja viestintävirastolle esitetty asianmukainen koelento-ohjelma, jonka pituus on vähintään 10 lentotuntia, on lennettävä vesilentovarustuksen tai vastaavien suurten muutostöiden hyväksymiseksi.

4.5 Koelentotuloksista on pidettävä kirjaa siten, että kirjanpidon perusteella voidaan osoittaa edellä kohdassa 4.3 tai 4.4 asetetut vaatimukset täytetyiksi sekä laatia riittävät perustiedot ja rajoitukset lento-ohjekirjaa varten. Mikäli koelennot osoittavat, että suunniteltuja rajoituksia tai ilma-aluksen suunnittelua on muutettava, saatujen koelentotulosten perusteella on määriteltävä uudet rajoitukset.

## 5 KUORMATTAVUUS

5.1 Luokan B1 UL-lentokoneen, UL-purjelentokoneen ja UL-helikopterin kuormattavuuden on oltava määräyksen OPS M2-11, Lentotoiminta kansallisen sääntelyn piiriin kuuluvilla ilma-aluksilla, mukaisessa minimivarustuksessa yksipaikkaisilla ilma-aluksilla vähintään 95 kg ja kaksipaikkaisilla vähintään 175 kg.

5.2 Luokan B2 UL-lentokoneen ja UL-helikopterin kuormattavuuden on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- a) yksipaikkaisen UL-ilma-aluksen kuormattavuuden on oltava määräyksen OPS M2-11 mukaisessa minimivarustuksessa vähintään 25 % ilma-aluksen suurimmasta sallitusta lentoonlähtömassasta mutta vähintään 100 kg;

- b) kaksipaikkaisen UL-ilma-aluksen kuormattavuuden on oltava määräyksen OPS M2-11 mukaisessa minimivarustuksessa vähintään 40 % ilma-aluksen suurimmasta sallitusta lentoonlähdomassasta mutta vähintään 200 kg;
- c) sähkömoottorikäyttöisen yksipaikkaisen UL-ilma-aluksen kuormattavuuden on oltava määräyksen OPS M2-11 mukaisessa minimivarustuksessa vähintään 90 kg riippumatta suurimmasta sallitusta lentoonlähdomassasta. UL-ilma-aluksen akut laskeaan tyhjämassaan kuuluvaksi;
- d) sähkömoottorikäyttöisen kaksipaikkaisen UL-ilma-aluksen kuormattavuuden on oltava määräyksen OPS M2-11 mukaisessa minimivarustuksessa vähintään 180 kg riippumatta suurimmasta sallitusta lentoonlähdomassasta. UL-ilma-aluksen akut laskeaan tyhjämassaan kuuluvaksi.

5.3 Autogiron kuormattavuuden on oltava määräyksen OPS M2-11 mukaisessa minimivarustuksessa yksipaikkaisilla vähintään 100 kg ja kaksipaikkaisilla vähintään 200 kg.

## 6 VAATIMUKSET VARUSTEILLE

### 6.1 Mittarit

UL-ilma-aluksessa käytettävälle lennonvalvonta- ja moottorinvalvontamittareille ei vaadita tyyppihyväksyntää. Mittareiden on oltava tarkoitukseen sopivat ja niihin on tehtävä valmistajan lento-ohjekirjassa tai "Suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirjassa" mainitut merkinnät.

### 6.2 Istuinvyöt ja muut kiinnitysvarusteet

6.2.1 Istuinvyöiden ja muiden kiinnitysvarusteiden on oltava samaa rakennetta ja laatua kuin muihin ilma-aluksiin tai moottoriajoneuvoihin hyväksytyt varusteet. Istuinvyöt on asennettava ilmailussa yleisesti hyväksytyjen ohjeiden mukaisesti.

6.2.2 UL-ilma-alukseen on oltava asennettuna istuin- ja olkavyöt hyväksytyin istuinpaikkaluvun mukaisille istuimille. Olkavöitä ei saa olla kiinnitetty lantiovyöhön neulomalla, lenkillä tai vastaavalla tavalla. Istuinvyöiden on oltava kolmi- tai nelipistetyyppejä. Keskuslukko avaamalla kaikkien istuinvyön osien on vapauduttava niin, ettei poistuminen ilma-aluksesta esty.

