

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Lentokonetekniikka

Opinnäytetyö

Janne Albäck

AMFIBIO-PROJEKTIN SUORITUSKYKYARVIO JA ILMAILUMÄÄRÄYKSET

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2009

DI Yliopettaja Heikki Aalto  
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Lentokonetekniikka

Albäck, Janne

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Elokuu 2009

Hakusanat

Amfibio-projektin suorituskykyarvio ja ilmailumääräykset

86 sivua + 3 liitesivua

DI Heikki Aalto

Tampereen ammattikorkeakoulu

Ikarus C42, amfibio, suorituskykyarvio, ilmailumääräykset

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulun ilmailukerho käynnisti kesällä 2009 projektin, jonka nimeksi tuli amfibio-projekti. Amfibio-projektin tavoitteena oli asentaa jo valmiiksi hankitut amfibio-ponttonit Ikarus C42 -ultrakevytkoneeseen. Amfibio-ponttonien asentaminen edellytti kiinnityskonstruktion suunnittelun, rakentamisen ja asentamisen ultrakevyitä koneita koskevien ilmailumääräysten vaatimalla tavalla.

Opinnäytetyössäni tutkittiin suunnittelua koskevia ilmailumääräyksiä ja amfibio-koneen suorituskykyarviota. Ilmailumääräysten asettamat vaatimukset on käyty kohta kohdalta läpi samalla kertoen niitten vaikutusta kunkin aihealueen kohdalla. Amfibio-koneen suorituskykyarviossa on tehty laskennallisesti arvio jokaiselle lentoprofiilille, ja tutkittu kuinka Ikaruksen lento-ominaisuudet muuttuvat lennettäessä amfibio-ponttoneilla.

Työn tulos osoittaa, että ilmailumääräykset vaikuttivat voimakkaasti meidän kiinnityskonstruktiomme suunniteluun. Suorituskykyarvion tulokset osoittavat, että amfibio-ponttonien aiheuttama lisävastus vaikuttaa merkittävästi Ikaruksen lento-ominaisuuksiin, mutta ei kuitenkaan kohtuuttomasti. Tulosten tarkastelu on tehty vertailemalla saatuja tuloksia valmistajan ja lentokoneen lento- ja käyttöohjeiden ilmoittamiin arvoihin.

Tarkastelu osoitti, että suorituskykyarvion tuloksia voidaan käyttää amfibio-projektin rakennusluvan hankkimisessa, mutta ei muuhun tarkoitukseen.

TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

Aeronautical Engineering

Albäck, Janne

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

Commissioning Company

August 2009

Keywords

Amfibio-project's performance estimation and aviation regulations

86 pages + 3 appendices

Supervisor Heikki Aalto

Tampere University of applied sciences

Ikarus C42, amfibio, performance estimation, aviation regulations

## ABSTRACT

Summer 2009 Tampere University of applied sciences started a project called amfibio-projekti. Amfibio-project's task was to mount already purchased amfibio-floats to an Ikarus C42 microlight airplane. To succeed in this task, the mounting structure had to be designed and built according to aviation regulations.

This thesis goes through a performance estimation done to Ikarus C42 when it is mounted with the amphibious floats. This thesis goes also through the aviation regulations requirements that had to be considered in the design of the float's mounting structure.

Thesis shows that amphibious floats have a major impact on Ikarus C42 flying performances. Also several aviation regulations requirements had to be considered in the design of the floats mounting structure.

This thesis's work can be used in the construction license application, which is required and accepted by the Finnish civil aviation authority.

# ALKUSANAT

Tämän tutkintotyön alkuperäinen tarkoitus oli kertoa amfibio-projektiin kuuluva amfibio-ponttonien kiinnityskonstruktion suunnittelusta, rakentamisesta ja asentamisesta. Myöhemmin tutkintotyöni tavoitteet muotoutuivat amfibio-projektin myötä lopulliseen muotoonsa käsittelemään amfibio-koneen suorituskykyarviota ja projektiin liittyviä ilmailumääräyksiä. Koska Suomen kevytilmailu on koko ajan kasvava harrastus, uskon kovasti, että tulevaisuus tuo mukanaan lisää samankaltaisia projekteja. Siksi toivon, että tekemäni työ toimii hyvänä esimerkkinä ja apuvälineenä näitä tulevia projekteja varten. Amfibio-projekti on ehdottomasti ollut projektina hyvin haastava, mutta samalla erittäin mielenkiintoinen ja silmiä avaava projekti, jonka parissa on ollut ilo työskennellä. Tämän takia haluisin ensimmäisenä kiittää amfibio-projektin jäseniä hyvästä yhteistyöstä ja ennen kaikkea hyvän työilmapiirin luomisesta. Haluan kiittää myös opinnäytetyöni ohjaajaa Heikki Aaltoa rakentavista kommentteistaan ja Vesa Sorkiota projektin mahdollistamisesta.

Tampereella 24.8.2009

---

Janne Albäck

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
1 JOHDANTO.....	8
2 AMFIBIO-PROJEKTI .....	9
2.1 Projektin alku.....	9
2.2 Projektin kulku .....	10
2.3 Organisaatio ja aikataulu .....	13
3 IKARUS C42 JA VESILENTÄMINEN .....	16
4 ILMAILU JA ILMAILUVIRANOMAISET.....	18
4.1 Ilmailuviranomaiset.....	18
4.2 Amfibio-projektia koskevat määräykset.....	19
4.3 Kevytilmailu .....	21
5 VESIKUORMIEN MÄÄRITTÄMINEN .....	24
5.1 Yleistä.....	25
5.2 Kuormitusten määrittäminen .....	25
6 LENTOKONEEN SUORITUSKYKYARVIO .....	34
6.1 Vertailu .....	35
6.2 Ilmanopeus .....	36
7 PARHAAN LIITOLUVUN TARKASTELU .....	37
7.1 Pyöräkoneen vastus .....	39
7.2 Laskutelineen ja pyörien vastus.....	39
7.3 Amfibio-ponttonin kiinnitystelineen vastus .....	42
7.4 Amfibio-ponttonien vastus .....	44
7.5 Amfibio-koneen vastus.....	45
7.6 Liitoluku laskusiivekkeet keskiasennossa .....	46
8 IKARUKSEN VASTUSPOLAARI .....	47
9 MOOTTORI-POTKURI-YHDISTELMÄ .....	49
9.1 Propulsiivinen hyötysuhde .....	50
9.2 Polttoaineen ominaiskulutus .....	53
10 IKARUKSEN NOUSULENTO .....	55
10.1 Nousulennon tarkastelu .....	56
10.2 Tuloksien vertailu.....	58
11 IKARUKSEN LIUKULENTO .....	60
11.1 Liukulennon tarkastelu .....	62
11.2 Tuloksien vertailu.....	66
12 IKARUKSEN VAAKALENTO .....	67
12.1 Vaakalennon tarkastelu.....	69
12.2 Sakkaus vaakalennossa .....	72
12.3 Kantama .....	76
13 OMIA POHDINTOJA TULOXSISTA.....	78
14 PROJEKTIN YHTEENVETO .....	81
15 OMIA POHDINTOJA.....	82
16 LÄHDELUETTELO .....	84

## Käytetyt muunnoskertoimet

### Nopeus ja kiihtyvyys

kiihtyvyys	1 g	= 9,81 m/s <sup>2</sup> = 32,8 ft/sec <sup>2</sup>
nopeus	1 m/s	= 3,6 km/h
solmu	1 kts	= 0,514 m/s

### Massa

naula	1 lbs	= 0,45359 kg
slugi	1 slug	= 14,594 kg

### Tiheys

slugia kuutiojalassa	1 slug/ft <sup>3</sup>	= 515,4 kg/m <sup>3</sup>
----------------------	------------------------	---------------------------

### Voima

naula	1 lbf	= 4,44822 N
-------	-------	-------------

## Suorituskykyarviossa käytetyt merkinnät

$b'$	potkurimoottorin polttoaineen ominaiskulutus
$C$	kohoamisnopeus, vajoamisnopeus
$C_{min}$	pienin vajoamisnopeus
$C_D$	vastuskerroin
$C_{D0}$	nollanostovastuskerroin
$C_{Lmax}$	maksimi nostovoimakerroin
$D$	vastus
$E$	liitoluku
$E_{max}$	paras liitoluku
$K$	nostovoimasta riippuvan vastuskertoimen tekijä
$L$	nostovoima
$MTOW$	maksimilentoönlähtöpaino
$m$	lentokoneen massa
$n$	kuormitusmoninkerta
$P$	teho
$r$	kierrosta minuutissa
$S$	siipipinta-ala
$T$	työntövoima
$V$	lentonopeus, virtausnopeus
$V_{ref}$	referenssinopeus = nopeus parhaan liitoluvun avulla
$V_s$	sakkausnopeus
$X$	lentomatka, kantama
$\alpha$	kohtauskulma, liukukulma
$\beta$	polttoaineen kulutus aikayksikössä
$\eta_{prop}$	propulsiivinen hyötysuhde
$\rho$	ilman tiheys

# 1 JOHDANTO

Kesällä 2009 Tampereen ammattikorkeakoulun ilmailukerho käynnisti projektin, jonka tavoitteena oli asentaa amfibio-ponttonit Ikarus C42 tyyppiseen ultrakevytlentokoneeseen. Minä sekä neljä muuta lentokonetekniikanopiskelijaa pääsimme mukaan tähän laajaan suunnittelu- projektiin suunnittelemaan toimiva kiinnitysrakenne amfibio-ponttonien ja pienlentokoneen alustan väliin.

Projektin alkuvaiheessa jokaiselle projektinjäsenelle jaettiin oma vastuualue. Minun tehtäväni oli tutkia amfibio-projektiin liittyviä ilmailumääräyksiä ja mitä ehtoja ne asettavat suunnittelulle. Myöhemmin sain myös tehtäväkseni tutkia Ikaruksen suorituskykyarviota ja kuinka se muuttuu lennettäessä amfibio-ponttoneilla.

Tämän opinnäytetyön tavoite on tarkastella, kuinka amfibio-ponttonit vaikuttavat Ikarus C42 pienlentokoneen suorituskykyyn. Tässä opinnäytetyössä käsitellään yleisesti amfibio-projektia koskevia eri ilmailuviranomaisten asettamia ilmailumääräyksiä. Suorituskykyarvio tehdään kolmessa eri lentoprofiilissa, joissa tutkitaan tarkemmin eri suorituskykyarvoja.

## 2 AMFIBIO-PROJEKTI

### 2.1 Projektin alku

Kaikki alkoi Vesa Sorkio nimisestä henkilöstä, joka oli ostanut itselleen Kanadasta Puddlejumper-merkkiset amfibio-kellukkeet. Kyseisten kellukkeiden valmistajalla ei ollut valmista suunnitelmaa ja toteutusta Ikarus C 42 konetta varten, joten lopullinen suunnittelu täytyi tehdä itse. Tästä kehittyi Tampereen ammattikorkeakoululle suunnittelu- ja asennusprojekti, jota alkoi toteuttaa viiden hengen ryhmä, se koostui lentokonetekniikkaa kolmatta vuotta opiskelevista opiskelijoista.

Opinnäytetöiden liittäminen projektiin oli alusta alkaen vahvasti mukana projektia mietittäessä. Alkuun tuntui, että ryhmän koko olisi turhan suuri, mutta projektin edetessä on huomattu projektin tarjoavan erittäin mielenkiintoisia tutkintotyöaiheita viidelle opiskelijalle. Kun projekti alusta alkaen tehtiin ammattimaisesti, ilmailumääräyksistä lähtien, on työn määrä ollut huomattava. Lisää mielenkiintoa on tuonut myös se, että rakennamme suunnittelemamme rakenteen lentävään koneeseen.

Työ tehdään ryhmässä, joten opinnäytetyö, jonka ryhmän jäsen tekee, on samalla osoitus ryhmässä työskentelemisen taidosta. Kaikesta siitä, mitä tämä projekti on tarjonnut ja tulee vielä tarjoamaan, on varmasti hyötyä tulevilla lentoteknisillä työurillamme.

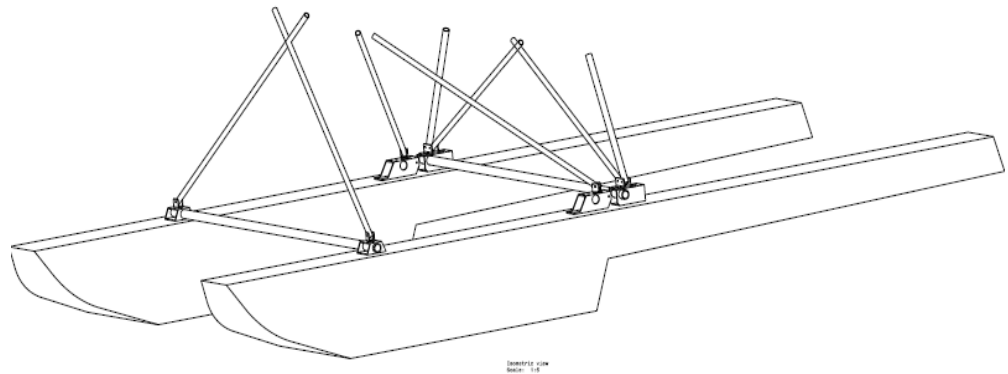
## 2.2 Projektin kulku

Projekti lähti käyntiin aivan perusasioista, sillä kukaan projektin jäsenistä ei ollut aikaisemmin tämän kaltaisen projektin parissa työskennellyt. Toinen alkua hankaloittava asia oli se, että kenelläkään ei ollut varsinaista kokemusta näin laajan projektin parissa työskentelystä. Näin ollen kaikki asiat jouduttiin alkuun opettelemaan pitemmän kaavan kautta, mikä näkyikin projektin edetessä päivien kulumisena, eikä näkyvää tulosta syntynyt.

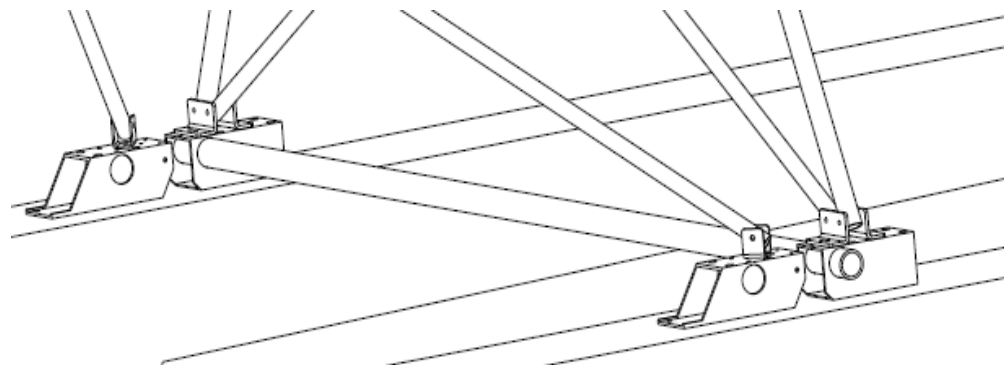
Saimme projektin edetessä kuitenkin oppimiskäyrän nousuun, joten niin ilmailumääräyksistä kuin FEM-lujuuslaskennasta alettiin saada selvää. Ensimmäinen kuukausi kuluikin melkein kokonaan näiden asioiden opettelemiseen ja tulkintaan.

Ilmailumääräykset EASA:n CS-23:n mukaan olivat lähtökohta projektissa. Tämä ei kuitenkaan ollut se helpoin juttu, sillä ilmailumääräykset osaavat olla välillä erittäin vaikeaselkoisia. Ensimmäisen kuukauden aikana oli määräyksien mukaisista kuormista yhtä monta sovellusta kuin sormia projektin jäsenillä. Halusimme kuitenkin tehdä suunnittelun alusta alkaen käyttäen määräyksien antamia kuormia, mutta mitä pidemmälle projekti eteni, sitä enemmän olemassa olevien rakenteiden kuormat vaikuttivat suunnitelmiin.

Alussa rakennesuunnitelmat tehtiin liitutaalulle, jonka ympärillä mietittiin, että millä tavalla rakenne tulisi tehdä. Kuvassa 1 nähdään kellukkeiden kiinnitysristikon ensimmäisiä Catialla (3D-suunnitteluohjelma) suunniteltuja malleja. Kuvassa 2 on taas tarkemmin esitelty ensimmäisen takakiinnityksen ehdotus. Tämän mallin heikkous oli sen säädettävyys. Nämä mallit tosin muuttuivat monta kertaa projektin edetessä, joten harjoitusta mallintamisesta saatiin riittävästi.

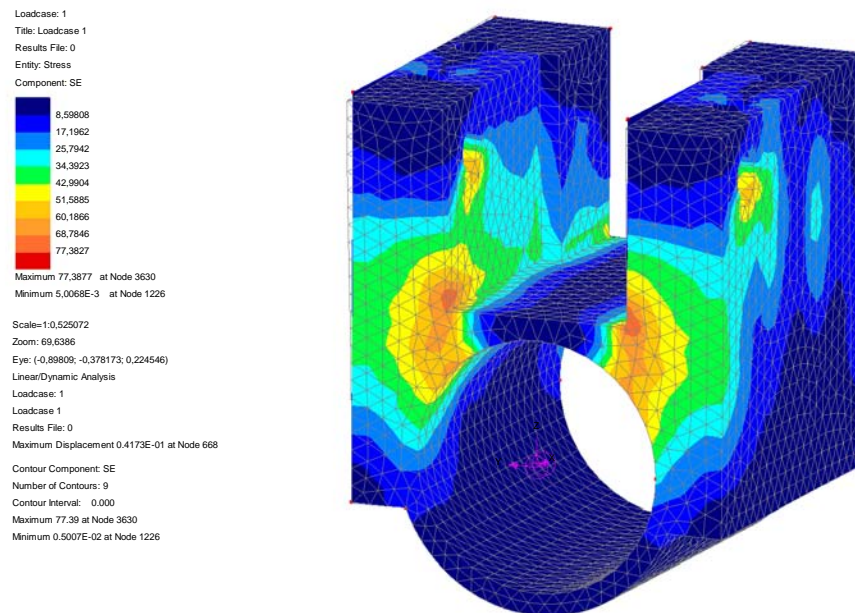


**Kuva 1** Ensimmäisiä ristikkomalleja



**Kuva 2** Tarkempi kuva ensimmäisestä ehdotuksesta takaristikon kiinnitykseksi ponttoneihin

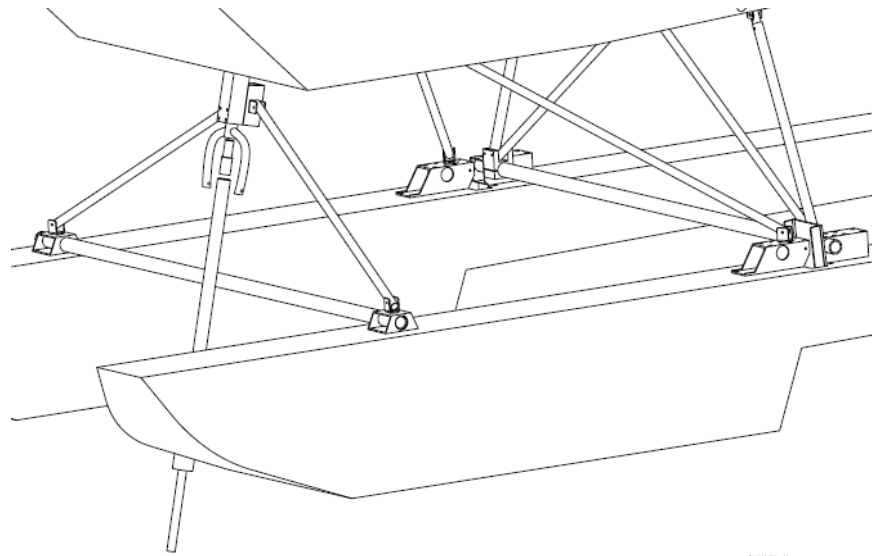
Tämän jälkeen tehtiin suunnitelmista FEM-malli, josta esimerkki kuvassa 3. FEM-mallin avulla saimme suhteellisen tarkkaa tietoa siitä, mitä rakenne kestää. Malleja laskettaessa käytettiin kuormina aluksi ilmailumääräyksistä saatuja kuormia, mutta myöhemmin niitä korjailtiin, kun olemassa olevia rakenteita tutkittiin.



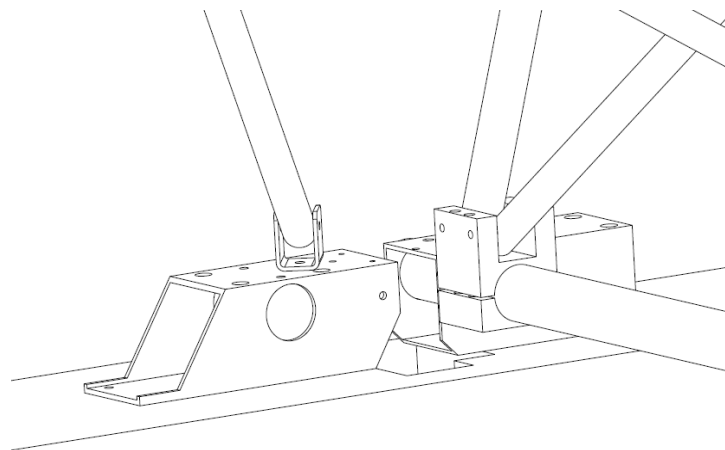
**Kuva 3** FEM-malli sandwich bracketistä

Kaiken kaikkiaan projekti pyöri eniten ilmailumääräyksien, Catia- ja FEM-mallinnuksien ja olemassa olevien rakenteiden parissa. Kaikkeen tähän liittyi myös monta muuta osa-aluetta, kuten painonhallintaa, vakavuus- ja suorituskykytarkasteluita, korroosiovaikutuksia sekä valmistusmenetelmien miettimistä. Tämän lisäksi projektiin kuului testauksen suunnittelua, aikataulujen miettimistä sekä olemassa olevien rakenteiden paikan päällä tarkastelua.

Loppujen lopuksi rakenne tulee näyttämään kuvan 4 mukaiselta. Tähän on päästy monen erilaisen mallin ja pienemmän rakenneratkaisun jälkeen. Tärkeimpänä huomioitavana seikkana rakenteesta täytyy mainita sen säädettävyys. Kellukkeet täytyisi saada  $5^\circ$  kulmaan suhteessa siiven alapintaan, jolloin asennusvaiheessa tulisi täysin kiinteillä kiinnityksillä tehtäessä ongelmia. Tämän johdosta takaristikko on rakennettu niin, että se pystyy kääntymään taaemman vinoputken ympäri varta vasten suunniteltujen ”sandwich bracket” -tyyppisten osien avulla. Nämä on paremmin esitelty kuvassa 5.



**Kuva 4** Ristikkorakenteen lopullinen malli



**Kuva 5** ”Sandwich bracket” lähempää, joka mahdollistaa helpomman säädettävyyden

## 2.3 Organisaatio ja aikataulu

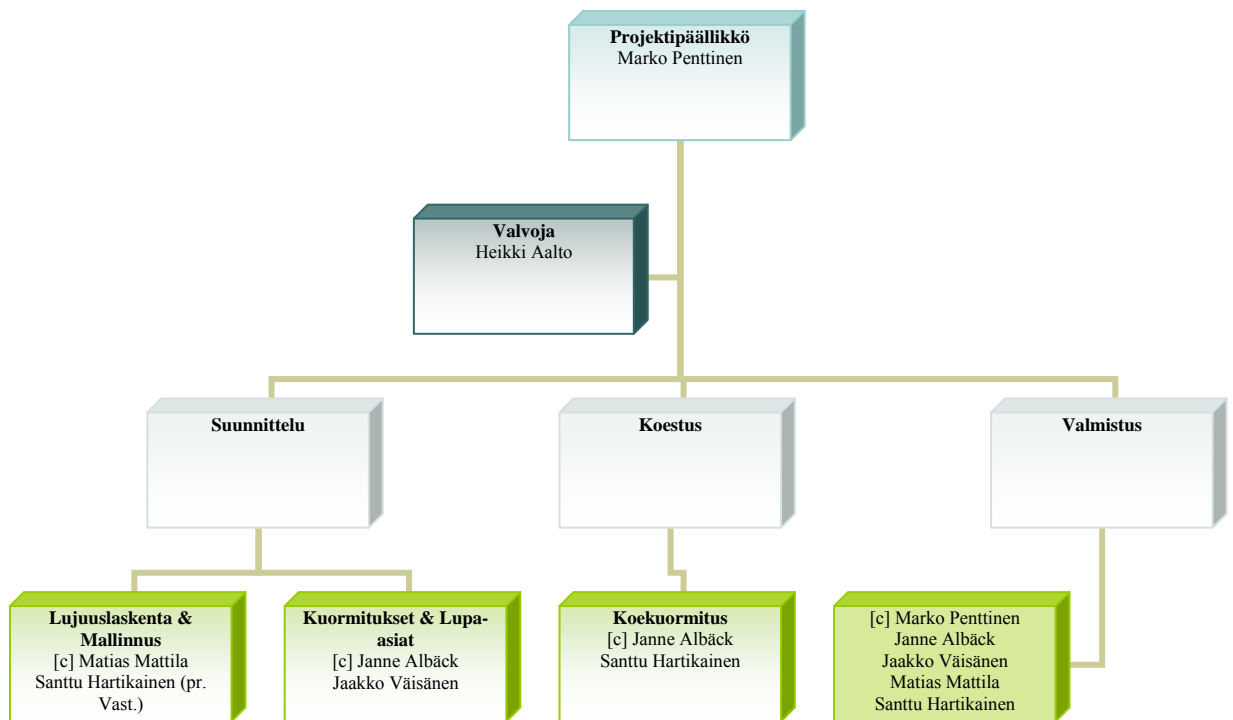
Amfibio-projektin vetäjäksi valittiin Marko Penttinen, joka toimi nimikkeellä ”projektipäällikkö”.

**Projektipäällikkö:** Marko Penttinen

**Ryhmän jäsenet:** Jaakko Väisänen

Janne Albäck  
Matias Mattila  
Santtu Hartikainen

Projektissa oli tarkoitus jakaa tehtävät tasan tekijöiden kanssa. Kuvassa 6 näkyy alustava organisaatiokaavio, jossa on projektin ensimmäisten työtehtävien jakoperiaate. Mahdollisten poissaolojen ja lomien takia, joita kesän aikana tulee, oli vastualueet jaettu pareille, kuitenkin niin, että merkinnällä c oleva henkilö vastasi kyseisen osan valmistumisesta. Projektipäällikön osana, oli myös osallistua kaikkeen tekemiseen.



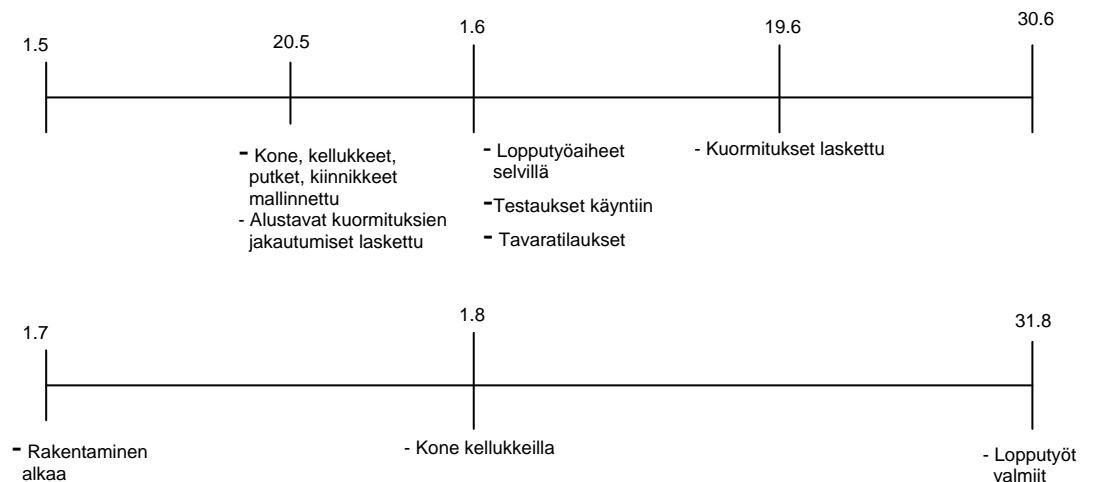
**Kuva 6** Alustava organisaatiokaavio

”Lujuuslaskenta & Mallinnus” -ryhmän päätehtävänä oli suunnitteluvaiheessa miettiä eri konstruktioratkaisuja ja mitoittaa amfibio-kellukkeille kiinnityskonstruktio. Tehtävään kuului myös lujuustarkastelu valmistajan tekemille osille ja varmistaa, että ne yhdessä kestävät suunnitellun kiinnityskonstruktion kanssa. Lujuustarkastelu edellytti kiinnitysosien ja

konstruktioiden CATIA-mallinnusta, jotta lujuustarkastelu FEM-ohjelmalla olisi mahdollista.

Suunnittelun vaiheen toinen ryhmä oli ”Kuormitukset & Lupa-asiat” ja sen päätehtävään kuului selvittää ilmailumääräyksien asettamat amfibio-ponttonien kiinnitystä koskevat säännöt. Ilmailusäädökset olivat tärkeä osa meidän projektia, koska amfibio-ponttonien asentamiseen tarvitaan ilmailulaitokselta hyväksytty rakennuslupa, joka edellyttää toimimisen ilmailumääräyksien mukaan.

Koestusryhmän päätehtävänä oli kuormittaa kiinnityskonstruktiota ja todeta, että konstruktioratkaisu kestää sille suunnitellut kuormat. Ennen koestusta oli perehdyttävä koekuormituskoneen käyttöohjeisiin, koestuksen suunnitteluun ja lopuksi itse koekappaleiden tekemiseen.



**Kuva 7** Amfibio-projektin alustava aikataulu

Projektissa ei alkuun lyöty lukkoon mitään aikataulua, mutta alustavasti olimme kuitenkin sopineet joitain päivämääriä, jotka näkyvät kuvassa 7. Alustavan aikataulun mukaan suunnitteluvaihe olisi valmis kesäkuun alussa, jolloin tarvittavat osat tilattaisiin ja lupahakemus lähetettäisiin. Rakentaminen oli alustavasti suunniteltu alkavan heinäkuun puolella, jolloin rakentamiseen

olisi aikaa noin kuukausi. Aikataulun mukaan opinnäytetyön tekemiseen oli varattu koko elokuu olettaen, että amfibio-ponttonien asentaminen olisi valmistunut heinäkuussa.

### 3 IKARUS C42 JA VESILENTÄMINEN

Yksi yleisimmistä kevytilmailussa käytetyistä ultrakevyistä lentokoneista on Ikarus C42. Ikarus C42 (kuva 8) on moderni rinnakkain istuttava ylätasokone ja sen on valmistanut saksalainen Comco Ikarus GmbH -yritys. Comco Ikarus aloitti toimintansa jo vuonna 1976 valmistamalla riippuliitimiä. Nykyään Comco Ikarus on moderneja ja huippulaadukkaita ultrakevyitä lentokoneita tuottava yritys. Suomesta ostettuna Ikarus maksaa noin 45 000 euroa /2/.



**Kuva 8** Ikarus C42 Full Lotus kellukkeilla

Siiven kärkiväli on 9,45 metriä ja siipi on valmistettu lentokonealumiinista, joka on päällystetty erittäin vahvalla kutistekankaalla. Koneen runko on valmistettu komposiitista ja sen pituus on 6,25 metriä. Kantavana osana toimii rungossa oleva iso alumiiniputki. Moottorina Ikaruksessa on nelitahtinen Rotax ULS 912 tai 912s -kevytlentokonemoottori. ULS 912 -malli kehittää 100 hevosvoimaa ja 912s malli 80 hevosvoimaa. Ikaruksen matkalentonopeus on noin 150 km/h ja sen toimintamatka on 400–500 kilometriä /3/.

Ikarusta käytetään paljon koulutuksessa, ja se sopii hyvin myös vesilentoon. Yksi Ikaruksen monista vahvuuksista onkin sen käytön ympärivuotisuus. Kesällä voidaan operoida vedestä ja maalta, sekä talvisin suksien avulla lumesta. Yleisimmin Ikaruksissa käytössä olevia kellukkeita ovat ilmatäytteiset Full Lotus -kellukkeet (kuva 8). Full Lotus -kellukkeilla voi operoida talvisin myös lumelta.

Kellukkeilla varustetun ultrakevyen lentokoneen lentämiseen tarvitsee varsinaisen lupakirjan lisäksi myös vesilentokelpuutuksen. Kurssi kestää muutaman lentotunnin verran, ja siinä käsitellään kellukkeista aiheutuvien suoritusarvojen muuttumista, lentoonlähtöä, laskeutumista veteen ja rantautumista /2/.

Vesilentokone on lentokone, joka nousee vedestä ja laskeutuu veteen. Koneessa on pyörien sijaan suksenkaltaiset kellukkeet tai itse koneen runko on venemäinen, jolloin kyse on lentoveneestä. Jos kellukkeissa tai rungossa on sisään vedettävät renkaat, kyseessä on amfibiolentokone, jolla voidaan operoida vedestä ja maalta. Suomessa vesilentokoneita on käytössä melko paljon, sillä Suomessa on paljon sopivia vesistöjä, joissa koneita voidaan käyttää. Etenkin kevytlentokoneista merkittävä osa on vesikoneita, joilla voidaan laskeutua suoraan oman rantamökin laiturille.

## 4 ILMAILU JA ILMAILUVIRANOMAISET

Ilmailuviranomaiset vaikuttivat suuresti projektin toimintaan. Amfibio-projektin suunnittelussa piti noudattaa ilmailuviranomaisten asettamia säädöksiä, koska säädökset määräisivät pitkälti, mitä kuormia kiinnityskonstruktion pitää kestää ja rakentaa. Tässä osiossa käydään läpi eri ilmailuviranomaisia ja sitä, kuinka ne vaikuttivat projektiin. Lisäksi käydään läpi yleisesti kevytilmailua ja ultrakevyttä lentokoneetta koskevia säädöksiä.

### 4.1 Ilmailuviranomaiset

#### **Ilmailuhallinto - Suomen ilmailuviranomainen /4/**

Ilmailuhallinto on ilmailuviranomainen, jonka päätehtävänä on toimia ilmailuviranomaisena Suomessa. Ilmailuviranomaisen tehtäviin kuuluu lentoturvallisuuden ja ilmailun turva-asioihin liittyvien ohjeiden ja määräysten hoitaminen. Ilmailuhallinnon yksi tärkeimmistä tehtävistä on lain uudistaminen vastaamaan Suomen nykyistä ilmailutoimintaa ja lentokalustoa. Ilmailuhallinnon päätehtäviin kuuluu myös ilmailulain kehittäminen EU:n ulkopuolisten maiden ilma-alusten turvallisuutta koskevien direktiivien mukaan.

#### **EASA - Euroopan lentoturvallisuusvirasto /5/**

European Aviation Safety Agency (EASA) toimii lentoturvallisuusvirastona Euroopaan tasolla. Euroopan lentoturvallisuusviraston tehtävänä on kehittää siviili-ilmailun turvallisuuden ja ympäristönsuojelun korkeaa tasoa. Koska kansalliset ilmailuviranomaiset (Ilmailuhallinto) hoitavat suuremman osan operatiivisista tehtävistä, on EASA:n tehtävänä ylläpitää ja kehittää yhteistä turvallisuus- ja ympäristösäännöstöä Euroopan tasolla. EASA valvoo

asettamiaan standardeja tekemällä tarkastuksia ja testaamalla jäsenvaltioiden asiantuntemusta ja koulutusta.

### **ICAO - Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö /6/**

International Civil Aviation Organization (ICAO) on YK:ssa toimiva erikoiselin, jonka tehtäviin kuuluu kansainvälisen ilmaliikenteen suunnittelu ja parantaminen ja lentoturvallisuuden kehittäminen sopimalla jäsenmaille yhteisiä säädöksiä. ICAO:n tehtävät ja säännöt määriteltiin ensimmäistä kertaa kuuluisassa Chicago sopimuksessa, jossa 52 valtiota oli mukana allekirjoittamassa sopimusta 7.12.1944. Esimerkiksi kansainväliset tunnuksat kuten EFTU (Turun lentokenttä) ja FIN (Finnair) ovat ICAO:n päättämiä lentokenttä- ja lentoyhtiötunnuksia.

## 4.2 Amfibio-projektia koskevat määräykset

Amfibio-projektin alussa piti perin pohjin tutkia, mitä vaatimuksia ilmailumääräykset asetettavat kiinnityskonstruktiolle tai yleensä amfibio-koneelle. Tämä johtuu lähinnä siitä, että kun lentokoneeseen suunnitelle jonkin oman konstruktion, pitää sen saada hyväksyntä Ilmailuhallinnolta. Amfibio-projekti ei ollut tästä poikkeus. Rakennuslupahakemuksessa ilmailuhallinto tarkistaa täytyvätkö kaikki konstruktiolle asetetut vaatimukset. Kaikkia harrasterakenteisia (ultrakevytluokka) ilmailualuksia koskevat seuraavat ilmailumääräykset: AIR M1-, AIR M5-, AIR M11-, AIR M14-, AIR M15- ja AIR M16-sarja /7/.

Sähköpostikeskustelussa Ilmailuhallinnon yksikön päällikön Markku Hiedanpään kanssa näkyi, mitä selvityksiä rakennuslupahakemus edellyttää (liite 1). Rakennuslupahakemukseen pitää muun muassa liittää selitykset lentokoneen vakavuudesta, lujuustarkastelusta, suorituskykyarviosta ja paino-

ja painopistearviosta. Hakemuksessa tulee myös kertoa perustietoja lentokoneesta.

Lujuustarkastelu tehtiin EASA:n määräysten asettamien vesikuormien mukaan. Ilmailumääräysten ehtona oli, että ellei suunnittelija laadi rationaalista analyysiä vesikuormista suunnittelu tehtävä EASA:n Sec. 23.523-.537 säännösten mukaan /8/. Nämä säännökset kertovat kuinka rajakuormat tulee laskea ja mihin kohtaan ponttonia kuormat kohdistuvat. Konstruktiota suunniteltaessa vedottiin myös suomalaisten ultrakevyiden tarkastuskirjaan, joka perustuu yhteiseurooppalaisiin purjelento- ja moottoripurjelentokoneiden lentokelpoisuusvaatimukseen – Joint Airworthiness Requirements, JAR-22. Tarkastuskirjan pohjana on myös ollut ruotsalaisten, saksalaisten ja englantilaisten tekemiä rakennusvaatimuksia ja tarkastuskirjoja ultrakevyille lentokoneille /9/. Rajakuormien määrittäminen oli minun vastuualueella tässä projektissa

Rakennuslupahakemusta varten piti tehdä suorituskykyarvio Ikaruksesta, johon on asennettuna amfibio-ponttonit. Tämä oli minun toinen laaja vastuualueeni amfibio-projektissa ja suorituskykyarvion päätin toteuttaa ihan laskennallisesti samalla tarkistaen, että amfibio-koneen suorituskyky täyttää ultrakevyen lentokoneen suorituskykyvaatimukset. Ultrakevyen lentokoneen suorituskykyvaatimukset sain selville suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirjasta.

Paino- ja painopistearvio oli myös iso osa tätä projektia, koska ultrakevyellä lentokoneella on tarkat rajat painopisteelle ja missä kohtaa se on. Ultrakevyen lentokoneen paino- ja painopiste tulee täyttää kaikki AIR M5-10 määräysten asettamat vaatimukset. Samalla tulee myös noudattaa ultrakevyen koneen omaa ohjekirjaa ja sen paino- ja painopistevaatimuksia.

Rakennuslupahakemus edellytti myös vakavuustarkastelua. Vakavuustarkastelu kulki periaatteessa käsi kädessä paino- ja

painopistearviossa, koska lentokoneen vakavuus määräytyy painopisteen mukaan. Vakavuustarkastelussa tutkittiin lähinnä amfibio-ponttonien vaikutusta Ikaruksen vakavuuteen, minkä jälkeen varmistettiin, että se on määräysten mukaan riittävän vakaa. Ultrakevyen lentokoneen vakavuus on määritetty tarkasti suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirjassa.

## 4.3 Kevytilmailu

### **Ultrakevytlentäjän lupakirjan saamisen edellytykset /10/**

Hakijalta vaaditaan 17 vuoden ikää, sekä lääketieteellinen kelpoisuustodistus. Lisäksi ilmailumääräys PEL M2-70 määrittelee tietopuoliset vaatimukset seuraavasti:

”Hakijalta vaaditaan ilmailuviranomaisen hyväksymän lentokoulutusluvan haltijan antama tietopuolinen koulutus. Hakijalta vaaditaan todistus siitä, että hän on kokeissa osoittanut ultrakevytlentäjältä vaadittavaa tiedon tasoa seuraavissa oppiaineissa:

- a) ilmailun säädökset
- b) UL-lentokonerakenteet ja moottori
- c) UL-lentokonemittarit
- d) aerodynamiikka
- e) ohjausoppi
- f) sääoppi
- g) lentosuunnistus
- h) UL-lentokoneen käyttö ja hoito, lentokäsikirja
- i) ihmisen suorituskyky ja rajoitukset
- j) lentotoimintamenetelmät.

Edellä mainittujen oppiaineiden lisäksi hakijalla on oltava rajoitetun radiopuhelimenhoitajan kelpuutus (PEL M2-92 tai PEL M2-93) tai sitä varten voimassa oleva koulutus (TRG M1-11).”

Teoriaosuuden lisäksi vaaditaan 25 lentotuntia UL-koneella, joista yksinlentoja on oltava 5 lentotuntia. Lisäksi vaaditaan myös 5 lentotuntia matkalentoina, sisältäen 150 km:n pituisen matkalennon yksin lennettynä. Matkalennon aikana tulee laskeutua vähintään yhdelle lentopaikalle, joka ei ole sama kuin lentoonlähtöpaikka. Lento-osuuden jälkeen suoritetaan luonnollisesti lentokoe, jossa tulee osoittaa UL-lentäjältä vaadittava suoritustaso ohjausliikkeissä, niin normaalissa lennossa kuin hätätilanteissakin. Hakijan tulee myös osoittaa kykynsä noudattaa ilmaliikennepalvelun toimintaohjeita ja menetelmiä. Voimassa oleva muun luokan lentolupakirja helpottaa UPL-lupakirjan saamista.

### **UL-vesilento oikeus /10/**

Vesilentokäyttöön UL-koneella tarvitaan vesilento-oikeus, johon tulee käydä hyväksytyin ohjelman mukainen koulutus. Vesilento-oikeuteen tarvitaan tietoja mm. eri sääolosuhteissa vesiliikehtimisestä ja rantautumisesta, kellukkeiden vastustekijöistä sekä suorituskyykyvertailusta vastaaviin maakoneisiin.

### **Ultrakevytlentämisen määräykset ja vesilentotoiminta**

Ilmailumääräyksen OPS M2-8 mukaan ultrakevyellä lentokoneella saa lentää vain VFR-lentoja päivällä, ei jäätävissä olosuhteissa /11/. VFR-lentoja ei ole luvallista suorittaa valvotussa ilmatilassa jos lentonäkyvyys on alle 5 km ja pilvikorkeus alle 1500 ft lennettäessä alle lentopinnan FL 100 (3050 m). Pilvistä täytyy myös pysyä erossa, pitäen etäisyyttä vaakasuoraan 1500 m ja pystysuoraan 300 m /12/. Taitolento ei myöskään ole sallittua normaaleilla UL-lentokoneilla, mutta erillisillä riittävillä selvityksillä kone voidaan hyväksyä rajoitettuun taitolento- tai taitolentoluokkaan. /13, s. 5/

Ultrakevyillä lentokoneilla vesilennessä on jokaisen lentokoneessa olevan henkilön puettava pelastusliivit päälle, jos liitämällä ei päästä kiinteälle maalle tai jäälle /11/. Tässä suhteessa UL-lentokoneiden vesilentomääräykset ovat väljemmät kuin suuremmilla koneilla, joilta vaaditaan vesilentokäytössä mm. mela, ankkureita, sekä veden tyhjennyspumppu /12/. UL-lentokoneisiin ei alhaisen lentoonlähöpainon takia kuitenkaan näitä varusteita ole mahdollista asentaa.

### **Ultrakevyyet lentokoneet**

Ultrakevyyt lentokone (UL) määritellään ilmailumääräyksen AIR M5-10 mukaisesti seuraavasti:

”Enintään kaksipaikkainen kevyt lentokone, jonka sakkausnopeus laskuasussa on enintään 65 km/h (35 knots) CAS ja jonka suurin sallittu lentoonlähtömassa ei ylitä:

- 300 kg yksipaikkaisella maalentokoneella,
- 450 kg kaksipaikkaisella maalentokoneella,
- 330 kg yksipaikkaisella vesilentokoneella tai amfibiolla,
- 495 kg kaksipaikkaisella vesilentokoneella tai amfibiolla.”/14/

UL- lentokoneita voidaan käyttää sekä maa että vesilentokoneena, kun toimitaan yllä mainittujen painorajojen mukaisesti. UL- lentokoneet jaetaan lentokoneen ohjaustavan mukaisesti A ja B luokkaan, joista A- luokan UL- lentokoneita ohjataan osittain tai kokonaan massakeskiötä muuttamalla ja B- luokan UL- lentokoneita ohjataan ohjainpintojen avulla. Kuormattavuutta yksipaikkaisella UL- lentokoneella tulee olla vähintään 175 kg ja kaksipaikkaisella vähintään 95 kg./14/ UL- lentokoneen tyhjämassaan ei kuitenkaan tarvitse sisällyttää sellaisia lisävarusteita, esimerkiksi ylimääräisiä mittari- ja radiovarustuksia, pyöränsuojia tai valoja, joita ilman kone säilyttää lentokelpoisuutensa./15/

UL- lentokoneen lujuusvaatimuksina on liikehtimiskuormituskertoimia +3,8g ja -1,5g vastaavien rajakuormien kesto. Lisäksi rakenteen tulee kestää JAR 22 vaatimusten mukaisesti määritetyt puuskakuormat. Nämä lujuusvaatimukset eivät kuitenkaan koske tyhjämassaltaan enintään 115 kg painavia yksipaikkaisia UL- lentokoneita, joille liikehtimis- ja puuskakuormat määritetään suunnitellun käyttötavan mukaisesti./14/

UL- lentokoneiden lukumäärä ja suosio harrasteilmailussa on ollut viime vuosikymmenen aikana jatkuvassa kasvussa ja nykyisin rekisteröityjä ultrakevyitä lentokoneita on Suomessa hieman alle 300. Tämä tarkoittaa että kaikista rekisteröidyistä ilma-aluksista ultrakevyitä lentokoneita on kolmanneksi eniten (taulukko 1).

**Taulukko 1** Suomessa rekisteröidyt ilma-alukset 2000-2008 /14/

<b>Ilma-alus</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
Liikennekoneet	64	72	77	82	82	74	77	88	91
Lentokoneet	570	544	532	519	510	519	522	540	555
Helikopterit ja autogiroit	82	81	74	78	76	90	83	79	84
Purje- ja moottoripurjekoneet	372	374	374	378	381	386	390	402	404
Ilmaa kevyemmät ilma-alukset	58	60	63	61	60	61	59	62	64
Ultrakevyet lentokoneet	172	173	173	197	215	221	217	239	274
<b>Yhteensä</b>	<b>1318</b>	<b>1304</b>	<b>1293</b>	<b>1315</b>	<b>1324</b>	<b>1351</b>	<b>1348</b>	<b>1410</b>	<b>1472</b>

## 5 VESIKUORMIEN MÄÄRITTÄMINEN

Tässä osiossa lasketaan amfibio-ponttonin kiinnityskonstruktion kohdistuvat vesikuormat, jonka mukaan konstruktio mitoitettiin. Kuormien laskennat perustuvat kokonaan EASA:n CS-23 laatimiin säännöksiin.