### 6.3 Kuormausrajoituskilpi

Luokan B1 UL-lentokoneessa on oltava ohjaajan ja matkustajan nähtävissä kuormausrajoituskilpi, josta on käytävä ilmi vähintään seuraavat tiedot:

- a) suurin sallittu lentoonlähdomassa
- b) viimeksi tehdyssä punnituksessa todettu perusmassa
- c) suurin sallittu matkatavaran massa
- d) taulukko suurimmista sallituista ohjaamokuormista 25 %, 50 %, 75 % ja 100 %:n polttoainekuormilla. Jos UL-lentokoneessa on matkatavaratila, on matkatavaroiden vaikutus huomioitava 0 %, 50 % ja 100 %:n matkatavaramassoilla. Mikäli massakeskiön asema rajoittaa ohjaamokuormia tai edellyttää tasapainotusmassojen käyttämistä, sen on käytävä ilmi kuormausrajoituskilvestä.

## 7 LENTO-OHJEKIRJA

7.1 UL-ilma-alukselle ei vaadita ilmailuviranomaisen hyväksymää lentokäsikirjaa. Tämän sijaan UL-ilma-aluksella on oltava suomen-, ruotsin- tai englanninkielinen lento-ohjekirja. Lento-





**Määräys**  
6 (8)  
TRAFICOM/119328/03.04.00.00/2019  
AIR M5-10

ohjekirjan tyyppitietojen sekä toiminta- ja käyttörajoitusten on vastattava UL-ilma-aluksen tyyppitietoja ja koelentokertomusta. Lento-ohjekirjaa ei vaadita ohjekirjan laatimiseen liittyvillä koelennoilla.

7.2 Kaupallisesti valmistetun UL-ilma-aluksen lento-ohjekirjassa on oltava seuraavat tiedot:

- 1) yleistiedot ilma-aluksesta
- 2) toiminta- ja käyttörajoitukset
- 3) hätätilanneohjeet
- 4) normaalitoimintaohjeet ja moottorin käyttöohjeet
- 5) suoritusarvot
- 6) kuormausohjeet
- 7) ilma-aluksen mahdolliset erityisominaisuudet
- 8) tarkastusohjeet ennen lentoa tehtävää tarkastusta varten
- 9) liitteet.

## 8 HUOLTO-OHJEET

UL-ilma-aluksen huoltoa varten on oltava huolto-ohjeet. Ohjeisiin on tehtävä tarpeelliset muutokset ilma-aluksen tai ilma-aluslaitevalmistajan ohjeiden päivittyessä, ilma-aluksen käytöstä saadut kokemukset huomioiden sekä lentokelpoisuusmääräysten niin edellyttäessä.

## 9 MELU

### 9.1 Enimmäismeluraja

Luokan B1 UL-lentokoneen enimmäismeluraja on 68 dB(A) ja luokan B2 UL-lentokoneen 70 dB(A) mitattuna kansainvälisen siviili-ilmailun yleissopimuksen liitteen 16 (ICAO Annex 16, Vol. 1, Chapter 10 tai Chapter 6) mukaisella tavalla.

### 9.2 Melumittaus

Tyyppitodistuksen saamiseksi UL-lentokoneelle on tehtävä melumittaus. Tietyille UL-lentokonetyppeille tehty melumittaus on voimassa kaikille tyyppitietojen mukaan samantyyppisille UL-lentokoneille. Ulkomailla tehty liitettä 16 vastaavat melumittaukset voidaan hyväksyä, mikäli ne on tehty kyseisen maan ilmailuviranomaisen hyväksymällä tavalla. Harrasterakenteiselle UL-lentokoneelle vaaditaan melumittaus, ellei UL-lentokonetta läheisesti vastaavan muun UL-lentokoneen melumittausta voida pitää riittävän tarkkana myös kyseessä olevalle UL-lentokoneelle.