## 5.1 Yleistä

### **Kuormien soveltaminen /16/**

Ellei toisin mainita, oletetaan, että lentokone kokonaisuudessaan altistuu kyseisen tilanteen kuormille, missä vastaavat kuormat määritetään Sec. 23.527 määrittäessä kuormituskertoimia.

### **Vesikuormitustilanteet /17/**

Vesitaso- ja amfibiolentokoneet on suunniteltava vesikuormille, jotka esiintyvät lentokoneen laskussa ja lentoonlähdössä, missä otetaan huomioon lentokoneen normaalissa lentotilassa olevat sopivat pysty- ja vaakanopeudet, jotka ilmenevät mahdollisimman kovassa merisäässä. Ellei suunnittelija laadi rationaalista analyysiä vesikuormista, on suunnittelu tehtävä EASA:n Sec. 23.523-.537 säännösten mukaan.

## 5.2 Kuormitusten määrittäminen

Lujuusvaatimuksissa käytettävät kuormat määritetään joko rajakuormina (suurin sallittu kuorma käytön aikana) tai murtokuormina (rajakuorma kerrottuna varmuuskertoimella). Ellei toisin mainita, kaikki kuormat ovat rajakuormia.

Laskutelineen ja rakenteen on kestettävä laskeutumistilanteita aiotulle alustalle käytännössä ajateltavissa olevissa asennoissa ja normaaleissa rajoissa olevilla kuormituksilla myös yhdelle telineelle. Pystysuoraan vaikuttavien kuormien lisäksi on otettava huomioon myös kuormat laskeutumissuunnassa (jarrutus) ja sivusuunnassa (suistuminen - luisu).

Voimat otetaan huomioon kolmessa eri tilanteessa, jotka ovat step loading, bow loading ja immersed loading.

### **Step ja bow loading /19/**

Step loading ( $L_S$ ), joka lasketaan kaavan 1 avulla, syntyy lentokoneen kiihdyttäessä vedessä, jolloin laskettu kuorma sijaitsee 3/4 etäisyydellä keulasta (Bow) askelmalle (Step), kuvan 9 mukaisesti ja on kohtisuorassa ponttonin köliin nähden.

Bow loading ( $L_B$ ) lasketaan myös kaavalla 1, mutta se vaikuttaa 1/4 etäisyydellä keulasta (Bow) askelmalle (Step), kuvan 9 mukaisesti ja on kohtisuorassa ponttonin köliin nähden. Bow loading syntyy, kun lentokone hidastaa rullaustilanteessa vedessä.

$$L_B = L_S = \frac{C_5 V_{s_0}^2 W^{2/3}}{\tan^{2/3} \beta_5 (1 + r_y^2)^{2/3}} \quad (1)$$

$L$  = rajakuorma (lbs)

$C$  = 0,0053

$V_S$  = vesilentokoneen sakkausnopeus (knots), laipat 2-asennossa ( $42^\circ$ )

$W$  = vesilentokoneen suunniteltu laskeutumispaino (pounds)

$\beta_5$  = ponttonin pohjan v- kulma (rad)

$r_y$  = ponttonin vaakaetäisyys (Y-suunnassa) painopisteestä jaettuna ponttonin pyörimissäde painopisteen suhteen (roll)

Laskettaessa step ja bow loading -tilanteita kaikki muut tekijät ovat samoja paitsi ponttonin pohjan v- kulma ( $\beta_5$ ), step loadingissa  $\beta_5 = 0,42$  ja bow loadingissa  $\beta_5 = 0,31$ . Sijoittamalla arvot kaavaan 1 saadaan step loading ja bow loading – kuormat  $L_S$  ja  $L_B$ :

$$L_S = \frac{0,0053 * 35,1^2 \text{ kts} * 551,6^{\frac{2}{3}} \text{ lbs}}{\tan^{\frac{2}{3}} 0,42 * (1 + 0,2^2)^{\frac{2}{3}}} = 733,7 \text{ lbs} = 3,33 \text{ kN}$$

josta saadaan step loading tilanteessa syntyvä suunnittelun murtokuorma

$$1,5 \cdot L_S = 4,99 \text{ kN.}$$

$$L_B = \frac{0,0053 * 35,1^2 \text{ kts} * 551,15^{\frac{2}{3}} \text{ lbs}}{\tan^{\frac{2}{3}} 0,31 * (1 + 0,2^2)^{\frac{2}{3}}} = 905,2 \text{ lbs} = 4,11 \text{ kN}$$

josta saadaan bow loading tilanteessa syntyvä suunnittelun murtokuorma

$$1,5 \cdot L_B = 6,16 \text{ kN}$$

Lujuuslaskennassa käytetään siis  $L_S = 4,99 \text{ kN}$  ja  $L_B = 6,16 \text{ kN}$ , jotka kuormittavat kellukkeita kuvan 9 mukaisesti.

### **Immersed loading /19/**

Immersed loading on sijoitettava ponttonin läpileikkauksen keskikohtaan 1/3 etäisyydellä keulasta (Bow) askelmalle (Step). Immersed loading - kuormitustilanne vastaa tilannetta, jossa koko ponttoni upotetaan veden alle ja se liikkuu kaikkien akseleidensa suhteen. Voimien komponentit lasketaan kaavoilla 2, 3, ja 4. Vertical tarkoittaa z-suuntaista, aft y-suuntaista ja side x-suuntaista voimaa, kuvien 9 ja 10 mukaisesti.

$$\text{vertical} = \rho \cdot g \cdot V \quad (2)$$

$$\text{aft} = \frac{C_x \cdot \rho \cdot V^{\frac{2}{3}} (K \cdot V_{S_z})^2}{2} \quad (3)$$

$$side = \frac{C_r \cdot \rho \cdot V^{2/3} (K \cdot V_{s_0})^2}{2} \quad (4)$$

$\rho$  = veden tiheys

$g$  = putoamiskiihtyvyyys ft/sec<sup>2</sup> (käytetään 10 m/s<sup>2</sup> = ft/sec<sup>2</sup>)

$V$  = ponttonin tilavuus, toisin sanoen ponttonin kantokyky

$C_x$  = vastuskerroin, 0.133

$C_y$  = ”sivuvastus” kerroin, 0.106

$K$  = kerroin, 0.8

Immersed loading – tilanteesta aiheutuvien kuormien komponentit saadaan, kun sijoitetaan arvot kaavoihin 2, 3, 4 ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 32,8 \text{ ft / s}^2$ ):

$$\begin{aligned} vertical &= 1,94 \cdot 32,8 \text{ ft / s}^2 \cdot 19,22 \text{ ft}^3 = 1223 \text{ lbf} = \\ &= 5,55 \text{ kN} \end{aligned}$$

josta saadaan pystysuuntainen suunnittelun murtokuorma

$$5,55 \text{ kN} \cdot 1,5 = 8,32 \text{ kN.}$$

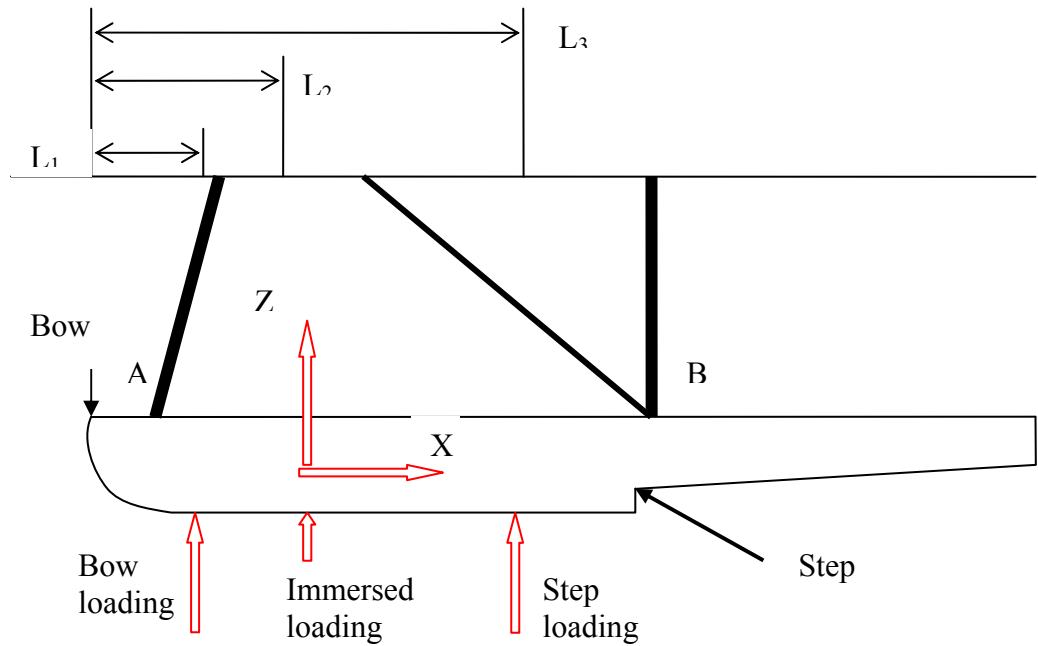
$$\begin{aligned} aft &= \frac{0,133 \cdot 1,940 \frac{\text{slugs}}{\text{ft}^3} \cdot (19,2 \text{ ft}^3)^{2/3} (0,8 \cdot 35,1 \text{ knots})^2}{2} = 729,9 \text{ lbf} \\ &= 3,31 \text{ kN,} \end{aligned}$$

josta saadaan pitkittäissuuntainen suunnittelun murtokuorma

$$3,31 \text{ kN} \cdot 1,5 = 4,97 \text{ kN.}$$

$$\begin{aligned} side &= \frac{0,106 \cdot 1,940 \frac{\text{slugs}}{\text{ft}^3} \cdot (19,2 \text{ ft}^3)^{2/3} (0,8 \cdot 35,1 \text{ knots})^2}{2} = 581,7 \text{ lbf} \\ &= 2,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

josta saadaan sivuttaissuuntainen suunnittelun murtokuorma  $2,64 \text{ kN} \cdot 1,5 = 3,96 \text{ kN}$ . Lujuuslaskennassa käytetään siis kuormia  $5,55 \text{ kN}$ ,  $4,97 \text{ kN}$  ja  $3,96 \text{ kN}$ , jotka kuormittavat kellukkeita kuvien 9 ja 10 mukaisesti.



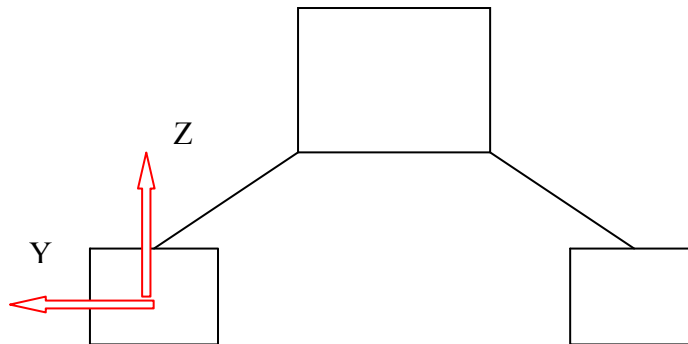
**Kuva 9** X ja Y- suuntaiset kuormat

Kuvassa 9 esitettyjen kuormitusten sijainnit ovat:

$L_1 = 1/4$  etäisyydellä keulasta (Bow) askelmaan päin (Step)

$L_2 = 1/3$  etäisyydellä keulasta askelmaan päin

$L_3 = 3/4$  etäisyydellä keulasta askelmaan päin



**Kuva 10.** Y ja Z-suuntaiset kuormat

### Step landing /20/

Step landing -tilanteessa lasketaan vesikuormituskerroin ponttonin askelman (Step) kohdalle, joka syntyy laskeutumistilanteessa kun vesikosketus tapahtuu ponttonien keskikohdalle. Vesikuormituskerroin kerrotaan lentokoneen kokonaispainolla, josta saadaan step landing kuormitus, joka vaikuttaa kuvan 11 mukaiseen kohtaan. Vesikuormituskerroin lasketaan kaavan 5 mukaisesti.

$$n_w = \frac{C_1 V_{s_0}^2}{(\tan^{2/3} \beta) W^{1/3}} \quad (5)$$

Käyttämällä aiempien kaavojen tekijöitä saadaan:

$$n_w = \frac{0,012 \cdot (35,1 \text{ kts})^2}{\tan^{2/3} 0,42 \cdot (551,15 \text{ lbs})^{1/3}} = 3,09$$

$$\text{Rajakuorma} = n_w \cdot 551,15 \text{ lbs} \cdot 32,8 \text{ ft} / \text{s}^2 = 7,73 \text{ kN}$$

josta saadaan suunnittelun murtokuorma step landing -tilanteessa  $7,73 \text{ kN} \cdot 1,5 = 11,59 \text{ kN}$ .

### Bow and stern landing /20/

Bow ja stern landing – tilanteissa lentokone laskeutuu epänormaalissa asennossa ja vesikosketus tapahtuu ponttonien etu- tai takaosaan, kuvan 11 mukaisesti. Vesikuormituskerroimet ponttonin keulan (Bow) ja perän (stern) kohdille lasketaan kaavan 6 mukaisesti.

$$n_w = \frac{C_1 V_{S_0}^2}{(\tan^{2/3} \beta) W^{1/3}} \times \frac{K_1}{(1 + r_x^2)^{2/3}} \quad (6)$$

$n_w$  = vesikuormituskerroin (veden vaikutus jaettuna vesilentokoneen painolla)

$C_1$  = kokemusperäinen kerroin, 0,012

$V_{S_0}$  = vesilentokoneen sakkausnopeus (knots), laipat 2-asennossa (42°)

$\beta$  = siiven ja ponttonin yläpinnan välinen kulma

$W$  = suunniteltu vesilentokoneen laskeutumispaino

$K_1$  = kokemusperäinen rungon aseman punnituskerroin

$r_x$  = ponttonin vaakaetäisyys (X-suunnassa) painopisteestä jaettuna ponttonin pyörimissäde painopisteen suhteen (pitch)

Sijoittamalla arvot kaavaan 6 saadaan vesikuormituskerroin stern landing - tilanteessa:

$$n_w = \frac{0,012 \cdot (35,1 \text{ kts})^2}{\tan^{2/3} 0,40 \cdot (551,15 \text{ lbs})^{1/3}} \cdot \frac{0,8}{(1 + 0,51^2)^{2/3}} = 2,18$$

$$\text{Rajakuorma} = n_w \cdot 551,15 \text{ lbs} \cdot 32,8 \text{ ft/s}^2 = 5,47 \text{ kN}$$

josta saadaan suunnittelun murtokuorma stern landing tilanteessa

$$5,47 \text{ kN} \cdot 1,5 = 8,21 \text{ kN}.$$

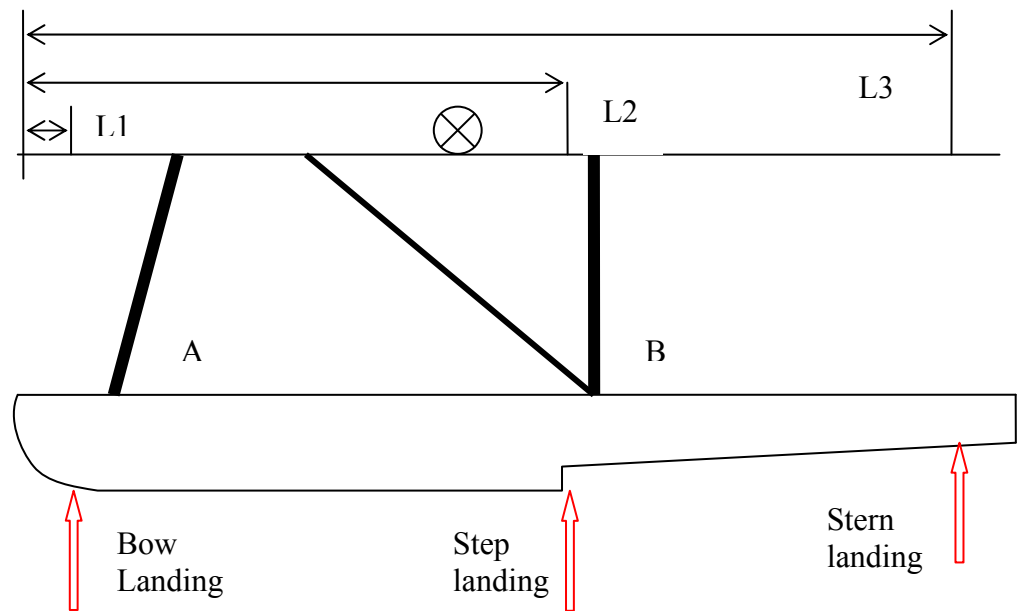
Sijoittamalla arvot kaavaan 6 saadaan vesikuormituskerroin bow landing – tilanteessa:

$$n_w = \frac{0,012 \cdot (35,1 \text{ kts})^2}{\tan^{2/3} 0,31 \cdot (551,15 \text{ lbs})^{1/3}} \cdot \frac{0,8}{(1 + 0,7^2)^{2/3}} = 2,34$$

$$\text{Rajakuorma} = n_w \cdot 551.15 \text{ lbs} \cdot 32,8 \text{ ft/s}^2 = 5,85 \text{ kN}$$

Josta saadaan suunnittelun murtokuorma bow landing tilanteessa

$$5,85 \text{ kN} \cdot 1,5 = 8,77 \text{ kN.}$$



**Kuva 11** Laskeutumistilanteissa syntyvien kuormien kohdat

Kuvan mukaiset pituudet ovat:  $L_1 = 426 \text{ mm}$ ,  $L_2 = 2130 \text{ mm}$  ja  $L_3 = 4170 \text{ mm}$ .

### Take off loading /21/

EASA:n mukaan lentoonlähtötilanteessa pitää huomioida inertia eli jatkuvuusvoima, joka aiheuttaa alaspäin suuntautuvan kuormituksen immersed loading -kohtaan (kuva 9). Tilanteessa oletetaan, että

aerodynaaminen nostovoima on nolla. Inertiakuormituskerroin lasketaan kaavan 7 mukaisesti:

$$n = \frac{C_{TO} V_{SI}^2}{(\tan^{2/3} \beta) W^{1/3}} \quad (7)$$

$n$  = inertian kuormituskerroin

$C_{TO}$  = kokemusperäinen kerroin, 0,004

$V_{SI}$  = vesilentokoneen sakkausnopeus (knots), laipat 2-asennossa (42°)

$\beta$  = siiven ja ponttonin yläpinnan välinen kulma

$W$  = suunniteltu vesilentokoneen suurin lentoonlähtöpaino

Inertiakuormituskertoimen avulla voidaan laskea alaspäin suuntautuvan inertiaivoiman suuruus kertomalla kaava 7 lentokoneen kokonaispainolla.

$$n = \frac{0,004 \cdot (35,1kts)^2}{\tan^{2/3} 0,26 \cdot 551,15lbs^{1/3}} = 1,45$$

$$\text{Rajakuorma} = n \cdot 551,15 \text{ lbs} \cdot 32,8 \text{ ft} / \text{s}^2 = 3,62 \text{ kN}$$

josta saadaan suunnittelun murtokuorma lentoonlähtötilanteessa

$$3,62 \text{ kN} \cdot 1,5 = 5,42 \text{ kN}.$$

Saadut suunnittelun murtokuormat ovat minun mielestä hyvin realistiset. Huomataan, että Bow ja Stern landing tapauksissa kuormat aiheuttavat suuren voiman kiinnitysrakenteeseen pitkän vipuvarren ansiosta.

## 6 LENTOKONEEN SUORITUSKYKYARVIO

Lentokoneen suoritusarvotarkastelussa tutkitaan koneen operointikykyä eli lentäjälle tärkeitä lento-ominaisuuksia. Lentokoneen tärkeät lento-ominaisuudet ovat esimerkiksi sakkausnopeus, kohoamisnopeus, pienin vajoamisnopeus, kantama ja toiminta-aika. Ikaruksen lento- ja käyttöohjekirjasta löytyvät lentäjälle oleellisemmat suorituskykyarvot.

Suorituskykytarkasteluissa selvitetään usein lentokoneen suorituskykyarvorajoja, kuten pienin ja suurin lentonopeus ja sakkausnopeus. Tässä tapauksessa tulee tarkastaa kuinka ponttonit muuttaa Ikaruksen suorituskykyä. Lentokoneen suorituskykyarvot riippuvat koneen aerodynaamisista ominaisuuksista, työntövoimasta ja koneen painosta ja siksi näitä tekijöitä tulee tutkia miten ne vaikuttavat lentokoneen suorituskykyarvoihin. Aerodynaamisella ominaisuudella tarkoitetaan lähinnä lentokoneen vastuksen ja nostovoiman välistä suhdetta. /1, s.319).

Lentokoneen suorituskykyarvotarkastelussa tulee konetta käsitellä jäykkänä kappaleena, johon vaikuttaa neljä ulkoista voimaa: nostovoima  $L$ , vastus  $D$ , työntövoima  $T$  ja paino  $M$ . Laskuissa kuvitellaan lentokoneen olevan paikoillaan ilman virratessa sen ympäri. Tämän takia nopeudella tarkoitetaan yleensä ilmanopeutta eikä lentokoneen nopeudetta. Koneen aerodynaamiset yksityiskohdat eivät ole tärkeitä, vaan tärkeätä on tutkia koko koneen nostovoiman ja vastuksen suhdetta eri tilanteissa. Näitten suuruuksia voidaan tarkastella tietämällä koko koneen vastuspolaari./1, s. 331/

Liitoluku on yksi tärkeimmistä aerodynaamisista hyvyyden mitoista, koska se vaikuttaa merkittävästi lentokoneen muihin lento-ominaisuuksiin. Liitoluku kertoo, kuinka pitkälle lentokone liittää tietystä korkeudesta. Lentokoneen vastuksen kasvu pienentää lentokoneen liito-suhdetta. Tässä tapauksessa tulee nyt tarkastaa, väheneekö Ikaruksen liitoluku kohtuuttomasti, ja miten se

vaikuttaa lentokoneen muihin suorituskykyihin. Ikaruksen liitoluku on parhaimmillaan 11 /1, s. 334/.

## 6.1 Vertailu

Suorituskykyarvio tehdään kahdelle kuvitteelliselle Ikarus-mallille: pyöräkoneelle (360 - 500 kg) ja amfibio-koneelle (500kg). Tarkastelujen jälkeen pyöräkoneen saatuja tuloksia verrataan valmistajan antamiin tietoihin. Tämä on hyvin tärkeä osa arviota, koska se antaa karkean näkemyksen siitä, kuinka iso ero on todellisilla ja lasketuilla arvoilla. Pyöräkoneelle on pyritty aina käyttämään samoja lähtöarvoja kuin valmistajan antamilla suoritusarviolla olevalla koneella. Tämän jälkeen verrataan amfibio-koneen saatuja arvoja pyöräkoneen saatuihin arvoihin, jolloin nähdään, kuinka suuri vaikutus amfibio-ponttoneilla on lentokoneen suorituskykyyn. Toisin sanoen valmistajan ilmoittamat suoritusarvot toimivat referenssinä pyöräkoneelle, ja pyöräkone toimivat referenssinä amfibio-koneelle.