### 9.3 Melumittaustodistus

Melumittaustodistuksesta on käytävä ilmi UL-lentokoneen, moottorin, potkurin ja äänenvaimentimen tyyppimerkintä, valmistaja sekä tiedot käytetyistä tehoasetuksista ja sääolosuhteista, joissa melumittaus on tehty. Todistus melumittauksesta on esitettävä koelentojen jälkeisessä lentokelpoisuustarkastuksessa tai ennen tyyppitodistuksen myöntämistä.

## 10 TYYPPITODISTUS

### 10.1 Tapaukset, joissa tyyppitodistus vaaditaan

Tyyppitodistus vaaditaan kaupallisesti valmistetuille UL-ilma-aluksille sekä kaupallisesti valmistettuina rakennussarjoina myytävälle UL-ilma-aluksille, joiden kokoonpanotyöstä alle 51 % on tehnyt harrasterakentaja. Harrasterakenteiselta UL-ilma-alukselta ei vaadita tyyppitodistusta.



10.2 Tyypitodistuksen hakeminen ja myöntäminen - Suomessa valmistetut UL-ilma-alukset

10.2.1 Ilma-aluksen valmistajan on haettava tyypitodistusta Liikenne- ja viestintävirastolta kirjallisesti. Hakemuksesta on käytävä ilmi valmistajan tyyppimerkintä. Hakemukseen on liitettävä seuraavat asiakirjat suomen, ruotsin tai englannin kielellä:

- a) selvitys siitä, miten UL-ilma-alus täyttää tässä määräyksessä määritellyt lentokelpoisuusvaatimukset; ja
- b) yhteenvedo lujuuslaskelmista ja -kokeista.

10.2.2 Ilma-aluksen koelentojen jälkeen on esitettävä seuraavat asiakirjat:

- a) valmistajan laatima lento-ohjekirja liitteineen;
- b) tyyppitiedot, joihin tyypitarkastus on perustunut;
- c) valmistajan laatimat huolto-ohjeet ja -tiedotteet ilma-alukselle, moottorille, laitteille ja varusteille;
- d) yhteenvedo hyväksymiseen liittyvistä koelennoista; ja
- e) melumittaustodistus tai vastaavat tiedot sisältävä selvitys.

10.2.3 Tyypitodistuksen hakijan on nimettävä hakemusprosessia varten yhteyshenkilöksi pätevä edustaja, jolla on riittävä lentotekniikan asiantuntemus.

10.2.4 Liikenne- ja viestintävirasto myöntää Suomessa kaupallisesti valmistetulle UL-ilma-alukselle tyypitodistuksen, jos tyypitarkastuksessa todetaan, että kohdissa 3-9 esitetyt vaatimukset täyttyvät ja kohdissa 10.2.1 ja 10.2.2 mainitut asiakirjat sekä tyypitarkastusraportti on toimitettu Liikenne- ja viestintävirastolle.

10.3 Tyypitodistuksen hakeminen ja myöntäminen validointimenettelyn kautta - ulkomailla valmistetut UL-ilma-alukset

10.3.1 Maahantuojan on haettava tyypitodistusta Liikenne- ja viestintävirastolta kirjallisesti. Hakemuksesta on käytävä ilmi UL-ilma-aluksen valmistaja, valmistajan tyyppimerkintä, valmistusmaa ja tiedot maahantuojasta. Hakemukseen on liitettävä seuraavat asiakirjat suomen, ruotsin tai englannin kielellä:

- a) ilmailuviranomaisen tai tämän edustajan myöntämä tyypitodistus;
- b) selvitys siitä, miten UL-ilma-alus täyttää Suomessa voimassa olevat, tämän määräyksen kohdan 5 mukaiset kuormattavuusvaatimukset, kohdan 6.2 mukaiset istuinvöitä koskevat vaatimukset ja kohdan 9 mukaiset melumittausvaatimukset; sekä
- c) selvitys käytettävästä lentokelpoisuusvaatimuksesta, ellei tämä ilmene muista asiakirjoista.