Päätin tehdä vertailun tällä tavalla, koska koskaan ei saa olettaa, että laskemalla saadaan todellisia arvoja. Esimerkiksi lentokoneelle laskettu sakkausnopeus ei vastaa lentokoneen todellista sakkausnopeutta. Olisin myös hyvin voinut tehdä suorituskykyarvion amfibio-koneelle ja verrata saatuja arvoja ainoastaan valmistajan ilmoittamiin suorituskykyarvoihin, tarkistamatta ovatko laskut yhtään luotettavia. Helpoin tapa tehdä olisi ollut vain tehdä suorituskykyarvio amfibio-koneelle ja uskoa sokeasti, että se pitää myös paikkaansa.

Vertailu valmistajan antamiin suoritusarvoihin ei ole kuitenkaan helppoa, koska valmistaja harvoin ilmoittaa missä asetuksissa ja olosuhteissa kyseinen suorituskyky on ilmoitettu. Esimerkiksi moottoreiden ja potkureiden yhdistelmiä on olemassa monta eri vaihtoehtoa, jotka vaikuttavat suoraan

lentokoneen työntövoimaan. Myös lentokoneen painolla ja ilmantheydellä on paljon vaikutusta tarkastelussa.

Voidaan jo tässä vaiheessa todeta, että vain työntövoima pysyy samana, kun paino ja aerodynaamiset ominaisuudet muuttuvat. Lentokone muuttuu aerodynaamisesti vain sillä tavalla, että sen vastus kasvaa amfibio-ponttonien takia. Tulee huomioida myös kellukkeiden kiinnitystelineiden aiheuttama vastus, jonka määrittäminen on huomattavasti vaikeampaa kuin ponttonien vastuksen tarkastelussa. Amfibio-koneen suurin sallittu lentoonlähtöpaino kasvaa, koska amfibio-ponttonit lisäävät painoa merkittävästi. Tämä on sallittua, koska amfibio-koneella maksimi lentoonlähtöpainoraja kasvaa 450 kilosta 500 kiloa eli uusi maksimi lentoonlähtöpaino on 500 kg /10/.

## 6.2 Ilmanopeus /1, s.51-53/

Normaalisti vertailussa ei voida suoraan verrata laskettuja nopeuksia, jotka ovat ns. tosi-ilmanopeuksia  $V_{TAS}$ , lähteiden antamiin lentonopeuksiin, jotka ovat nopeusmittarin näyttämiä nopeuksia  $V_{ASIR}$ . Jotta vertailu olisi mahdollista, on selvitettävä näitten kahden nopeuden aiheuttamat erot.

$V_{TAS}$  ero  $V_{ASIR}$  johtuu neljästä eri tekijästä: mittarin sisäisistä virheistä, paikkavirheestä, puristuvuudesta korkealla ja ilman tiheydestä. Kun yhden virheen ottaa huomioon kerralla, saadaan uusi nopeus. Esimerkiksi, kun  $V_{ASIR}$  lasketaan pois mittarin sisäiset virheet, saadaan indikoitu nopeus  $V_{IAS}$ . Usein lentokoneissa mittarin sisäiset virheet ovat niin pieniä, että  $V_{ASIR}$  pidetään samana kuin  $V_{IAS}$  ( $V_{ASIR} = V_{IAS}$ ). Kun indikoidusta nopeudesta  $V_{IAS}$  lasketaan pois paikkavirhe, saadaan kalibroitu ilmanopeus  $V_{CAS}$ . Paikka virhe syntyy, kun lentokone vaikuttaa staattisen paineen mittaukseen. Paikkavirhe on tyyppikohtainen, ja se joudutaan selvittämään usein koelennon aikana. Kun kalibroidusta nopeudesta lasketaan pois korkeuden vaikutus, saadaan

ekvivalentti ilmanopeus  $V_{EAS}$ . Viimeiseksi ekvivalentti ilmanopeuden  $V_{EAS}$  ja tosi-ilmanopeuden  $V_{TAS}$  välinen ero johtuu ilman tiheydestä. Näitä kaikkia nopeuksia ei käydä läpi tarkemmin, koska ne eivät vaikuta oleellisesti vertailuun.

Kun lennetään hitaalla koneella (<360 km/h) ja lähellä meren pinnan tasalla, on indikoitu nopeus  $V_{IAS}$  sama kuin tosi-ilmanopeus  $V_{TAS}$ . Koska tässä tapauksessa suorituskykytarkastelu tehdään merenpinnantasolla, ja Ikaruksen lentonopeus ( $V_{NE}=202$  km/h) ei ole päätä huimaava, voin verrata suoraan laskettuja nopeuksia lähteiden antamiin nopeuksiin.

Kaikesta huolimatta on kuitenkin ohjaajan kannalta hyvä, että nopeusmittari näyttää indikoitua nopeutta eikä tosi-ilmanopeutta, koska aerodynaamiset voimat riippuvat suurelta osin ekvivalenttinopeudesta  $V_{EAS}$ .

## 7 PARHAAN LIITOLUVUN TARKASTELU

Suorituskykytarkastelussa on oleellista tuntea lentokoneen paras liitoluku  $E_{max}$ . Koska pyöräkoneen paras liitoluku on jo tiedossa, tulee seuraavaksi selvittää amfibio-koneen paras liitoluku. Amfibio-koneen paras liitoluku voidaan laskea kaavalla 8:

$$E_{max} = \frac{1}{2\sqrt{K \cdot C_{D0}}} \quad (8)$$

jossa  $K$  on nostovoimasta riippuvan vastuskertoimen tekijä ja  $C_{D0}$  on nostovoimasta riippumaton vastuskerroin (nollavastuskerroin) /1, s.335/. Jotta amfibio-koneen paras liitoluku voitaisiin laskea, tulee ensin selvittää  $K$  ja  $C_{D0}$ .

Nostovoimasta riippuvan vastuskertoimen tekijä  $K$  voidaan laskea kaavalla 9 /1, s.332/. Tekijä  $K$  on kullekin lentokoneelle alisoonisessa nopeusalueessa vakio ja laskettavissa kaavasta 9. Kaavassa 9 on niin sanottu Oswaldin kerroin  $e$ , joka on tyypillisesti 0,6 – 0,9. Päätin käyttää Oswaldin kerrointa 0,85, koska se on tyypillinen kerroin pienlentokoneelle. Tekijä  $K$  riippuu myös siiven sivusuhteesta  $A$  /1, s.133/. Tekijän  $K$  ja sivusuhteen  $A$  kaavat näyttävät seuraavilta:

$$K = \frac{1}{e \cdot \pi \cdot A} \quad (9)$$

$$A = \frac{b^2}{S} \quad (10)$$

jossa  $b$  on lentokoneen jänteen pituus ja  $S$  on siiven pinta-ala. Ikarus C42 - lentokoneen jänne on 9,45 m ja siipipinta-ala on 12,5 m<sup>2</sup> /2/.

Lasketaan ensin sivusuhte  $A$  kaavalla 10, jonka jälkeen voidaan laskea  $K$ :

$$A = \frac{b^2}{S} = \frac{(9,45m)^2}{12,5m^2} = 7,144$$

$$K = \frac{1}{e \cdot \pi \cdot A} = \frac{1}{0,85 \cdot 3,14 \cdot 7,144} = 0,052$$

Nyt kun sivusuhte  $A$  ja kerroin  $K$  on laskettu, voidaan laskea amfibio-koneen arvioitu nollavastuskerroin  $C_{D0}$ . Amfibio-koneen vastus saadaan kun selvitetään vastukset koko koneelle, laskutelineelle, amfibio-ponttonin kiinnitystelineelle ja amfibio-ponttoneille. Koko koneen vastuksesta poistetaan ensin laskutelineitten aiheuttama vastus, jonka jälkeen lisätään amfibio- kiinnitystelineen ja -ponttonien aiheuttama vastus.

## 7.1 Pyöräkoneen vastus

Jotta voidaan laskea pyöräkoneen vastus ilman laskutelineitä, tulee ensin laskea koko koneen vastus, minkä jälkeen lasketaan laskutelineitten aiheuttama vastus. Kun laskutelineitten vastus on tiedossa, voidaan pyöräkoneen vastuksesta poistaa laskutelineitten vastus. Ikaruksen nollavastuskerroin  $C_{D0}$  voidaan laskea kaavalla 11, joka on saatu käyttämällä kaavaa 8:

$$C_{D0Ikarus} = \left( \frac{1}{E_{\max} \cdot 2 \cdot \sqrt{K}} \right)^2 \quad (11)$$

Lasketaan nykyisen Ikaruksen  $C_{D0}$  kaavalla 11:

$$C_{D0Ikarus} = \left( \frac{1}{E_{\max1} \cdot 2 \cdot \sqrt{K}} \right)^2 = \left( \frac{1}{11 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,052}} \right)^2 = 0,040$$

Tämä vastus kuvaa koko koneen vastusta. Seuraavaksi lasketaan laskutelineitten ja pyörien aiheuttama vastus.

## 7.2 Laskutelineen ja pyörien vastus

Laskutelineen ja pyörien aiheuttamavastus lasketaan eri tavalla kuin pyöräkoneen vastus. Tässä tapauksessa lasketaan kunkin osan nollavastuksen osuus koko koneen nollavastuksesta erikseen. Tietyn osan nollavastuksen osuus koko koneen nollavastuksesta voidaan laskea kaavalla 12:

$$C'_{D0F} = \frac{S_F}{S} \cdot C_{D0F} = \frac{S_F}{S} \cdot \frac{C_{DF}}{2} \quad (12)$$

jossa  $C_{D0F}$  on tutkittavan osan nollavastuskerroin,  $S_F$  on osan peittämä poikkipinta-ala ja  $S$  on lentokoneen siipipinta-ala /1, s177/. Laskuja helpottaa se, että tiedetään, että parhaassa liidossa vastuskerroin on kaksi kertaa suurempi kuin nollavastuskerroin eli nollavastuskerroin on puolet vastuskertoimesta ( $C_{D0} = C_D/2$ ) / 20, s.190-191/.

Ikaruksen laskuteline koostuu monesta eri profiilista putkista, ja nokkatelineen putken päälle on laitettu aerodynaaminen muotosuoja. Tämä tekee tarkan vastuksen laskemisesta kovin työlästä, koska kaikilla muodoilla on eri vastuskerroin. Päätin kuitenkin tehdä karkean arvion laskutelineen vastuksesta, kuvittelemalla kaikkien putkien, paitsi pystyputkien, olevan muotoprofiilia. Tämän profiilin vastuskertoimeksi päätin käyttää arvoa  $C_{DF1} = 0,2$ , koska sillä on muotoputkista suurin vastuskerroin /1, s.442/. Pystyputkien vastus otetaan huomioon pyörien vastustusta laskettaessa.

Laskutelineen peittämä pinta-ala  $A$  lasketaan kertomalla muotoputken leveys  $t$  putken pituuteen  $l$ . Putkien pituudeksi arvion olevan yhteensä n. 4,0 m ja leveydeksi 0,03 m. Näillä arvoilla saadaan  $A = 0,12m^2$ . Nyt kun tiedossa on laskutelineitten peittämä pinta-ala  $S_F$  ja nollavastuskerroin  $C_{D0F}$ , voidaan laskea telineen vastuksen osuus koko koneen vastuksesta kaavalla 12:

$$C'_{D0F1} = \frac{S_F}{S} \cdot \frac{C_{DF1}}{2} = \frac{0,12m^2}{12m^2} \cdot \frac{0,2}{2} = 0,0010$$

Nähdään, että telineen osuus Ikaruksen kokonaisvastuksesta ei ole kovin suuri, n. 2,5 %. Laskutelineen osuus on vielä hyvin pieni, koska pyörien aiheuttamaa vastusta ei ole vielä otettu huomioon. Pyörän osuus kokonaisvastuksesta lasketaan samalla tavalla kuin telineen tapauksessa. Päätin valita takapyörien vastuskertoimeksi arvon, jossa saan huomioitua samalla myös muotosuojan ja pystyputket. Takapyörien vastuskertoimeksi sain  $C_{DF2} = 0,23$  ja nokkapyörän vastuskertoimeksi  $C_{DF3} = 0,12$  /1, s.426-427/.

Takapyörrien referenssipinta-ala kerrotaan kahdella, jotta saadaan molemmat pyörät otettua huomioon. Pyörien referenssipinta-ala lasketaan kertomalla renkaan leveys halkaisijalla. Ikaruksen pyörien mitat ovat tuumina 8x11". Pyörien referenssipinta-alaksi saadaan seuraavat arvot:

$$\text{Takapyörät: } S_{F2} = 2 \cdot b \cdot d = 2 \cdot 8'' \cdot 11'' = 176 \text{in}^2 = 0,1135 \text{m}^2$$

$$\text{Nokkapyörä: } S_{F3} = b \cdot d = 8'' \cdot 11'' = 88 \text{in}^2 = 0,057 \text{m}^2$$

Pyörien vastuksien osuus Ikaruksen kokonaisvastuksesta ovat seuraavat:

$$\text{Takapyörät: } C'_{D0F2} = \frac{S_{F2}}{S} \cdot \frac{C_{DF2}}{2} = \frac{0,1135 \text{m}^2}{12 \text{m}^2} \cdot \frac{0,23}{2} = 0,0010$$

$$\text{Nokkapyörä: } C'_{D0F3} = \frac{S_{F3}}{S} \cdot \frac{C_{DF3}}{2} = \frac{0,057 \text{m}^2}{12 \text{m}^2} \cdot \frac{0,12}{2} = 0,0003$$

Nähdään, että takapyörän vastuksen osuus ei ole päätä huimaava, mutta verrattaessa laskutelineen osuuteen se on yhtä suuri, mikä on aika yllättävää. Tämä on kuitenkin tosiasia useimmissa lentokoneissa. Nähdään, että nokkapyörän vastus on melkein mitätön osa Ikaruksen kokonaisvastuksesta.

Lasketaan kaikki laskutelineen vastuksen osuudet yhteen ja verrataan sitä summaa Ikaruksen kokonaisvastukseen.

$$C_{D0Laskuteline} = C_{D0F1} + C_{D0F2} + C_{D0F3}$$

$$= 0,0010 + 0,0010 + 0,0003 = 0,0023$$

$$\frac{0,0023}{0,04} \cdot 100\% = 5,75\%$$

Laskutelineiden osuus koko koneen kokonaisvastuksesta on yllättävän pieni. Olisin itse veikannut sen olevan vähintään 10 % luokkaa. Toisaalta Ikaruksen laskuteline on hyvin aerodynaaminen muotosuojien ansiosta, ja laskuteline on kooltaan hyvin matala eli putkien kokonaispituus jää hyvin lyhyeksi.

Nyt kun tiedetään laskutelineen kokonaisvastus, voidaan laskea se pois Ikaruksen kokonaisvastuksesta, jolloin saadaan Ikaruksen kokonaisvastus ilman laskutelineitä.

$$\begin{aligned} C_{D0Ikarus2} &= C_{D0Ikarus1} - C_{D0Laskuteline} = 0,04 - 0,0023 \\ &= 0,0377 \approx 0,038 \end{aligned}$$

Tähän kokonaisvastukseen lisätään amfibio-ponttonien kiinnitystelineiden ja itse ponttonien vastus, jolloin saadaan amfibio-koneen kokonaisvastus.

### 7.3 Amfibio-ponttonin kiinnitystelineen vastus

Ponttonin kiinnitystelineiden aiheuttama vastuksen tarkasteluun tarvitaan sylinterin vastuskerroin, joka riippuu Reynoldsin luvusta. Vastuskerroin saadaan, kun ensin selvitetään sylinteriputkelle Reynoldsin luku. Reynoldsin luku on ennen kuin voidaan selvittää ympyräputken vastuskerroin. Reynoldsin luku lasketaan saman kirjan mukaan kaavalla 14, missä  $U_\infty$  on tulovirtauksen nopeus,  $l$  on pituus virtaussuunnassa ja  $\nu$  on kinemaattinen viskositeetti. Kinemaattinen viskositeetti ilmalle on merenpinnan tasolla  $\nu=15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  /1, s.30 - 32/.

$$\text{Re} = \frac{U_\infty l}{\nu} \quad (14)$$

Koska ponttonin kiinnitysteline koostuu putkista, tarkoittaa pituus virtaussuunnassa tässä tapauksessa putken halkaisijaa. Käytetään laskuissa putken halkaisijaa varmuuden vuoksi 20 ja 30 mm, koska ponttonin kiinnitystelineessä käytetään putkia, joitten halkaisijat vaihtelevat 25 - 30 mm. Tulovirtauksen nopeudeksi valitsen 61 km/h (17 m/s) ja 226 km/h (63 m/s), koska nämä ovat Ikaruksen lentonopeuden ääriarvoja. Käyttämällä halkaisijan ja lentonopeuden ääriarvoja, saadaan laskettua suurin ja pienin Reynoldsin luku. Lasketaan Reynoldsin luku kaavalla 14 käyttämällä edellä mainittuja arvoja:

$$\text{Re}_{\max} = \frac{U_{\infty} l}{\nu} = \frac{65 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,03\text{m}}{15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 1,3 \cdot 10^5$$
$$\text{Re}_{\min} = \frac{U_{\infty} l}{\nu} = \frac{17 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,02\text{m}}{15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 2,2 \cdot 10^4$$

Huomataan, että Reynoldsin luku osuu kohtaan, jossa vastuskerroin pysyy suunnilleen vakiona. Näistä kahdesta Reynoldsin luvuista nähdään, että saatu vastuskerroin on 1,1. Valitaan vastuskertoimeksi  $C_D = 1,1 / 1$ , s. 76/.

Koska ponttonin kiinnitystelineiden vastus lasketaan kaavan 12 mukaan, pitää putkien peittämä pinta-ala tietää. Oman arvion mukaan putkien kokonaispituus on 12 m, jota kuvitellaan olevan yhtä putkea. Tämän putken peittämä pinta-ala lasketaan kertomalla sen kokonaispituus putken halkaisijalla. Putkien halkaisijan määrittäminen osoittautui vaikeaksi, koska jokaisella putkella oli eri halkaisija. Päätin kuitenkin varmuuden vuoksi laskea pinta-alan 0,03 m halkaisijalle, koska tämä oli kaikista suurin halkaisija. Näin ponttonin kiinnitystelineen peittämäksi pinta-alaksi tulee:

$$A = S_{\text{Kiinnitysteline}} = \text{kokonaispituus} \cdot \text{leveys} = 12\text{m} \cdot 0,03\text{m} = 0,36\text{m}^2$$

Huomataan, että putkien peittämä pinta-ala on melkein yhtä suuri kuin kahden ponttonin peittämä pinta-ala, joka on  $0,4 \text{ m}^2$ .

Seuraavaksi lasketaan kiinnitystelineen nollavastuskerroin verrattuna koko koneen nollavastuskertoimeen käyttämällä kaavaa 12:

$$C_{D0\text{Kiinnitysteline}} = \frac{S_{\text{Kiinnitysteline}}}{S_{\text{Siipi}}} \cdot \frac{C_{D\text{Kiinnitysteline}}}{2} = \frac{0,36\text{m}^2}{12\text{m}^2} \cdot \frac{1,1}{2} = 0,016$$

Kun kiinnitystelineen vastus tiedetään, tarvitsee enään amfibio-ponttonien vastus laskea.

## 7.4 Amfibio-ponttonien vastus

Amfibio-ponttonien vastus koko koneen vastuksesta lasketaan samalla kaavalla (kaava 12) kuin kiinnitystelineen vastus. Laskua varten tarvitsee ensin selvittää ponttonin poikkileikkauspinta-ala,  $S_{\text{Ponttoni}}$  ja vastuskerroin  $C_{D\text{Ponttoni}}$ . Ponttonin poikkileikkauspinta-ala on mahdoton mitata tarkasti, koska ponttonin muoto on epäsäännöllinen. Kuvitellaan kuitenkin poikkileikkauspinta-ala suorakaiteeksi, jonka korkeus on  $0,4 \text{ m}$  ja leveys  $0,5 \text{ m}$  mitattuna paksuimmasta kohdasta. Näin poikkileikkauspinta-alaksi  $S_{\text{Ponttoni}}$  tulee  $0,2 \text{ m}^2$ . Ponttonille vastuskerroin on  $C_{D\text{Ponttoni}} = 0,22$  /1, s. 424/. Koska ponttoneita on kaksi kappaletta, tulee amfibio-ponttonien nollavastuskertoimen laskussa käyttää kahden ponttonin peittämää poikkipinta-alaa. Nyt tarvitsee vain laskea ponttonien nollavastuskertoimien osuus koko koneen nollavastuksesta, jolloin saadaan amfibio-koneen nollavastuskerroin laskettua yhteen. Ponttonin nollavastuskerroin osuus koko koneen nollavastuskertoimesta saadaan samalla tavalla kuin edellisessä tapauksessa:

$$C_{D0Ponttonit} = \frac{2 \cdot S_{Ponttoni}}{S_{Siipi}} \cdot \frac{C_{DPonttoni}}{2} = \frac{2 \cdot 0,20m^2}{12m^2} \cdot \frac{0,22}{2} = 0,0035$$

Nyt kun tiedetään koko koneen vastus ilman laskutelineitä, kiinnitystelineen vastus ja itse ponttonien vastus, voidaan laskea amfibio-koneen vastus, joka koostuu näistä kaikista vastuksista.

## 7.5 Amfibio-koneen vastus

Amfibio-koneen nollavastuskerroin voidaan helposti laskea yhteen, kun tiedetään kaikki sen nollavastuskertoimien osuudet. Laskemalla nämä kaikki yhteen saadaan amfibio-koneen nollavastuskerroin.

$$\begin{aligned} C_{D0Amfibio-kone1} &= C_{D0Ikarus} + C_{D0Kiinnitysteline} + C_{D0Ponttonit} \\ C_{D0Amfibio-kone1} &= 0,038 + 0,016 + 0,0035 = 0,0575 \approx 0,058 \end{aligned}$$

Nyt kun amfibio-koneen nollavastuskerroin on tiedossa, voidaan laskea tälle paras liitoluku kaavalla 8. On tietysti oletettavaa, että tässä tapauksessa amfibio-koneen paras liitoluku laskee huomattavasti pyöräkoneeseen verrattuna.

$$E_{\max 2} = \frac{1}{2\sqrt{K \cdot C_{D0}}} = \frac{1}{2\sqrt{0,052 \cdot 0,058}} = 9,1$$

Pienlentokoneella tyypillinen liitoluku on 8 ja 11 välillä eli amfibio-koneen paras liitoluku pysyy vielä suhteellisen hyvänä /1, s.192/.

## 7.6 Liitoluku laskusiivekkeet keskiasennossa

Koska Ikaruksen tarkastelu tapahtuu käyttäen laskusiivekkeitä eri asennoissa, on myös pakko laskea Ikarukselle vastus, kun laskusiivekkeet ovat keskiasennossa. Laskusiivekkeiden käyttö lisää nostovoimaa oman aerodynaamisuuden kustannuksella, toisin sanoen vastus kasvaa samalla kun nostovoima kasvaa /1, s.188/.

Ikaruksen vastus voidaan laskea kun tiedetään sen liitoluku laskusiivekkeiden ollessa keskiasennossa. Liitoluku voidaan laskea, kun tiedetään sen ratanopeus ja pienin vajoamisnopeus. Liitoluvun yhtälö saadaan, kun pienimmän vajoamisnopeuden kaavasta johdetaan tekijä  $E_{max}$ . Kyseinen yhtälö käyttää referenssinopeutta  $V_{ref}$ , joka voidaan laskea, kun tiedetään pienimmän vajoamisen ratanopeus  $V_{Cmin}$ :

$$V_{Cmin} = \frac{V_{ref}}{\sqrt[4]{3}} \rightarrow V_{ref} = V_{Cmin} \cdot \sqrt[4]{3}$$

Näin saadaan liitoluvun yhtälöstä seuraavan näköinen:

$$E_{max} = -\frac{2 \sqrt[4]{3} \cdot V_{ref}}{3 C_{min}} = -\frac{2 \sqrt[4]{3} \cdot V_{Cmin} \cdot \sqrt[4]{3}}{3 C_{min}} = -\frac{2 \sqrt{3} \cdot V_{Cmin}}{3 C_{min}} \quad (15)$$

jossa  $V_{Cmin}$  on vajoamisen ratanopeus ja  $C_{min}$  pienin vajoamisnopeus /1, s.340/.

Ikaruksen pienin vajoamisnopeus  $C_{min}$  on -2 m/s lentonopeudella  $V_{Cmin} = 85$  km/h, kun laskusiivekkeet ovat keskiasennossa /22, s.22/. Näillä tiedolla lasketaan Ikaruksen liitoluku kun laskusiivekkeet ovat keskiasennossa:

$$E_{\max} = -\frac{2}{3} \frac{\sqrt{3} \cdot V_{C_{\min}}}{C_{\min}} = -\frac{2}{3} \frac{\sqrt{3} \cdot 23,6 \frac{m}{s}}{-2,0 \frac{m}{s}} = 13,63 \approx 14$$

Vastaava nollavastuskerroin voidaan laskea  $E_{\max 3}$ :lle kaavalla 12:

$$C_{D0Ikarus3} = \left( \frac{1}{E_{\max 3} \cdot 2 \cdot \sqrt{K}} \right)^2 = \left( \frac{1}{13,63 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,052}} \right)^2 = 0,026$$

Laskujen mukaan Ikaruksen vastus on pienempi käytettäessä laskusiivekkeitä, mikä on päinvastoin mitä oikeasti pitäisi tapahtua. Päätin laskea liitoluvun toisella tavalla käyttämällä vastuskertoimen yhtälöä, mutta vastauksena sain uudestaan liian hyvän vastuksen, minkä mukaan liitoluku on myös liian hyvä. Syy epätodellisiin tuloksiin johtuu lähteiden antamista arvoista /22, s.22/. Luultavasti tässä tapauksessa ratanopeus on liian suuri suhteessa vajoamisnopeuteen. Koska nämä arvot eivät ole luotettavia, päätin, että en tutki enempää laskusiivekkeiden aiheuttamaa lisävastusta. Tämän takia on oletettavaa, että tutkittaessa nousulentoa ja liukulentoa lasketut arviot eroavat lähteiden antamista arvoista. Tämä johtuu vastuksesta, jota ei voitu määrittää, kun lennetään nousu- tai liukulentoa.

## 8 IKARUKSEN VASTUSPOLAARI /1, s.186-188/

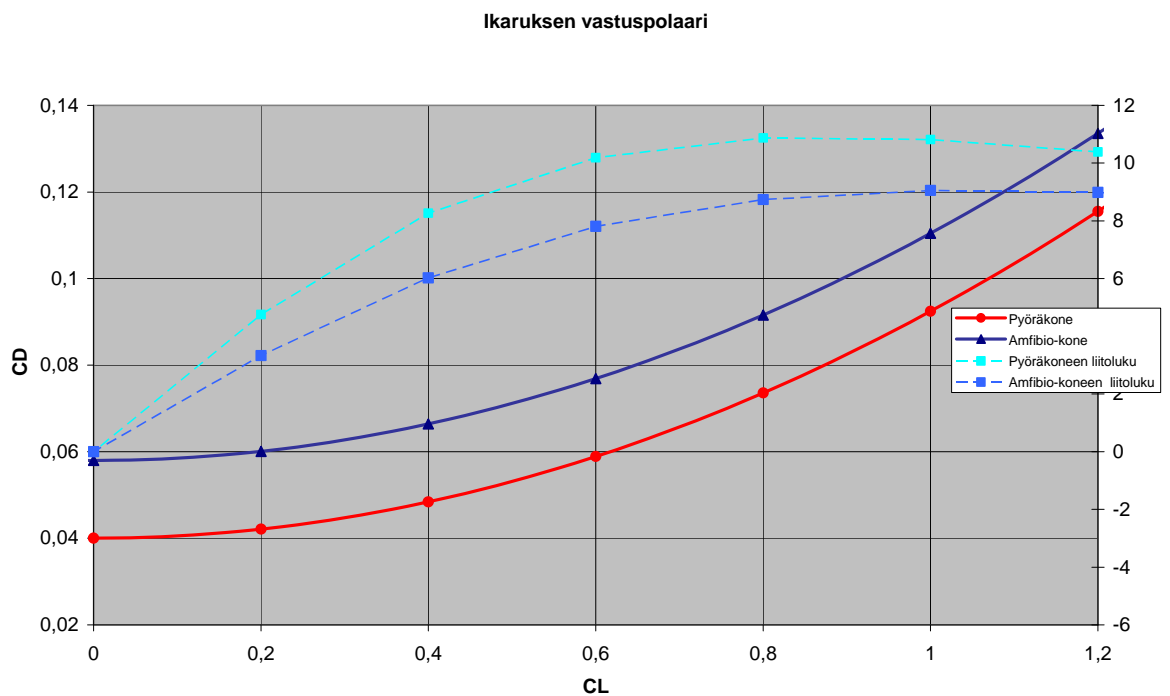
Lentokoneen vastuskertoimen  $C_D$  riippuvuutta nostovoimakertoimesta  $C_L$  kutsutaan koneen vastuspolaariksi. Vastuspolaarin tai polaarin tietäminen on tärkeätä, koska se vaikuttaa oleellisesti koneen suoritusarvoihin. Esimerkiksi tietämällä lentokoneen polaari voidaan määrittää liitoluvun maksimiarvo  $E_{\max}$ . Tämä on mahdollista, koska polaarin avulla voidaan selvittää, millä nopeudella vastus on pienin.

Vastuskertoimen riippuvuutta nostovoimakertoimesta voidaan esittää kaavalla 16 seuraavasti:

$$C_D = C_{D0} + C_{DL} = C_{D0} + KC_L^2 \quad (16)$$

Kaavasta 16 nähdään, että vastuskerroin riippuu kolmesta eri tekijästä. Ensimmäinen tekijä on nollavastuskerroin  $C_{D0}$ , toinen on nostovoimasta riippuvan vastuskertoimen tekijä  $K$  ja viimeinen tekijä on nostovoimakerroin  $C_L$ .

Koska nollavastuskerroin on riippumaton nostovoimasta, pysyy se aina vakiona olettaen, että lennetään alisiin alueella. Nostovoimasta riippuva vastuskerroin  $C_{DL}$  sen sijaan kasvaa nostovoimakertoimen  $C_L$  kasvaessa. Tämä vastuksen kasvu nähdään hyvin kuvassa 12 kun nostovoimakerroin kasvaa.



**Kuva 12** Ikaruksen vastuspolaari

Kuvassa 12 ei ole huomioitu Ikaruksen vastuspolaaria, kun laskusiivekkeet ovat keskiasennossa tai täysin alhaalla. Kuten jo edellä mainittu, käyttämällä laskusiivekkeitä lentokoneen vastus ja maksiminostovoimakerroin kasvaa huomattavasti, jonka mukaan myös vastuspolaari muuttuu. Koska laskusiivekkeiden vaikutusta ei voitu tutkia, on mahdotonta kuvailla polaarin käyttäytymistä käytettäessä laskusiivekkeitä.

Kuva 12 havainnollistaa hyvin vastus- ja nostovoimakertoimen suhdetta, mutta päätin kuitenkin olla käyttämättä sitä, koska käyttämällä edellä käytettyjä kaavoja saan paljon tarkempia laskuarvoja. Näitä kaavoja käsitellään tarkemmin nousu-, liuku- ja vaakalennon yhteydessä.

## 9 MOOTTORI-POTKURI-YHDISTELMÄ

Ennen varsinaisia tarkasteluita on syytä tutkia moottorivalmistajan antamia suoritusarvoja. Moottorin suoritusarvoja tarvitaan etenkin, kun tutkitaan vaaka- ja nousulentoa, jossa työntövoima on aina mukana vaikuttamassa tuloksiin. Tärkeitä suoritusarvoja ovat moottorin teho eri kierrosalueilla, polttoaineen ominaiskulutus ja propulsiivinen hyötysuhde. Polttoaineen ominaiskulutus  $b'$  ilmaisee, paljonko polttoainetta tarvitaan yhden tehoyksikön tuottamiseen tietyssä aikayksikössä. Propulsiivinen hyötysuhde  $\eta_{prop}$  kuvaa potkurista tulevan tehon ja moottorin antaman tehon suhdetta. Koska moottori-potkuri-yhdistelmässä käytetään alennusvaihdetta, ei voida pelkästään puhua potkurin hyötysuhteesta. Propulsiivinen hyötysuhde kuitenkin sisältää potkurin hyötysuhteen, joten sitä ei erikseen tarvitse tutkia./1, s.323/

Moottorivalmistaja antaa tiedot moottorin tehoista ja polttoaineen ominaiskulutuksesta eri kierrosalueilla, mutta moottori-potkuri-yhdistelmän

propulsiivinen hyötysuhde joudutaan laskemaan käsin. Kuten jo alussa mainittiin, referenssikoneen (pyöräkoneen) moottoriksi otaksutaan sama moottori kuin amfibio-koneella eli ROTAX 912 UL. Tämän moottorin tehot ja ominaiskulutukset eri kierrosalueilla löytyvät liitteestä 2. Propulsiivinen hyötysuhde joudutaan laskemaan käsin, koska sitä ei ole mainittuna missään lähteessä. Propulsiivinen hyötysuhde voidaan määrittää, kun tiedetään lentokoneen lentonopeus ja moottorin antama teho tietyssä hetkessä.

## 9.1 Propulsiivinen hyötysuhde

Hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 17 /1, s.165/. Vaikka kirjassa puhutaan potkurin hyötysuhteesta, voidaan propulsiivinen hyötysuhde laskea samalla kaavalla. Kaava 17, jolla propulsiivinen hyötysuhde lasketaan näyttää seuraavalta:

$$\eta = \eta_{prop} = \frac{TV}{P} \quad (17)$$

, missä  $T$  on työntövoima,  $V$  on lentonopeus ja  $P$  on akseliteho. Huomataan, että nämä tekijät pitää tietää ennen kuin voidaan laskea lentokoneelle propulsiivinen hyötysuhde.

Hyötysuhteen määrittämistä helpottaa se että, propulsiivista hyötysuhdetta tutkitaan vaakalennossa, jolloin kaikki siihen vaikuttavat voimat ovat tasapainossa. Tällöin lentokoneen työntövoima  $T$  on yhtä suuri kuin vastus  $D$  ( $T=D$ ). Tällä tiedolla saadaan kaava 18, jolla voidaan laskea propulsiivinen hyötysuhde  $\eta_{prop}$  :

$$\eta_{prop} = \frac{\frac{1}{2} \rho V^3 S \left[ C_{D0} + K \left( \frac{mg}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \right)^2 \right]}{P} \quad (18)$$

Tutkimalla eri lähteiden antamia vaakalentoarvoja, löysin yllättäviä ristiriitaisuuksia. Ikaruksen matkalento oli ilmoitettu 65 % tehoilla 4700 rpm kierroksilla. ROTAXin valmistajan antamista suoritusarvoista (liite 2) nähdään, että 65 % tehoilla, jolloin moottorin tehot ovat n. 40 kW, kierrokset ovat lähellä 3800 rpm. Ero on melkein 1000 rpm, mikä vähän kyseenalaistaa lähteiden luotettavuutta. Syy tähän valtavaan eroon voi johtua ROTAXin ilmoittamasta kuvasta, missä tehot ovat ns. lentoonlähtöarvoja (take off) ja siksi ei ole suoraan verrannollinen matkalennossa oleviin tehoihin.

Päätin kuitenkin joka tapauksessa luottaa valmistajan ja lento- ja käyttöohjeiden antamiin tietoihin, koska ne perustuvat minun mielestäni luotettaviin testeihin. Tämän takia joudun laskemaan propulsiivisen hyötysuhteen ainakin kahdelle eri tapaukselle, mutta päätin kuitenkin tehdä sen varmuuden vuoksi kolmelle eri tapaukselle. Ensimmäinen tapaus perustuu BMAA:n antamiin suoritusarvoihin ja lento-olosuhteisiin/23/. Toinen tapaus perustuu valmistajan antamiin tietoihin, ja samalla on otaksuttu, että lento-olosuhteet ovat samat kuin ensimmäisessä tapauksessa /3/. Kolmas tapaus perustuu Ikaruksen ohjeiden antamiin arvoihin /22, s.28/. Tapauksien asetukset ja lento-olosuhteet ovat kerätty helposti nähtäväksi taulukkoon 2.

**Taulukko 2** Propulsiivisen hyötysuhteen tarkastelun lähtöarvo

Asetukset / lento- olosuhteet	Tapaus 1 (BMAA)	Tapaus 2 (Valmistaja)	Tapaus 3 (Lento- ja käyttöohje)
$W$	390 kg	390 kg	360 kg
$P$	100 % 73,5 kW	100 % 59,6 kW	65 % 39 kW
$r$	5800 rpm	5800 rpm	4700 rpm
$V$	193 km/h	185 km/h	160 km/h

On huomioitavaa, että BMAA tehdyssä testissä (tapauksessa 1) on käytetty 100 Hv moottoria, mutta potkuri on Warp Drive 3 -potkuri, joka on sama potkuri kuin tulevan amfibio-koneen potkuri. Tavallaan moottorilla ei ole väliä, koska propulsiivinen hyötysuhde on akselitehon ja potkurin tehon suhde, ja siksi moottorin hyötysuhde ei häiritse tuloksia. Tapauksessa on käytetty Warp Drive 2 -potkurina.

Lasketaan kunkin tapauksen propulsiivinen hyötysuhde kaavalla 18. Saadut arvot näkyvät taulukossa 3.

**Taulukko 3** Tapauksien 1-3 tulokset

Propulsiivinen hyötysuhde	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3
$\eta_{prop}$	0,68	0,75	0,077

Huomataan, että ero tapauksien välillä on aika pieni, mikä oli myös oletettua. Paras hyötysuhde saavutetaan nopeassa lennossa, mutta tulokset osittavat, että paras hyötysuhde voidaan myös saada matkalentonopeuksilla. Kuitenkin kiintopotkurin paras hyötysuhde riippuu pitkälti sen tehdyistä lapakulmien säädöistä. Kiintopotkuri lapakulmia voidaan säätää sillä tavalla, että potkuri saavuttaa parhaan hyötysuhteen esimerkiksi matkalentonopeudella tai maksimilentonopeudella. Kiintopotkuria kuitenkin rajoittaa se, että se on vain hyvä kapealla lentonopeusalueella ja tämän takia sillä on väistämättä huono hyötysuhde esimerkiksi nousulennossa. /1, s.165-66/

Kirjan mukaan potkurin paras hyötysuhde on tyypillisesti 0,75–0,9. Uskon, että propulsiivinen hyötysuhde, jossa vaihteiston aiheuttama tehohäviö on otettu huomioon, ei ole tästä paljon alhaisempi. Veikkaisin parhaan propulsiivisen hyötysuhteen olevan tyypillisesti n. 0,65–0,85, mikä sopii hyvin saatuihin tuloksiin./1, s.321/

Testilaskuissa huomasin, että painolla on loppujen lopuksi hyvin pieni merkitys propulsiivista hyötysuhdetta laskettaessa. Ero oli n. 0,02 luokkaa, kun paino vaihteli 60 kg. Tämä ei tarkoita sitä, että eri painoasetuksilla saataisiin lennon aikana erilainen propulsiivinen hyötysuhde. Paino vaikuttaa vain hyötysuhteeseen, kun moottori-potkuri-yhdistelmälle lasketaan hyötysuhde.

Lopputulokset osoittavat, että lennettäessä 80 hv koneella propulsiivinen hyötysuhde olisi n. 0,75 kaikilla nopeusalueilla. Nämä ovat kuitenkin laskennallisia arvioita, ja sen takia päätin käyttää nousulennossa arvoa  $n_{prop} = 0,65$  ja matkalennossa arvoa  $n_{prop} = 0,80$ .

## 9.2 Polttoaineen ominaiskulutus /1, s.323/

Kun arvioidaan amfibio-koneen kantamaa, tulee tietää polttoaineen ominaiskulutus. Polttoaineen ominaiskulutus voidaan laskea, kun tiedetään polttoaineenvirtaus  $\beta$  tietyssä tehoasetuksessa. Polttoaineenvirtaus näkyy eri kierrosalueilla liitteessä 2. Huomataan, että polttoaineenvirtaus on karkeasti verrannollinen kierrosnopeuteen eli myös akselitehoon  $P$ . Liitteessä 2 polttoaineenvirtaus on kerrottu yksikössä l/h eli se pitää muuttaa kg/s. Koska yhdessä litrassa on 0,725 kg polttoainetta ja yhdessä tunnissa 3600 s, tulee polttoaineenvirtaus laskea seuraavasti:

$$4500 \text{ rpm: } \beta = 11,5 \frac{l}{h} \cdot \frac{0,725 \frac{kg}{l}}{3600 \frac{s}{h}} = 0,00232 \frac{kg}{s}$$

Edellisen laskun mukaan ROTAX 912 UL kierrosalueella 4500 rpm polttoaineenvirtaus on 0,00232 kg sekunnissa.

Polttoaineen ominaiskulutus lasketaan kaavalla 19:

$$b' = \frac{\beta}{P} \quad (19)$$

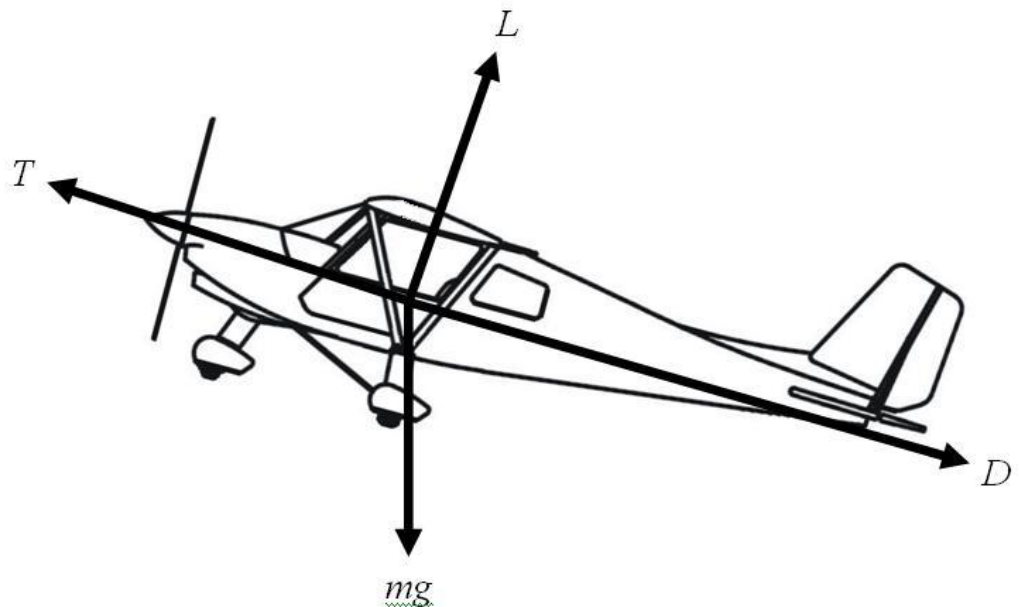
Koska polttoaineenvirtaus on karkeasti verrannollinen akselitehoon, on polttoaineen ominaiskulutus myös sama kaikilla kierros/tehoalueilla. Lasketaan ROTAX 912 UL polttoaineen ominaiskulutus, kun kierrokset ovat 4500 rpm, kaavalla 19:

$$b' = \frac{\beta}{P} = \frac{0,00227 \frac{kg}{l}}{48kW} = 5,0 \cdot 10^{-8} \frac{kg}{Ws}$$

Samalla tavalla laskettuna saadaan 5800 rpm kierrosalueella polttoaineen ominaiskulutukseksi  $b' = 8,53 \cdot 10^{-8}$  kg/Ws. Mäntämootorille (100kW:n) tyypillinen polttoaineen ominaiskulutus on  $b' = 8,5 \cdot 10^{-8}$  kg/Ws. Vaikka yleensä oletetaan, että polttoaineen ominaiskulutus on vakio kaikilla kierrosalueilla, on ero 4500 rpm ja 5800 kierrosalueilla kuitenkin n. 40 %. Näyttää siltä, että ei kannata karkeasti olettaa polttoaineen ominaiskulutuksen pysyvän vakiona kaikilla kierrosalueilla. Kantamatarkastelussa tulen käyttämään 4500 rpm alueella laskettua ominaiskulutusta, koska lentokoneen pisin kantama lennetään yleensä matkalentonopeudella, ei maksiminopeudella.

## 10 IKARUKSEN NOUSULENTO /1, s.364-365/

Lentokone voi suorittaa nousulennon, kun työntövoima on suurempi kuin vastus. Lentokoneen nousua kutsutaan stationaariseksi, kun sen nousukulma ja ratanopeus pysyvät samana. Tutkimalla lentokoneen nousulentokykyä voidaan selvittää missä kulmassa ja nopeudessa saavutetaan paras nousulento. Paras nousunopeus on lentäjän näkökulmasta tärkeä tietää, koska sen avulla voidaan nousta tietylle korkeudelle säästämällä aikaa ja polttoainetta.



**Kuva 13** Lentokoneeseen nousulennossa vaikuttavat voimat

Paras liitoluku lasketaan Ikarukselle, jonka laskusiivekkeet ovat 0-asennossa ( $-4,5^\circ$ ). Tätä lentoasua tulee käyttää, kun lennetään matka-, nousu- ja liukulentoa. Hidaslennossa, lentoonlähdessä (nousulennossa) suositellaan myös käytettäväksi toista lentoasua kuin matkalennossa käytettävää lentoasua lyhyemmän laskukiidon tai nousukiidon saavuttamiseksi. Kuitenkin lentoasua, jossa laskusiivekkeet ovat täysin alhaalla, ei suositella lentoonlähdessä. Vaarana on lentokoneen hallinnan menettäminen moottorihäiriötilanteessa./22/

Koska lentäjää ohjeistetaan käyttämään lentoonlähdössä laskusiivekkeitä 1-asennossa ( $15^\circ$ ), on lentokoneella myös suurempi vastus kuin laskusiivekkeiden ollessa 0-asennossa ( $-4,5^\circ$ ). Koska laskusiivekkeiden tuomaa lisävastusta ei voitu määrittää, päätin käyttää laskuissa samaa vastusta kuin laskusiivekkeiden ollessa 0-asennossa. Tämä pitää tietysti muistaa verrattaessa saatuja arvoja lähteiden antamiin arvoihin.

## 10.1 Nousulennon tarkastelu

Tässä tarkastelussa tutkitaan, kuinka amfibio-ponttonit vaikuttavat Ikaruksen nousulento. Alla olevassa taulukossa on kerrottu laskuissa käytetyt lähtöarvot (taulukko 4).