10.3.2 Liikenne- ja viestintävirasto myöntää validointimenettelyn kautta suomalaisen tyypitodistuksen ulkomailta tuodulle luokan B1 UL-ilma-alukselle tai autogiolle, jolla on EU- tai EFTA-maassa myönnetty tyypitodistus, mikäli UL-ilma-alustyyppi on tämän määräyksen kohdassa 2 esitetyn määritelmän mukainen.

10.3.3 Liikenne- ja viestintävirasto myöntää validointimenettelyn kautta suomalaisen tyypitodistuksen ulkomailta tuodulle luokan B2 ultrakevyelle lentokoneelle tai helikopterille, jos sillä on Saksan ilmailuviranomaisen tai sen valtuuttaman organisaation myöntämä, standardin LTF-UL tai LTF-ULH mukainen taikka Tšekin tasavallan ilmailuviranomaisen tai sen valtuuttaman organisaation myöntämä, standardin UL2 mukainen tyypitodistus.

10.3.4 Liikenne- ja viestintävirasto voi jättää validointimenettelyn kautta myönnettävän tyypitodistuksen myöntämättä, jos se oikeutetusta yleistä etua koskevasta syystä perustellusti



**Määräys**  
8 (8)  
TRAFICOM/119328/03.04.00.00/2019  
AIR M5-10

katsoo, että toisessa EU- tai EFTA-maassa tyyppitodistuksen saanut UL-ilma-alustyyppi ei tarjoa samanlaista suojan tasoa kuin sellainen UL-ilma-alustyyppi, joka täyttää kohdissa 3-9 esitetty vaatimukset.

10.3.5 Jos ulkomailta tuotu UL-ilma-alus ei ole kaikilta osin tyyppitodistuksen mukainen, suurille muutostöille on hankittava Liikenne- ja viestintäviraston hyväksyntä määräyksen AIR M1-5 kohdan 18 mukaisella menettelyllä.

## 11 KANSALLISUUS- JA REKISTERITUNNUKSET

11.1 UL-ilma-alus on merkittävä kansallisuus- ja rekisteritunnuksin. Tunnuksiin sovelletaan määräystä AIR M1-2, Ilma-aluksen kansallisuus- ja rekisteritunnus, alla mainituin poikkeuksin:

- a) Kansallisuustunnuksen muodostavat kirjaimet OH. Rekisteritunnuksen muodostavat U-kirjain (UL-lentokone, UL-purjelentokone tai UL-helikopteri) tai G-kirjain (autogiro) sekä kolme tai neljä numeroa.
- b) Jos UL-ilma-aluksen muoto tai rakenne on sellainen, ettei määräyksen AIR M1-2 mukaisten tunnusten sijoittaminen runkoon tai siipeen ole mahdollista, voi lentokelpoisuustarkastaja hyväksyä kooltaan kyseisestä määräyksestä poikkeavat tunnukset. Tunnusten luettavuus ei saa kuitenkaan olennaisesti huonontua.

11.2 Tarkempi ohjeistus tunnusten koosta ja sijoittamisesta annetaan erillisessä AIR-sarjan ilmailuohjeessa.

## 12 LUPA ILMAILUUN

UL-ilma-alukselle voidaan myöntää lupa ilmailuun ja lentokelpoisuuden tarkastustodistus lentokelpoisuustarkastuksen jälkeen edellyttäen, että UL-ilma-alus täyttää tässä määräyksessä asetetut vaatimukset ja UL-ilma-alus on tyyppitodistuksen ja lento-ohjekirjan tyyppitietojen mukainen. Harrasterakenteisesta UL-ilma-aluksesta vaaditaan lisäksi määräyksen AIR M5-2 mukaiset selvitykset ja asiakirjat.

## 13 POIKKEUKSET

Liikenne- ja viestintävirasto voi perustellusta hakemuksesta myöntää UL-ilma-alukselle poikkeuksia tämän määräyksen vaatimuksista, jos se katsoo, että poikkeukset ovat tarpeellisia ja että määräyksen tarkoitusta vastaava turvallisuustaso saavutetaan hakijan esittämillä keinoilla.

Kirsi Karlamaa  
pääjohtaja

Jarkko Saarimäki  
ylijohtaja