**Taulukko 4** Nousulennon tarkastelun lähtöarvot

<b>Lähtöarvo</b>	<b>Pyöräkone 1</b>	<b>Pyöräkone 2</b>	<b>Pyöräkone 3</b>	<b>Amfibio- kone</b>
m =	360 kg	472,5 kg	500 kg	500 kg
K =	0,052	0,052	0,052	0,052
$C_{D0}$ =	0,040	0,040	0,040	0,058
$\rho$ =	1,225 kg/m <sup>3</sup>	1,225 kg/m <sup>3</sup>	1,225 kg/m <sup>3</sup>	1,225 kg/m <sup>3</sup>
S =	12,5 m <sup>2</sup>	12,5 m <sup>2</sup>	12,5 m <sup>2</sup>	12,5 m <sup>2</sup>
P =	58,8 kW	58,8 kW	58,8 kW	58,8 kW
$\eta_{prop}$ =	0,65	0,65	0,65	0,65

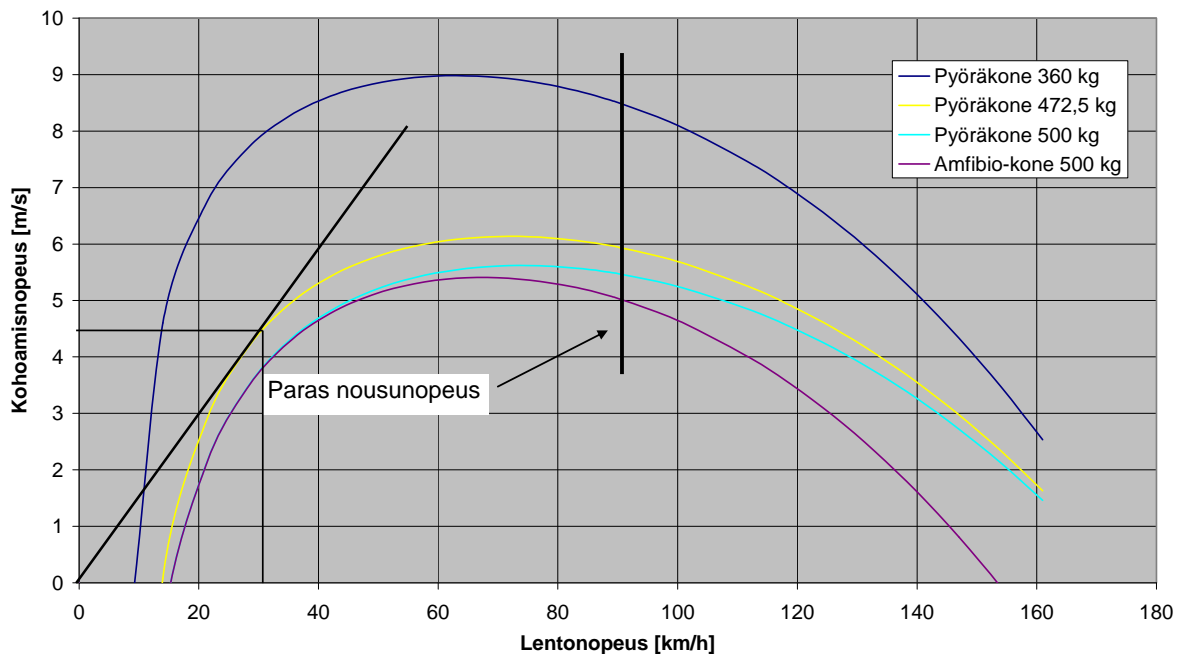
Tarkastelu on tehty neljälle eri tapaukselle, koska silloin saadaan parempi näkemys siitä, kuinka paljon laskut eroavat lähteiden antamista arvoista. Pyöräkoneiden 1-2 lähtöarvojen pitäisi kaikkien olla todenmukaisia, koska ne perustuvat Ikaruksen lento- ja käyttöohjekirjan antamiin suorituskyykyarvoihin /22, s.28;24, s.27/. Pyöräkoneella 3 ei voida sääntöjen mukaan lentää, koska suurin sallittu lentoonlähtöpainoraja ei saa ylittää 472,5 kg. Pyöräkone 3 on

otettu vertailuun mukaan, koska sen avulla nähdään vastuksen vaikutus nousulentoan, jolloin painon vaikutus on poissuljettu. Amfibio-koneen lähtöarvot on valittu koneen ja tutkittavan lento-olosuhteen mukaan. Amfibio-koneen lento-olosuhde on vertailun vuoksi sama kuin kolmen ensimmäisen tapauksien lento-olosuhde. Potkurikoneen pystynopeus lasketaan kaavalla 20:

$$C = \frac{\eta P}{mg} - \frac{\rho V^3 S}{2mg} \left[ C_{D0} + K \left( \frac{2mg}{\rho V^2 S} \right)^2 \right] \quad (20)$$

Kun kaavan 20 mukaan piirretään kohoamisnopeus nopeuden funktiona, saadaan kuva, josta nähdään kohoamisnopeudet eri nopeuksilla. Kuvassa 14 nähdään kunkin tapauksen kohoamisnopeudet lentonopeuden funktiona merenpinnan tasalla. Kuvan 14 avulla voidaan selvittää lentokoneen paras mahdollinen nousunopeus ja lentonopeus parhaalle nousukulmalle.

#### Lentokoneiden kohoamisnopeus lentonopeuden funktiona 0km



**Kuva 14** Lentokoneiden kohoamisnopeus lentonopeuden funktiona

Kohoamisnopeuskäyrän huippu näyttää suurimman nousunopeuden tietyssä lentonopeudessa. Huomataan, että kaikkien tapauksien parhaat nousunopeudet tulevat lähelle sakkausrajan ylärajaa, eli todellisuudessa turvallisuussyistä voida lentää nousulentoa näin lähellä sakkausrajaa.

Kuvasta voidaan myös nähdä, missä lentonopeudessa saavutetaan paras nousukulma, toisin sanoen paras kohoamisnopeus suhteessa lentonopeuteen. Kuvassa 14 lentonopeus parhaalle nousukulmalle voidaan näyttää piirtämällä kohoamisnopeuskäyrälle sivuja origosta. Esimerkkinä on käytetty pyöräkoneen 2 kohoamisnopeuskäyrää, jonka mukaan sille paras kohoamisnopeus suhteessa ratanopeuteen olisi n. 4,0 m/s lentonopeudella 25 km/h. Kuten jo edellä on mainittu, tämä ei ole mahdollista, koska lentonopeus on sakkausrajan (65 km/h) alapuolella. Ikaruksen lento- ja käyttöohjeiden mukaan lentonopeus parhaalle nousukulmalle olisi 90–100 km/h, mikä kuvan 14 mukaan ei pitäisi paikkaansa /22, s.28;24, s.27/. Uskoisin, että turvallisuussyistä ohjeet kehottavat ohjaajaa lentämään nousulennon pienellä marginaalilla, ettei lentäjä joutuisi liian helposti esimerkiksi voimakkaan tuulenpuuskan tai moottorihäiriön takia sakkaustilaan.

## 10.2 Tuloksien vertailu

Kahdessa seuraavassa taulukossa nähdään kuvan 14 mukaan saatuja kohoamisnopeuksia ja lähteiden antamia vastaavia arvoja. Kuvan mukaisia arvoja ilmoitetaan lähteiden ilmoittamissa lentonopeuksissa, jotta vertailu olisi mahdollista. Lähteiksi ovat kelvanneet vain ne, jotka ovat ilmoittaneet kohoamisnopeuden mitatun lentonopeuden ja painon kanssa. Tämän takia lähteenä ei voitu käyttää esimerkiksi englanninkielisiä lento- ja käyttöohjeita, koska kohoamisnopeuden yhteydessä ei ilmoitettu painoasetuksia.

Taulukossa 5 kohoamisnopeus on ilmoitettu lentonopeudessa 90 km/h, koska ohjeiden mukaan silloin saavutetaan paras nousukyky /22, s.28;24, s.27/.

**Taulukko 5** Lento- ja käyttöohjekirjan ilmoittamat suorituskykyarvot

<b>Ikarus</b>	<b>Lento- ja käyttöohjekirja (saksan- ja suomenkielinen)</b>	<b>Laskettu arvo</b>	<b>Ero</b>
Pyöräkone 3 (472,5 kg)	4,8 m/s	5,8 m/s	1,0 m/s
Pyöräkone 1 (360 kg)	6,0 m/s	8,5 m/s	2,5 m/s

Kun verrataan pyöräkonetta 3 amfibio-koneeseen, nähdään vastuksen vaikutus kohoamisnopeuteen. Laskujen mukaan amfibio-koneen vastus pudottaa kohoamisnopeuden n. 0,5 m/s 90 km/h nopeudessa. Itse olisin uskonut, että vastuksen osuus olisi ollut paljon suurempi. Pitää kuitenkin muistaa, että vastuksen vaikutus suurenee nopeuden kasvaessa. Tämä ilmiö nähdään hyvin kuvasta 14.

Verrattaessa pyöräkoneiden kohoamisnopeuksia nähdään painon vaikutus kohoamisnopeuteen, koska pyöräkoneilla on sama vastus. Toisin kun lentokoneen vastuksessa, painon merkitys kohoamisnopeuteen vähenee lentonopeuden kasvaessa, mutta lennettäessä hitaasti sillä on suuri merkitys.

Kuvan 14 mukaan amfibio-koneen kohoamisnopeus laskee verrattuna pyöräkoneeseen 3 noin 1 m/s 90 km/h nousunopeudella, ja on suurin piirtein samana myös 100 km/h nousunopeudella. Prosenteissa tämä kohoamisnopeuden pudotus on noin 15 – 20 % lennettäessä 90 - 100 km/h nousunopeudella. Tätä amfibio-koneen kohoamisnopeuden suhdetta pyöräkoneen arvoon kutsun teoreettiseksi kohoamisnopeudeksi. Tällä suhteella voidaan tarvittaessa määrittää amfibio-koneelle toiset nousulennon suorituskykyarvot kuin mitä laskut antavat.

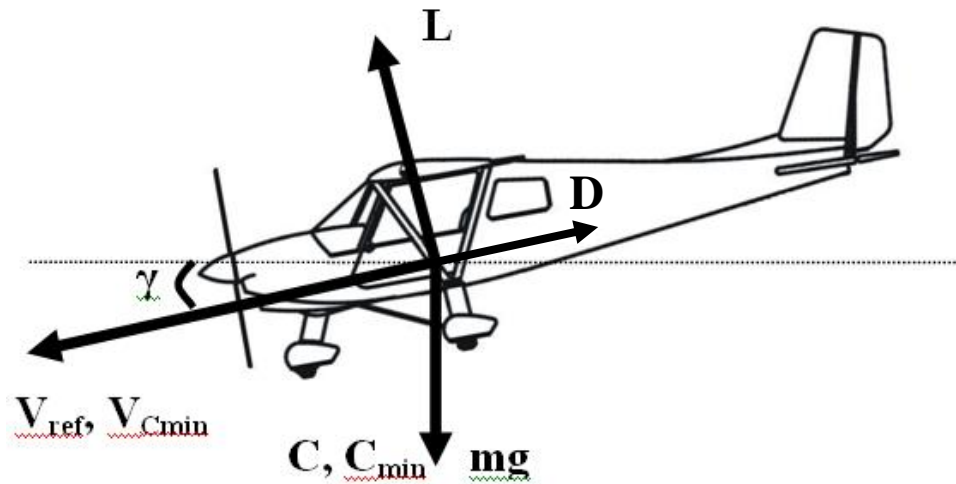
Vertailuissa huomataan, että suurimmat erot syntyvät verrattaessa kevyintä pyöräkoneen arvoa. Verrattaessa muitten pyöräkoneiden arvoja lähteiden antamiin arvoihin havaitaan erojen olevan 1-2 m/s. Tuloksien suurien erojen

vuoksi pidän tätä tarkastelua epäluotettavana, koska laskujen mukaan amfibio-koneella olisi yhtä hyvä kohoamisnopeus (5,0 m/s) kuin 450 kg:n pyöräkoneella (4,8 m/s), mikä ei ole totta /22, s.28;24, s.27/. Tämän takia luotan enemmän teoreettiseen kohoamisnopeuden heikentymiseen (15 – 20 %) kuin suoraan laskujen antamiin tuloksiin.

Valtavien erojen syy johtuu varmaan monesta eri tekijästä: laskuissa on käytetty eri lentoasua, tekijä  $K$  ei ole kohtauskulmasta riippumaton ja propulsiivinen hyötysuhde voi olla todellisuudessa pienempi. Kuten on jo mainittu, laskettu kohomaisnopeus on laskettu eri lentoasulle kuin ohjeiden ilmoittavat kohoamisnopeudet ovat. Toisin sanoen lasketussa kohoamisnopeudessa lentokoneen nollavastuskerroin on pienempi kuin ohjeiden ilmoittamassa tilanteessa. Kuitenkin lentoasun merkitys hidaslennossa on varsin pieni, koska vastuksen vaikutus pienillä nopeuksilla on hyvin pieni. Tosin laskusiivekkeet kasvattavat nostovoimakerrointa, jolloin saadaan suurempi nostovoima. Myöskään nostovoimasta riippuvan nousuvoimakertoimen tekijää  $K$  ei voida olettaa vakioksi, koska nousulennossa kohtauskulma kasvaa merkittävästi. Uskon kuitenkin, että suurin ero johtuu liian hyvästä hyötysuhteesta. Alentamalla hyötysuhdetta saataisiin paljon todenmukaisia tuloksia.

## 11 IKARUKSEN LIUKULENTO /1, s.336-340/

Liukulentto syntyy, kun työntövoima on vastusta pienempi. Tällöin lentokone ei voi samanaikaisesti säilyttää nopeuttaan ja lentokorkeuttaan, toisin sanoen vaakalentoa. Ikaruksen liukulenttotarkastelussa pidetään moottorien aiheuttamaa työntövoimaa nollana, ja siksi seuraava tarkastelu pätevät myös purjelentokoneisiin.



Kuva 15. Lentokoneeseen liukulennessa vaikuttavat voimat

Liukulennessa tarkastellaan usein lentokoneen pienintä liukukulmaa ja vajoamisnopeutta. Lentokoneella on mahdotonta lentää parhaalla (pienimällä) liukukulmalla ja pienimällä vajoamisnopeudella samaan aikaan, ja siksi ne pitää tutkia erikseen. Riippuen tilanteesta, lentokoneella lennetään joko parhaalla liukukulmalla tai pienimällä vajoamisnopeudella.

Tarkastelun loppuvaiheessa verrataan saatuja tuloksia lento- ja käyttöohjekirjan antamiin arvoihin /22, s.28/. Näin voidaan saada karkea kuva siitä kuinka lähellä laskut todellisuudessa ovat ja kuinka paljon Ikaruksen liukulento muuttuu amfibio-ponttoneilla. Nopeudet ilmoitetaan yksikössä m/s, koska vajoamisnopeus yleensä ilmoitetaan tässä yksikössä. Käytetyt lähtöarvot on kerätty taulukkoon 6:

**Taulukko 6** Liukulennossa käytetyt lähtöarvot

Lähtöarvo	Pyöräkone	Amfibio-kone
$M =$	450 kg	500 kg
$K =$	0,052	0,052
$C_{D0} =$	0,040	0,058
$\rho =$	1,225 kg/m <sup>3</sup>	1,225 kg/m <sup>3</sup>
$S =$	12,5 m <sup>2</sup>	12,5 m <sup>2</sup>
$E_{max} =$	11	9,1

## 11.1 Liukulennon tarkastelu

Liukulennon tarkastelussa tutkitaan Ikaruksen vajoamis- ja ratanopeuksia parhaassa liu'ussa ja pienimmässä vajoamisnopeudessa. Ensin tutkitaan Ikaruksen vajoamis- ja ratanopeutta parhaassa liu'ussa. Paras liuku tapahtuu pienimällä mahdollisella liukukulmalla, joka voidaan laskea kaavalla 21:

$$\tan \gamma_{\min} = -\frac{1}{E_{\max}} \rightarrow \gamma_{\min} = \arctan\left(-\frac{1}{E_{\max}}\right) \quad (21)$$

Lasketaan kaavalla 21 pyöräkoneen ja amfibio-koneen pienin liukukulma:

$$\text{Pyöräkone: } \gamma_{\min 1} = \arctan\left(-\frac{1}{E_{\max}}\right) = \arctan\left(-\frac{1}{11}\right) = -5,19^\circ$$

$$\text{Amfibio-kone: } \gamma_{\min 2} = \arctan\left(-\frac{1}{E_{\max}}\right) = \arctan\left(-\frac{1}{9,1}\right) = -6,27^\circ$$

Huomataan, eron olevan hyvin pieni, mutta seuraavissa laskuissa nähdään, että tällä pienellä erolla on kuitenkin vaikutus liukulentoon.

Seuraavaksi lasketaan pienimmälle liukukulmalle vastaava ratanopeus  $V_{ref}$  kaavalla 22. Kaikki kaavan 22 tekijät ovat tuttuja edellisistä kaavoista ja löytyvät myös taulukosta yksi. Kaava 22 näyttää seuraavalta:

$$V = V_{ref} = \sqrt[4]{\frac{K}{C_{D0}}} \sqrt{\frac{2mg}{\rho S}} \quad (22)$$

Kaavasta 22 nähdään, että amfibio- ja pyöräkoneen ratanopeusero johtuu koneiden nollavastuskertoimen eroavaisuudesta. Eroa kasvattaa myös koneiden painoero. Koska amfibio-koneella on suurempi nollavastuskerroin ja paino, on sillä siksi myös pienempi ratanopeus kuin pyöräkoneella. Lasketaan molempien lentokoneiden ratanopeudet kaavalla 22:

$$\begin{aligned} V_{ref1} &= \sqrt[4]{\frac{K}{C_{D0}}} \sqrt{\frac{2mg}{\rho S}} = \sqrt[4]{\frac{0,052}{0,040}} \sqrt{\frac{2 \cdot 450 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 12,5 \text{ m}^2}} \\ &= 27,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 98,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ref2} &= \sqrt[4]{\frac{K}{C_{D0}}} \sqrt{\frac{2mg}{\rho S}} = \sqrt[4]{\frac{0,052}{0,058}} \sqrt{\frac{2 \cdot 500 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 12,5 \text{ m}^2}} \\ &= 24,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 88,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Tässä vaiheessa voidaan jo olettaa, että koska ratanopeus on pienempi amfibio-koneella, on sen pystynopeuden oltava suurempi kuin pyöräkoneella. Mitä pienempi ratanopeus, sitä suurempi on myös koneen vajoaminen.

Kun ratanopeus on tiedossa, voidaan laskea vastaava pystynopeus tällä nopeudella. Pystynopeuden kaava lasketaan kaavalla 23:

$$C = V \sin \gamma \quad (23)$$

Nähdään, että kaavassa 23 tarvitaan pystynopeuden laskemiseen liukukulma ja ratanopeus. Lasketaan molempien koneiden pystynopeus kaavalla 23, jossa käytetään kummankin koneen laskettuja liukukulmia ja ratanopeuksia.

$$C_{\text{Pyöräkone}} = V \sin \gamma = 27,4 \frac{m}{s} \cdot \sin(-5,19^\circ) = -2,48 \frac{m}{s}$$

$$C_{\text{Amfibio-kone}} = V \sin \gamma = 24,6 \frac{m}{s} \cdot \sin(-6,27^\circ) = -2,69 \frac{m}{s}$$

Voimme todeta, että tässä tapauksessa pystynopeudet ovat suuria ja lasku kyseisillä nopeuksilla olisi mahdotonta. Kyseiset pysty- ja ratanopeudet vastaavat parhaassa liu'ussa olevia nopeuksia, kun liitoluku on maksimiarvossaan eli kun halutaan liittää mahdollisimman pitkälle.

Seuraavaksi tutkitaan Ikaruksen pienintä vajoamisnopeutta. Pienintä vajoamisnopeutta laskettaessa tarvitaan ratanopeus  $V_{ref}$  ja paras liitoluku  $E_{max}$ . Tälle vastaava ratanopeus voidaan laskea, kun tiedetään ratanopeus  $V_{ref}$  parhaassa liu'ussa. Kaavat pienimällä vajoamisnopeudelle ja vastaavalla ratanopeudelle näyttävät seuraavilta:

$$C_{\min} = -\frac{2 \sqrt[4]{3} V_{ref}}{3 E_{\max}} \quad (24)$$

$$V_{C \min} = \frac{V_{ref}}{\sqrt[4]{3}} \approx 0,76 V_{ref} \quad (25)$$

Kaavasta 25 nähdään, että ratanopeus pienimmälle vajoamisnopeudelle  $V_{Cmin}$  on n. 24 % pienempi kuin ratanopeus parhaassa liu'ussa  $V_{ref}$ . Lasketaan molempien koneiden pienin vajoamisnopeus ja vastaava ratanopeus, ja verrataan niitä sitten keskenään:

$$V_{C \min \text{ Pyöräkone}} = \frac{V_{ref1}}{\sqrt[4]{3}} = \frac{27,4 \frac{m}{s}}{\sqrt[4]{3}} = 20,8 \frac{m}{s}$$

$$V_{C \min \text{ Amfibio-kone}} = \frac{V_{ref1}}{\sqrt[4]{3}} = \frac{24,6 \frac{m}{s}}{\sqrt[4]{3}} = 18,7 \frac{m}{s}$$

$$C_{\min \text{ Pyöräkone}} = -\frac{2 \sqrt[4]{3} V_{ref}}{3 E_{\max}} = -\frac{2 \sqrt[4]{3} \cdot 27,4 \frac{m}{s}}{3 \cdot 11} = -2,19 \frac{m}{s}$$

$$C_{\min \text{ Amfibio-kone}} = -\frac{2 \sqrt[4]{3} V_{ref}}{3 E_{\max}} = -\frac{2 \sqrt[4]{3} \cdot 24,6 \frac{m}{s}}{3 \cdot 9,1} = -2,37 \frac{m}{s}$$

Vaikka lähteissä ei ole ilmoitettu vajoamisnopeutta parhaassa liu'ussa voidaan se helposti laskea, kun tiedetään ratanopeus ja liitoluku. Laskujen mukaan Ikaruksen vajoamisnopeus  $C$  98 km/h ratanopeudella ja 11 liitoluvulla olisi 2,48 m/s /22, s. 28/.

Taulukkoon 7 on kummankin koneen lasketut arvot, joita verrataan lähteiden antamiin todellisiin arvoihin. Taulukossa 7 näkyy myös amfibio-koneen liukunopeuksien ero pyöräkoneeseen verrattuna.

**Taulukko 7** Liukulennon saadut tulokset

Laskettu tulos	Pyöräkone	Amfibio-kone	Ero
$C =$	-2,48 m/s	-2,69 m/s	0,21 m/s (8%)
$V_{ref} =$	98,6 km/h	88,6 km/h	10 km/h (10%)
$C_{min} =$	-2,19 m/s	-2,37 m/s	0,18 m/s (8%)
$V_{Cmin} =$	74,9 km/h	67,3 km/h	7,6 km/h (10%)

Lähestymislentonopeus on hyvin oleellinen nopeus laskussa, koska se määrää kuinka paljon kone vajoaa lähestymisessä. Mitä pienempi vajoaminen, sitä pehmeämpi on lasku. Vesilaskuissa lähestymisnopeuden tärkeys korostuu, koska lasku peilityneen veteen joudutaan suorittamaan lentokone trimmattuna mahdollisimman pienellä vajoamisnopeudella. Ohjaaja näkee vajoamisnopeuden variometrillä, jonka mukaan lentokone trimmataan sopivaan liukukulmaan. Tätä tekniikkaa kutsutaan myös tyynen veden laskutekniikaksi. Koska ohjaaja katsoo aina sopivan lähestymisnopeuden sopivan vajoamisnopeuden mukaan, en määritä amfibio-koneelle tiettyä lähestymisnopeutta. On kuitenkin sanomatta selvää, että amfibio-koneella on suurempi lähestymisnopeus, koska se painaa enemmän. Vastaavasti joudutaan amfibio-koneella käyttämään enemmän tehoa, koska vastus on myös sillä suurempi.

## 11.2 Tuloksien vertailu

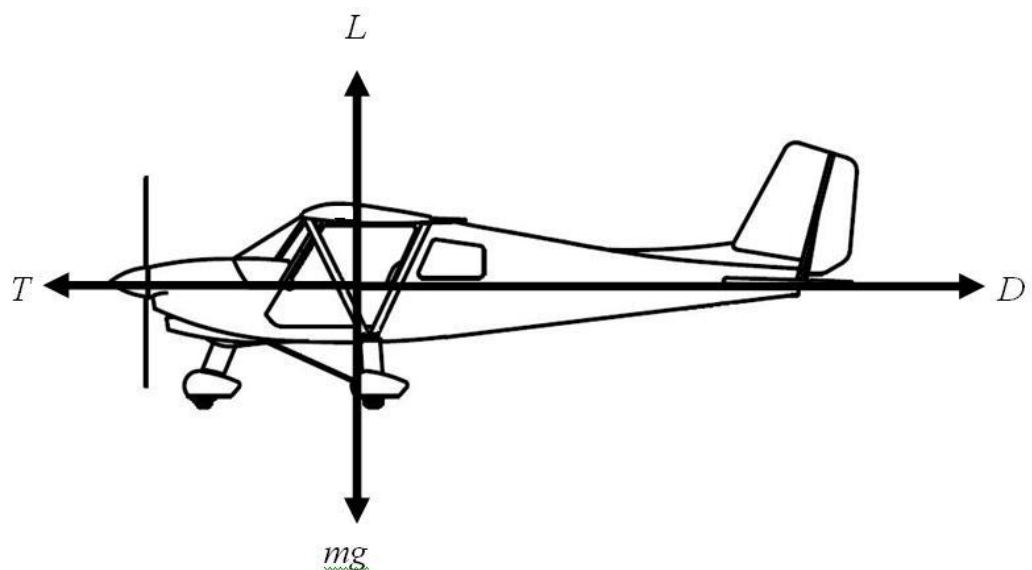
Ikaruksen suomenkielisessä ohjekirjassa on ilmoitettu pienimmän vajoamisnopeuden olevan 2 m/s nopeudella 85 km/h, kun laskusiivekkeet ovat keskiasennossa/22, s.28/. Laskujen mukaan pienin vajoamisnopeus olisi pyöräkoneella 2,19 m/s nopeudella 74,9 km/h. Laskettu arvo eroaa ohjeiden ilmoittamista arvoista, koska lasketussa arvossa ei ole huomioitu laskusiivekkeiden aiheuttamaa lisävastusta ja nostovoimaa.

Ohjeiden mukaan paras liitoluku saavutetaan liidettäessä 95 km/h nopeudella laskusiivekkeiden ollessa täysin sisällä. Arvioitu ratanopeus 11 liitoluvulla on 98,6 km/h, mikä eroaa vain 3 km/h ohjeiden antamasta arvosta /27, s.28/.

Verrattaessa pyöräkoneen ja amfibio-koneen liukunopeuksia nähdään, että amfibio-koneella on hieman suurempi pienin vajoamisnopeus kuin pyöräkoneella. Verrattaessa vastaavaa ratanopeutta amfibio-koneella hidastuu nopeus 7,6 10 km/h, joka on prosenteissa noin 10 %. Parhaassa liu'ussa amfibio-koneen pienin vajoamisnopeus paranee 10 % ja vastaava ratanopeus hidastuu saman verran.

## 12 IKARUKSEN VAAKALENTO /1, s.342-346/

Tässä tarkastelussa tutkitaan Ikaruksen vaakalento-ominaisuuksia: maksimivaakalentonopeus, taloudellisin vaakalentonopeus, sakkausnopeus ja kantama. Tarkastelu tehdään pyöräkoneelle ja amfibio-koneelle, minkä jälkeen nähdään, paljonko amfibio-koneen vaakalento-ominaisuudet muuttuvat. Samalla verrataan saatuja tuloksia valmistajan antamiin arvoihin.



**Kuva 16** Lentokoneeseen vaakalennossa vaikuttavat voimat

Vaakalennossa käytetyt lähtöarvot on kerätty taulukkoon 8:

**Taulukko 8** Vaakalennossa käytetyt lähtöarvot

<b>Lähtöarvo</b>	<b>Pyöräkone</b>	<b>Amfibio-kone</b>
$m =$	450 kg	500 kg
$K =$	0,052	0,052
$C_{D0} =$	0,040	0,058
$\rho =$	1,225 kg/m <sup>3</sup>	1,225 kg/m <sup>3</sup>
$S =$	12,5 m <sup>2</sup>	12,5 m <sup>2</sup>
$b' =$	$6,77 \cdot 10^{-8}$ kg/Ws	$6,77 \cdot 10^{-8}$ kg/Ws
$\eta_{prop} =$	0,80	0,80

Vaakalennossa lentokone säilyttää korkeutensa ja lentonopeutensa, jolloin siihen vaikuttavat voimat pitävät toisensa tasapainossa. Siksi vaakalennossa lentokoneen nostovoima on aina yhtä suuri kuin lentokoneen paino ja työntövoima yhtä suuri kuin lentokoneen vastus. Siksi vaakalennossa pätevät seuraavat kaavat:

$$L = mg \quad (26)$$

$$D = T \quad (27)$$

Ikaruksen maksimivaakalentonopeutta voidaan tutkia kuvaajasta, jossa on työntövoima ja ilmanvastus lentonopeuden funktiona. Potkurikoneen työntövoima lasketaan kaavalla 28, jota on jo käytetty edellisessä osiossa.

$$T = \frac{\eta \cdot P}{V} \quad (28)$$

Kaavasta 28 huomataan, että työntövoima laskee, kun nopeus kasvaa ja teho ja hyötysuhde pysyvät vakiona.

Ilmavastuksen tutkiminen eri nopeuksissa on paljon hankalampaa kuin työntövoiman tutkiminen. Tämä johtuu siitä, kun ilmanvastus määräytyy monesta eri tekijästä, jotka riippuvat taas lentonopeudesta. Vastus eri nopeuksissa ratkeaa kaavasta 29.

$$D = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_D \quad (29)$$

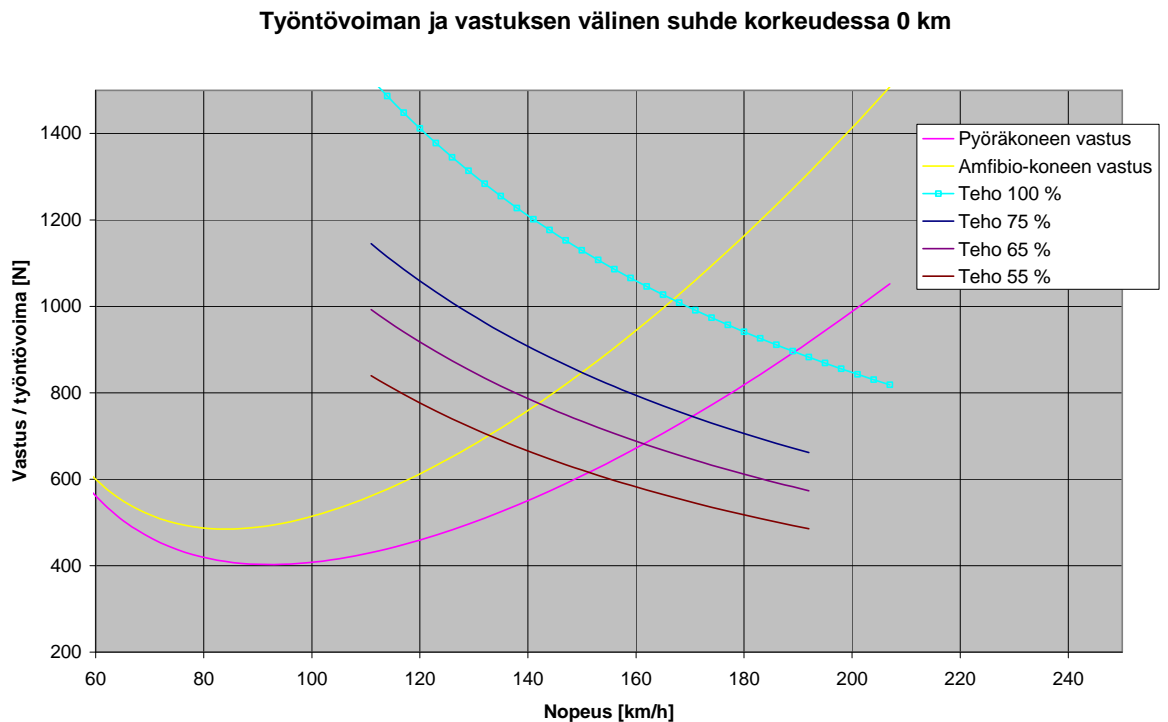
Vastuskertoimen voi avata käyttämällä kaavaa 16, jolloin saadaan kaava 30:

$$D = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot \left[ C_{D0} + K \left( \frac{mg}{\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot S} \right)^2 \right] \quad (30)$$

Kaavalla 30 voidaan laskea Ikaruksen vastus eri lentonopeuksissa.

## 12.1 Vaakalennon tarkastelu

Nyt kun tiedetään työntövoiman kaava 28 ja vastuksen kaava 30, voidaan piirtää kuvaaja (kuva 17), jossa työntövoima ja vastus ovat nopeuden funktiona.

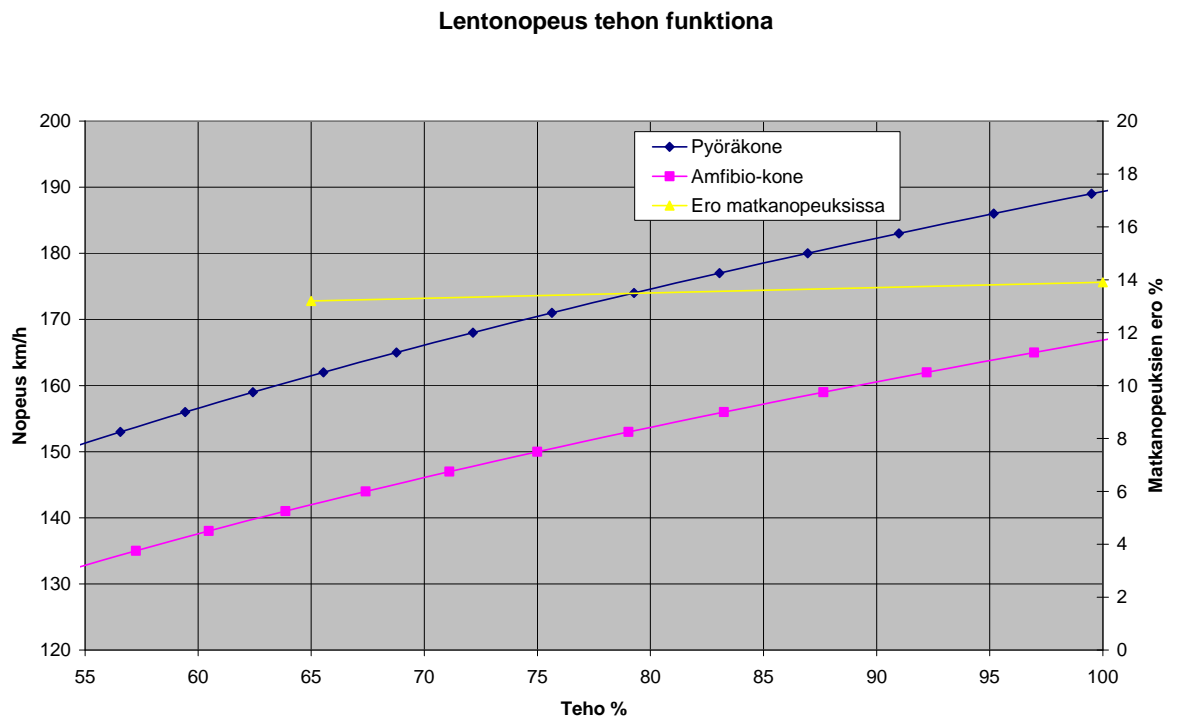


**Kuva 17** Työntövoima ja vastus lentonopeuden funktiona

Ikaruksen suurin vaakalentonopeus on siinä kohtaa, missä vastus ja työntövoima ovat yhtä suuret tehojen ollessa 100 %. Kuvasta 2 nähdään, että pyöräkoneen maksimivaakalentonopeus on n. 190 km/h (52,8 m/s) ja amfibio-koneen vastaava nopeus on n. 165 km/h (45,8 m/s).

Laskettuna koneiden ero maksimivaakanopeudessa on 25 km/h (6,9 m/s). Koneiden matkalentonopeuksien eroja voidaan tarkemmin tutkia kun lasketaan matkalentonopeutta tehon funktiona.

Kuten on jo todettu, vaakalennossa vastus on yhtä suuri kuin työntövoima. Kun tästä yhtälöstä ratkaisee nopeuden, voidaan laskea kunkin koneen nopeus eri tehoasetuksilla. Amfibio-koneen ja pyöräkoneen matkalentonopeudet eri tehoasetuksilla näkyvät kuvassa 18.



**Kuva 18** Ikaruksen lentonopeus tehon funktiona

Kuvasta 18 nähdään, että vastus ja paino heikentävät matkalentonopeutta n. 14 % ja se pysyy karkeasti vakiona tehojen ollessa 65–100%. Koska polttoaineen kulutus on suoraan verrannollinen moottoritehoihin, kasvaa tässä tapauksessa myös PA-kulutus 14 %, jos halutaan lentää amfibio-koneella samalla lentonopeudella kuin pyöräkoneella.

Englanninkielinen lento- ja käyttöohjekirja ilmoittaa maksimi vaakalentonopeuden olevan Ikaruksella 120 mph eli muutettuna 193 km/h, joka on hyvin lähellä laskettua maksiminopeutta /25, s.24/ Oli yllättävää, että suomen- ja saksankielisessä lento- ja käyttöohjekirjassa ei ole lainkaan ilmoitettu maksimilentonopeutta. Ilmoitettuna oli vain suurin sallittu lentonopeus.

## 12.2 Sakkaus vaakalennossa /1, s.347/

Seuraavaksi tarkastellaan Ikaruksen sakkausnopeutta, joka on lentäjälle hyvin oleellinen tieto lennettäessä. Ultrakoneilla sakkausnopeuden on pysyttävä alle 65 km/h, jotta se voitaisiin luokitella ultrakevyeksi lentokoneeksi. /14/

Kuvasta 17 nähdään, että työntövoimaa on selvästi enemmän kuin vastusta alhaisilla nopeuksilla, joten teoriassa voitaisiin lentää hyvin pienillä nopeuksilla työntövoiman ansiosta. Käytännössä asia ei ole näin, koska pienintä mahdollista lentonopeutta rajoittaa kuitenkin sakkaus. Koska lentonopeus pienenee, joutuu lentokone lentämään suuremmalla kohtauskulmalla, jotta nostovoimaa olisi riittävästi vaakalennossa. Kohtauskulmaa kasvattamalla lisätään nostovoimakerrointa, jolloin nostovoima kasvaa voittaakseen alaspäin suuntautuvan voiman, painovoiman. Kun kohtauskulma kasvaa riittävän suureksi alkaa virtaus irrota siiven pinnasta, jolloin nostovoima katoaa /1, s.87/. Tätä ilmiötä kutsutaan sakkaukseksi.

Sakkaustyyppisiä on olemassa kolme eri tyyppiä. Tavallisin sakkaustyyppi on sakkaus vaakalennossa, kun kuormitusmoninkerta on  $n = 1$ . Sakkaus vaakalennossa tapahtuu tyypillisesti kun kohtauskulma on noin 15–18°. Kun kuormitusmoninkerta poikkeaa tästä  $n > 1$ , puhutaan G-sakkauksesta; tai kun lennetään kaartolennossa, puhutaan kaartosakkauksesta. Tässä tarkastelussa tutkitaan ainoastaan Ikaruksen sakkausnopeutta vaakalennossa. /1, s.381/

Amfibio-koneen arvioitua sakkausnopeutta tarkastellaan eri lentoasuuissa, koska lentäjä operoi lentokonettaan yleensä kaikissa eri lentoasuuissa. Myös JAR-22 mukaan ultran sakkausnopeus on määritettävä yhdelle tai useammalle lentoasulle /13/. Tämän takia amfibio-koneen sakkausnopeutta tarkastellaan seuraavissa lentoasuuissa: laskusiivekkeet täysin alhaalla, laskusiivekkeet 15° ja laskusiivekkeet sisällä. Tarkastelussa käytetään määräysten mukaan lentokoneen maksimilentoonlähtöpainoa.

Sakkauksen tarkastelu eroaa hieman edellisistä tarkasteluista sillä tavalla, että amfibio-koneen saatuja arvoja verrataan suoraan valmistajan antamiin arvoihin, eikä pyöräkoneen laskettuihin arvoihin. Tämä johtuu siitä, että kaava, jolla sakkausnopeus lasketaan, sisältää nostovoimakertoimen maksimin, joka lasketaan suoraan valmistajan antamilla tiedoilla. Jos nyt pyöräkoneen sakkausnopeutta laskettaisiin näillä arvoilla, saataisiin sama sakkausnopeus kuin valmistajan antama, mikä johtuu samoista lähtöarvoista. Siksi on turha verrata amfibio-koneen laskettuja arvoja pyörä-koneen saattuihin arvoihin.

Sakkausnopeus vaakalennossa voidaan määrittää kaavalla 31. Kaavasta 31 nähdään, että sakkausnopeus riippuu siipikuormituksesta  $mg/s$ , ilmantiheydestä  $\rho$  ja nostovoimakertoimen maksimista  $C_{Lmax}$ . Tarkastelussa ainoastaan nostovoimakertoimen maksimi  $C_{Lmax}$  tuottaa vähän vaikeutta, koska se on vielä tuntematon. Nostovoimakertoimen maksimi voidaan laskea, kun se johdetaan kaavasta 31 ja käyttämällä valmistajan antamia sakkausnopeuksia eri lentoasuisissa. Sakkausnopeuden ja  $C_{Lmax}$ :n kaavat näyttävät seuraavilta:

$$V_s = \sqrt{\frac{2mg}{C_{Lmax} \rho S}} \quad (31)$$

$$\rightarrow C_{Lmax} = \frac{2mg}{V_s^2 \rho S} \quad (32)$$

Pohdiskelun jälkeen totesin, että pyöräkoneella ja amfibio-koneella on sama  $C_{Lmax}$ , koska asentamalla amfibio-ponttoneita koneeseen ei vaikuteta millään tavalla lentokoneen nostovoimiin synnyttäviin laitteisiin. Sen sijaan on muita tekijöitä, jotka nostavat amfibio-koneen sakkausnopeutta, kuten painorajan ja vastuksen suureneminen. Korkeampi painoraja tarkoittaa vain sitä, että tarvitaan suurempi nopeus painovoiman voittamiseen eli sakkausnopeus

kasvaa. Lentokoneen lisävastus ei vaikuta sakkausnopeuteen, koska se vastustaa vain lentokoneen lentämistä eteenpäin.

Lentokoneissa nostovoiman aiheuttaa pääsääntöisesti siipi, mutta tavallisesti pelkän siiven  $C_{Lmax}$  ei riitä (suuri sakkausnopeus), ja siksi on kehitetty muita nostovoimaa lisääviä laitteita. Ikaruksen siipi on profiililtaan NACA 2412, joka on hyvin käytetty profiili hitaissa lentokoneissa /23/. NACA 2412 sopii hyvin ultrakevyelle lentokoneelle, koska sillä on hyvät sakkausominaisuudet ja siiven karheudella on pieni vaikutus nostovoimaan /26, s.5/. Suurin haittapuoli on se, että NACA 2412-profiililla on suhteellisen pieni  $C_{Lmax}$ , jonka takia on jouduttu lisäämään laitteita, jotka parantavat siiven  $C_{Lmax}$ :ia /26, s.5/.

Valmistajan ilmoittamat sakkausnopeudet eri lentoasuisissa on kerrottu taulukossa yhdeksän; niiden avulla voidaan laskea  $C_{Lmax}$  kaavalla 32:

$$V_{s1} C_{Lmax}: C_{Lmax} = \frac{2mg}{V_s^2 \rho S} = \frac{2 \cdot 450 \text{ kg} \cdot 9,81}{\left(21,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 12,5 \text{ m}^2} = 1,31$$

#### Taulukko 9 Ikaruksen sakkausnopeudet eri lentoasuisissa

Lyhenne	Laskusiivekkeet	Sakkausnopeus
Vs1	-4,5°	75,8 km/h (21,0 m/s)
Vs2	15°	66,7 km/h (18,5 m/s)
Vs0	42°	59,3 km/h (16,5 m/s)

Laskemalla samalla tavalla saatiin  $V_{s2}$ :n  $C_{Lmax}=1,68$  ja  $V_{s0}$ :n  $C_{Lmax}=2,12$ . Maksimi nostovoimakerroin  $C_{Lmax}$  on tyypillisesti 1,3 ja 1,6 välillä. Vastaavasti NACA 2412-profiilin maksimi nostovoimakerroin on kerrottu olevan noin  $C_{Lmax}=1,6$  /1, s.87/, mikä vahvistaa . . Koska NACA 2412-profiilin maksiminostovoimakerroin on lähellä laskettuja arvoja, voidaan toteaa, että laskut pitää paikkaansa. Saaduista arvoista nähdään myös, että

laskusiivekkeet nostavat merkittävästi lentokoneen (siiven) maksimi nostovoimakertoa  $C_{Lmax}$ .

Seuraavaksi lasketaan kaavalla 31 amfibio-koneen sakkausnopeudet eri lentoasuisissa. Paino on tällä kertaa vesilentokoneen maksimi lentoonlätöpaino  $m=500\text{kg}$  ja  $C_{Lmax}$  on kunkin lentoasun laskettu  $C_{Lmax}$ .

$$V_{s1}: \quad V_s = \sqrt{\frac{2mg}{C_{Lmax} \rho S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 500\text{kg} \cdot 9,81}{1,14 \cdot 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 12,5\text{m}^2}} = 22,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 79,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Laskemalla samalla tavalla saatiin amfibio-koneen  $V_{s2}$  ja  $V_{s0}$  sakkausnopeudet  $V_{s2} = 70,3 \text{ km/h}$  ja  $V_{s0} = 62,6 \text{ km/h}$ . Huomataan, että ero sakkausnopeuksissa ei ole suuri, ja kun laskusiivekkeet ovat  $45^\circ$ , pysytään edelleen  $65 \text{ km/h}$  sakkausnopeuden rajan alapuolella. Pyörä- ja amfibio-koneen sakkausnopeudet on kerätty taulukkoon 10, josta näkyvät paremmin koneiden sakkausnopeuksien erot.

**Taulukko 10** Lasketut sakkausnopeudet eri lentoasuisissa

Sakkaus	Laskusiivekkeet	Pyörä-koneen $V_s$ (valmistaja)	Amfibio-koneen $V_s$ (laskettu)	Koneiden sakkausnopeu- ksien ero
$V_{s1}$	$-4,5^\circ$	75,8 km/h	79,6 km/h	+3,8 km/h
$V_{s2}$	$15^\circ$	66,7 km/h	70,3 km/h	+3,6 km/h
$V_{s0}$	$42^\circ$	59,3 km/h	62,6 km/h	+3,3 km/h

Kaavasta 31 huomataan, että sakkaus kasvaa verrannollisena tekijään  $\frac{1}{\sqrt{\rho}}$ , kun lentokorkeus kasvaa. Tämä on merkittävää, kun mietitään lentokoneen nopeusmittarin pitot-staattiseen järjestelmään perustuvaa toimintaa. Indikoitu nopeus  $V_{IAS}$  on aina verrannollinen tosi-ilmanopeuteen  $V_{TAS}$  suhteen  $V_{IAS} \approx$

$\sqrt{\rho} V_{TAS}$  mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että sakkausta laskettaessa sakkausnopeus on sama kuin todellinen ilmannoisuus ( $V_{IAS} \approx V_{TAS}$ ). Tämä on ohjaajalle hyvä, koska sakkaus alkaa aina samalla nopeusmittarin indikoidulla nopeudella korkeudesta riippumatta.

## 12.3 Kantama /1, s.352-355/

Lentokoneen kantamalla tarkoitetaan sitä pisintä matkaa, mitä lentokone voi lentää täydellä tankilla. Pitkä kantama on lentokoneelle oleellinen suorituskykyarvo, koska lentokoneethan ovat alun perin suunniteltu matkustamiseen. Lyhyt kantama tarkoittaa useampia laskuja tankkauksia varten verrattuna pitempään kantamaan. Tavallaan lyhyt kantama lisää onnettomuusriskiä, koska se pakottaa lentäjän tekemään enemmän laskuja ja nousuja, jolloin suurin osa lento-onnettomuuksistakin yleensä tapahtuu.

Ominaiskantama voidaan laskea kaavalla 33, jolloin lentokoneen kuvitellaan lähtevän vaakalentoonsuoraan ilmasta. Lentokoneen suurin kantama ei ole sama kuin ominaiskantama, koska ominaiskantamassa ei oteta huomioon laskussa tai nousussa tapahtuvaa lentoa. Todellinen kantama on tavallisesti 20–30 % lyhyempi kuin ominaiskantama. Laskuissa käytän 30 % virhettä. Yhtälö, jolla ominaiskantama lasketaan, on seuraava:

$$X = \frac{\eta E}{b' g} \ln \left( \frac{m_i}{m_f} \right) \quad (33)$$

Kaavasta 33 huomataan, että kantama  $X$  on suoraan verrannollinen liitolukuun  $E$  ja potkurin hyötysuhteeseen  $\eta$ , ja kääntäen verrannollinen polttoaineen ominaiskulutukseen  $b'$ . Sen sijaan lentokoneen paino alussa  $m_i$  ja lopussa  $m_f$  vaikuttaa logaritmisesti ominaiskantamaan. Tämä painoero syntyy, kun lentokone kuluttaa polttoainetta lennon aikana, jolloin lentokoneen paino

laskee. Luonnollisesti polttoainemäärällä on myös suuri vaikutus lentokoneen kantamaan.

Ikaruksen kantamatarkastelussa tulee huomioida liitoluvun ja painon ero pyörä- ja amfibio-koneessa. Amfibio-koneen paino kasvaa, mutta maksimi polttoainemäärä pysyy silti samana kuin pyöräkoneessa. Tämä tarkoittaa sitä, että käytettävissä oleva polttoainemäärä suhteessa lentoonlähtöpainoon laskee verrattuna pyöräkoneeseen. Myös liitoluku putoaa, mikä vaikuttaa negatiivisesti ominaiskantamaan. Lasketaan pyörä- ja amfibio-koneen ominaiskantama ja otetaan 30 % virhe huomioon:

$$\text{Pyöräkone: } X = \frac{0,8 \cdot 11}{5,0 \cdot 10^{-8} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} \ln\left(\frac{450kg}{400kg}\right) \cdot 0,7 = 1479 \text{ km}$$

$$\text{Amfibio-kone: } X = \frac{0,8 \cdot 9,1}{5,0 \cdot 10^{-8} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} \ln\left(\frac{500kg}{450kg}\right) \cdot 0,7 = 1094 \text{ km}$$

Valmistaja antaa Ikaruksen kantamaksi 650 km tyynessä ilmakehässä, joka eroaa arvioidusta kantamasta merkittävästi /22, s.28/. Tämän suuren eron vuoksi en pidä Ikaruksen kantamatarkastusta luotettavana. Syynä on pakko olla liian hyvä polttoaineen ominaiskulutus ja/tai eroava pisin toimintamatkan nopeus. Pisin toimintamatkan nopeus on laskettu olevan amfibiokoneella 88,6 km/h, mikä eroaa merkittävästi lähteiden antamasta arvosta 140 km/h /22, s.28/. Tämä toimintamatkan nopeuksien ero ei kuitenkaan pysty yksinään selittämään lasketun kantaman suurta eroa lähteiden ilmoittamaan kantamaan.

Teoriassa voidaan kuitenkin laskea, kuinka paljon amfibio-koneen kantama on verrattuna pyöräkoneeseen. Kun amfibio-koneen kantama jaetaan pyöräkoneen kantamalla, saadaan amfibio-koneen kantamasta n. 27 % lyhyempi. Tällä teoreettisella suhteella saadaan amfibio-koneen uudeksi kantamaksi noin 480 km, mikä kuulostaa paljon paremmalta kuin edellinen arvioitu kantama 1094 km.

Kuten sakkauksen tarkastelussa, kaavasta 33 huomataan, että taloudellisin lentonopeus kasvaa verrannollisena tekijään  $\frac{1}{\sqrt{\rho}}$ . Tämä tarkoittaa sitä, että taloudellisin nopeus saavutetaan aina samalla nopeusmittarin ilmoittamalla nopeudella korkeudesta riippumatta.

## 13 OMIA POHDINTOJA TULOKSISTA

Tässä osiossa pohditaan amfibio-koneesta saatujen suorituskykyarvioiden tuloksia, ja samalla verrataan saatuja tuloksia kellukekoneen lento- ja käyttöohjeiden ilmoittamiin suorituskykyarvoihin /27/. Kellukekoneen kiinnityskonstruktion putket ovat varmaan profiililtaan muotoprofiilista, joka on monta kertaa aerodynaamisempi kuin sylinteriputki. Tämän takia on hyvä, jos amfibio-koneen suorituskykyarvot ovat yhtä hyvät tai edes lähellä kellukekoneen arvoja. Amfibio-koneesta saadut suorituskykyarviot näkyvät myös liitteessä 3 (liite 3). Tulokset ovat kuitenkin arvioita, eikä niitä tule käyttää amfibio-koneen todellisina suorituskykyarvoina. Todelliset suorituskykyarvot tulisi määrittää koelennon yhteydessä.

### **Lentoonlähtö ja nousulento**

Amfibio-koneella on suurempi paino ja vastus kuin pyöräkoneella, mikä vaikuttaa suoraan amfibio-koneen lentoonlähtöön ja nousulento. Amfibio-koneella on arvioitu olevan 15 - 20 % alempi kohoamisnopeus kuin pyöräkoneella. Vastaavasti kellukekoneen kohoamisnopeus on arviolta olevan noin 10 - 20 % huonompi kuin vastaavalla pyöräkoneella, riippuen mitä lähteitä vertailee /27, s.9;25, s.25/.

Verrattuna kellukekoneeseen amfibio-koneen kohoamisnopeus pysyy suunnilleen yhtä hyvänä, mutta verrattuna pyöräkoneeseen ero on

huomattava. Voisin arvata, että amfibio-ponttoneilla saadaan yksi huomattava etu lentoonlähdössä verrattuna kumikellukkeisiin. Uskon, että lentoonlähdössä amfibio-ponttoneilla saavutetaan lyhyempi nousumatka kuin kellukekoneella, johtuen amfibio-ponttonien sulavammasta muodosta ja sileämmästä pinnasta. Vaikka tuloksien tarkastelu osoitti, että saadut tulokset eivät ole täysin luotettavia, uskon kuitenkin, että arvioitu 15 - 20 % heikentyminen kohoamisnopeudessa on hyvin lähellä totuutta.

### **Matkalento**

Matkalennossa amfibio-konetta hidastaa eniten ponttonien aiheuttama lisävastus. Amfibio-koneella on arvioitu olevan n. 14 % hitaampi matkalentonopeus. Polttoaineen kulutus on saman verran suurempi kuin pyöräkoneella lennettäessä samalla matkalentonopeudella. Kellukekoneella tämä arvo on 10 - 15 % /27, s.4/. Amfibio-koneen kantaman on arvioitu putoavan noin 27 % verrattuna pyöräkoneeseen. Kellukekoneelle on ihmeellisesti ilmoitettu toiminta-ajaksi 5 h, mikä on pitempi toiminta-aika kuin pyöräkoneella /27, s10/. Laskettuna pisimmän toimintamatkan nopeuden (140 km/h) ja 650 km kantaman mukaan pyöräkoneen toiminta-ajaksi saadaan noin 4,6 h eli lyhyempi toiminta-aika kuin kellukekoneella /22, s.28/.

Uskon, että amfibio-koneen arvioitu kantama pitää enemmän paikkaansa kuin kellukekoneen ilmoitettu kantama, vaikka kummallakin koneella on suurin piirtein sama lentoonlähtöpaino ja vastus. Verrattuna pyöräkoneeseen amfibio-koneen kantama tippuu roimasti, mikä on kuitenkin aika ymmärrettävää lisääntyneen vastuksen ja painon takia.

Normaalisti 14 % pudotus matkalentonopeudessa on hyvin vakava juttu, mutta kun miettii amfibio-ponttonien ja kiinnityskonstruktion muotoa ja kokoa voisi helposti arvata, että matkalentonopeuden pudotus olisi paljon suurempi.

Tuloksien tarkastelun osoittaa, että laskennalliset suorituskykyarvot pitävät hyvin paikkaansa. Tämän takia pidän Ikaruksen vaakalentosuorituskykyarviota hyvin onnistuneena.

### **Hidaslento, sakkaus ja laskusiivekkeiden käyttö**

Hidaslennossa Ikaruksen paino vaikuttaa enemmän liikehtimiskykyyn kuin sen vastus. Amfibio-koneen paras liitoluku on arvioitu olevan  $E_{max} = 9,1$ , mikä on noin 17 % huonompi kuin pyöräkoneella. Tämän takia amfibio-koneen vajoamisnopeus ja lentonopeus (ratanopeus) hidastuu noin 8-10 %. Amfibio-koneella sakkausnopeus kasvaa kaikilla lentoasuilla noin 4 km/h, mutta pysyy kuitenkin alle sallitun rajan (65 km/h) käytettäessä laskusiivekkeitä 2-asennossa (lasku). Kellukekoneelle on ilmoitettu sakkausnopeuden olevan alle 65 km/h (<65km/h), mutta ei tarkemmin missä lentoasussa /27, s9/.

Oman näkemykseni mukaan amfibio-koneen lisävastus ei estäisi millään tavalla käyttämästä laskusiivekkeitä samalla tavalla kuin pyöräkoneella. Minusta tämä on hyvä asia, koska laskusiivekkeitten käyttö on lentämisen kannalta hyvin tärkeä apuväline. Laskusiivekkeitä käytettäessä pitää kuitenkin huomioida se, että amfibio-koneen aiheuttaman lisävastuksen voittamiseksi tarvitaan enemmän tehoja kuin pyöräkoneella. Erittäin positiivista on se, että amfibio-koneen sakkausnopeus pysyy alimmillaan helposti alle 65 km/h. Liitolukukin pysyy yllättävän hyvänä, jos miettii kuinka paljon amfibio-ponttonien asennus rikkoo lentokoneen sulavuutta.

Tuloksien tarkastelu osoitti, että Ikaruksen liukulennon suorituskykyarviota voidaan pitää luotettavana. Hyvien tulosten ja tarkastelun takia pidän tätä lentoprofiilin suorituskykyarviota erittäin onnistuneena.

## 14 PROJEKTIN YHTEENVETO

Amfibio-projektia lähdettiin vetämään jo alusta alkaen suurella innolla ja mielenkiinnolla. Projektin edistystä hidasti kuitenkin kaikkien projektijäsenien kokemattomuus tämän kaltaisessa projektissa. Tämän takia amfibio-projekti kehittyi hitaasti, ja aikaa kului paljon tiedon etsimiseen ja vielä enemmän sen ymmärtämiseen. Varsinkin kuormien määrittäminen tuotti alussa suurta päänvaivaa.

Kuormien määrittäminen oli tavallaan ensimmäinen välitavoite projektissamme, koska se määräsi pitkälti, kuinka kiinnitysrakenteen tulisi suunnitella. Kuormien suuruudet vaihtelivat alussa lähes joka päivä, mikä johtuu lähinnä siitä, että kuormien soveltaminen ymmärrettiin koko ajan eri tavalla. Tästä huolimatta saimme loppujen lopuksi realistisia rajakuormia, jonka jälkeen pääsimme suunnittelemaan kiinnityskonstruktiota tosi toimin. Kuormia laskettaessa oli yllättävää, kuinka veden aiheuttama vastus kuormittava rakennetta.

Kun rakennusluvan vaatimat selvitykset saatiin selville, aloitin amfibio-koneen suorituskykyarvion tutkimisen. Alussa meni kuitenkin hetki, ennen kuin aloitin varsinaisen suorituskykyarvion. Alussa minun piti tehdä suunnitelma, kuinka suorituskykyarvio kannattasi parhaiten tehdä. Suunnitelmassa piti pohtia millä tavalla tutkisin Ikaruksen suorituskykyä ja miten toteaisin tuloksien luotettavuuden. Tämän jälkeen aloitin varsinaisen suorituskykyarvion, mikä osoitti, että amfibio-ponttonien asentaminen heikentää merkittävästi Ikaruksen suorituskykyä kaikissa lentoprofiileissa. Tuloksien mukaan alentunut suorituskyky pysyy kuitenkin sallittujen rajojen sisällä eikä paljon eroa Ikaruksen suorituskyvystä lennettäessä kumikellukkeilla. Vertailu todisti tuloksien olevan luotettavia kaikissa lentoprofiileissa, lukuun ottamatta nousulentoa.

Amfibio-projektia tehdessä tuli tutkittua monta eri ilmailumääräystä, jotka olivat amfibio-projektin kannalta oleellisia. Ilmailuviranomaisten asettamat määräykset piti perin pohjin tutkia ja ymmärtää, jotta suunniteltu rakenne saisi ilmailuhallinnon hyväksynnän. Pitkän tutkimisen jälkeen, huomasin, että ilmailumääräykset asettavat vaatimuksia muun muassa Ikaruksen suorituskyvyille, ponttonien kiinnitysrakenteen kestävyydelle ja sen toimivuudelle. Suunnittelussa otimme nämä kaikki vaatimukset huomioon.

Kaiken kaikkiaan projektin yhteistyö onnistui minun mielestäni hyvin, mutta kuten kaikissa projekteissa parannettavaa olisi ollut. Suurin parannus olisi minun mielestäni ollut projektin johtamisessa ja suunnittelussa. Johtamisessa olisi ollut suotavaa käyttää kovempia otteita etenkin tehtävien jaossa, mutta myös projektijäsenien tehokkuuden valvonnassa. Suunnitelman laatiminen olisi ollut myös erittäin suotavaa projektin kannalta. Hyvä suunnitelma olisi auttanut projektin kulkua kertomalla missä mennään ja mitä pitäisi vielä tehdä.

## 15 OMIA POHDINTOJA

Oman työni aiheet muuttuivat amfibio-projektin aikana monta kertaa. Alussa tavoitteena oli tehdä opinnäytetyö pelkästään koekuormituksesta, mutta tämän aiheen hylkäsin, sillä ei ollut tavallaan pakollinen amfibio-projektia varten. Uskon, että aiheena se olisi ollut hyvin mielenkiintoinen ja opettava.

Aiheeltaan suorituskykyarvio ei ollut mikään pieni tehtävä ja rehellisesti sanottua minun mielestäni se oli turhan aikaa vievää ja työlästä. Aikaa meni monta kertaa enemmän asian ymmärtämiseen kuin sen tekemiseen, minun tapauksessani laskemiseen. Isoin haaste oli arvioida amfibio-koneelle vastus, mitkä itse lentokone, amfibio-ponttonit ja kiinnitysrakenteet aiheuttivat. Vastuksen määrittäminen oli pakko tehdä, koska se vaikutti jokaisessa

lentoprofiilin tarkastelussa. Suorituskykyarviota olisi tietysti ollut mahdollista tutkia vielä enemmän, mutta päätin kuitenkin tutkia oleellisemmat suorituskykyarvot. Koska suorituskykyarvio on tiedoiltaan todella laaja aihe, vaarana oli lähteä tutkimaan liian monia asioita, jolloin arvion luotettavuus kärsisi. Vastakohtana tähän oli lähteä tutkimaan asioita liian tarkasti, jolloin aikaa olisi mennyt enemmän työn laskemiseen kuin tulosten saavuttamiseen. Haasteena oli löytää ns. kultainen keskitie, jota seuraamalla löysi hyvän tasapainon suorituskykyarvion tarkkuuden ja kattavuuden välille.

Aiheena suorituskykyarvio oli mielestäni todella kiinnostava, koska minua kiinnostavat paljon lentokoneen lento-ominaisuudet ja varmaan vielä enemmän lentokoneen suorituskykyyn vaikuttavien asioiden tutkiminen. Osa kiinnostuksesta johtuu lähinnä siitä, että harrastan itse lennokkien lennättämistä, mihin kuuluu usein lennokkien aerodynaamisuuden parantaminen.

Ilmailuviranomaisten asettamien ilmailumääräyksien tutkiminen oli myös hyvin haastavaa ja vei paljon aikaa. Ymmärtämistä ei vaikeuttanut itse englanninkieli, vaan asiatekstin oma sanasto. Määräykset on tehty tarkoituksella hyvin yksinkertaisiksi, mutta niitä voi olla silti vaikea ymmärtää. Joskus määräykset oli tehty liiankin yksinkertaisiksi, koska niiden soveltaminen oli selostettu liian suppeasti.

Lähteiden käyttö toi myös oman haasteensa opinnäytetyölleni. Haasteena oli löytää käyttökelpoisia lähteitä, missä kaikki tarvittavat yksityiskohdat oli kerrottu. Myös eri moottori-potkuri yhdistelmät, lentoasut ja lentokoneen painoasetukset olivat haasteellisia, koska suorituskykyarvion vertailun kannalta oli tärkeitä, että vertailtiin samoja koneita. Yksikin puuttuva tieto teki vertailusta epäluotettavan.

Kaikesta huolimatta onnistuin opinnäytetyössäni hyvin ja sain omasta mielestäni luotettavia tuloksia.

## 16 LÄHDELUETTELO

### Painetut lähteet

- 1 Laine Seppo, Hoffren Jaakko, Renko Kari, Lentokoneen aerodynamiikka lentomekaniikka 1. painos. WSOY Oppimateriaalit Oy. 2006.

### Sähköiset lähteet

- 2 Kevytilmailu Ry [www-sivu]. [viitattu 21.7.2009]  
Saatavissa: [www.kevytilmailu.net](http://www.kevytilmailu.net)
- 3 Comco Ikarus GmbH [www-sivu]. [viitattu 23.7.2009]  
Saatavissa: <http://www.comco-ikarus.de/>
- 4 Ilmailuhallinto [www-sivu]. [viitattu 23.7.2009]  
Saatavissa: <http://www.ilmailuhallinto.fi/esittely/>
- 5 EASA [www-sivu]. [viitattu 23.7.2009]  
Saatavissa: [http://www.easa.eu.int/ws\\_prod/g\\_fi/g\\_about.php](http://www.easa.eu.int/ws_prod/g_fi/g_about.php)
- 6 ICAO [www-sivu]. [viitattu 24.7.2009]  
Saatavissa: [http://www.icao.int/icao/en/m\\_about.html](http://www.icao.int/icao/en/m_about.html)
- 7 Ilmailuhallinto [www – sivu]. [Viitattu 10.08.2009]  
Luettelo voimassa olevista ilmailumääräyksistä  
<http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imts-luettelo/Normit.pdf>
- 8 EASA [www – sivu]. [Viitattu 12.08.2009]  
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.521, Water loads conditions  
[http://easa.europa.eu/ws\\_prod/g/doc/Agency\\_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf](http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf)
- 9 Ilmailuhallinto [www- sivu]. [Viitattu 13.08.2009]  
Suomalaisten ultakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirja, Kohta 477, Saatavissa:  
[http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/Julkaisusarja\\_L/tarkastuskasikirja\\_ultra\\_2003.pdf](http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/Julkaisusarja_L/tarkastuskasikirja_ultra_2003.pdf)
- 10 Ilmailuhallinto [www-sivu]. [viitattu 15.8.2009]  
Ilmailumääräys PEL M2-70  
Saatavissa:  
[http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-pel-m/pem2\\_70.pdf](http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-pel-m/pem2_70.pdf)

- 11 Ilmailuhallinto [www-sivu]. [viitattu 23.7.2009]  
Ilmailumääräys PEL M2-8  
Saatavissa:  
[http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-ops-m/opm2\\_08.pdf](http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-ops-m/opm2_08.pdf)
- 12 Ilmailuhallinto [www-sivu]. [viitattu 23.7.2009]  
Ilmailumääräys OPS M1-1 Saatavissa:  
[http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-ops-m/opm1\\_01.pdf](http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-ops-m/opm1_01.pdf)
- 13 CAA [www-sivu]. [viitattu 23.7.2009]  
Suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirja  
Saatavissa:  
[http://www.civilaviationauthority.fi/files/lth/Julkaisusarja\\_L/tarkastuskasikirja\\_ultra\\_2003.pdf](http://www.civilaviationauthority.fi/files/lth/Julkaisusarja_L/tarkastuskasikirja_ultra_2003.pdf)
- 14 Ilmailuhallinto [www-sivu]. [viitattu 23.7.2009]  
Ilmailumääräys AIR M5-10 26.1.2004 Ultrakevyiden lentokoneiden lentokelpoisuus, valmistus, rekisteröinti ja huolto Saatavissa:  
[http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-air-m/aim5\\_10.pdf](http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-air-m/aim5_10.pdf)
- 15 Ilmailuhallinto [www-sivu]. [viitattu 23.7.2009]  
Ilmailumääräys AIR M5-10 Soveltamisohje N:o 9 m2 1.9.2004  
Saatavissa:  
[http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-ops-m/opm2\\_08.pdf](http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-ops-m/opm2_08.pdf)
- 16 EASA [www – sivu]. [Viitattu 11.08.2009]  
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.525, Application of loads  
[http://easa.europa.eu/ws\\_prod/g/doc/Agency\\_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf](http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf)
- 17 EASA [www – sivu]. [Viitattu 12.08.2009]  
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.521, Water loads conditions  
[http://easa.europa.eu/ws\\_prod/g/doc/Agency\\_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf](http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf)
- 18 EASA [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]  
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.301, loads  
[http://easa.europa.eu/ws\\_prod/g/doc/Agency\\_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf](http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf)
- 19 EASA [www – sivu]. [Viitattu 11.08.2009]  
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.535, Auxiliary float loads  
[http://easa.europa.eu/ws\\_prod/g/doc/Agency\\_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf](http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf)

- 20 EASA [www – sivu]. [Viitattu 10.08.2009]  
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.527 , Hull and main float load factors  
[http://easa.europa.eu/ws\\_prod/g/doc/Agency\\_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf](http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf)
- 21 EASA [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]  
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.531 , Hull and main float takeoff condition  
[http://easa.europa.eu/ws\\_prod/g/doc/Agency\\_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf](http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf)
- 22 Kuopion ilmailuyhdistys ry [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]  
Ikarus C42 lento- ja käyttöohjekirja  
Saatavissa: <http://www.kiy.fi/Lentokasikirja.pdf>
- 23 BMAA [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]  
British Microlight Aircraft Association - Ikarus C42 Flight test  
Saatavissa: <http://www.bmaa.org/pubsarticle.asp?MagArticleID=70>
- 24 Comco Ikarus GmbH [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]  
Käsikirja  
Saatavissa:  
[http://www.comco-ikarus.de/Handbuecher/C42B/C42B\\_08\\_01.pdf](http://www.comco-ikarus.de/Handbuecher/C42B/C42B_08_01.pdf)
- 25 Aerosport Ltd [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]  
Ikarus C42 lento- ja käyttöohjekäsikirja  
Saatavissa:  
<http://www.aerosportuk.com/pages/documents/ownersmanual.pdf>
- 26 Marzocca, Pier, Clarkson University [www – sivu].  
[Viitattu 13.08.2009]  
The NACA airfoil series Saatavissa: <http://people.clarkson.edu/~pmarzoc/AE429/The%20NACA%20airfoil%20series.pdf>
- 27 Kuopion ilmailuyhdistys ry [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]  
Ikarus C42 lento- ja käyttöohjekirjan vesi- ja suksilentoliite  
Saatavissa: <http://www.kiy.fi/Liitteet.pdf>

## 17 LIITTEET

1. Sähköpostikeskustelu Markku Hiedanpään kanssa
2. ROTAX 912 UL moottorin suoritusarvot
3. Ikarus C42 -suorituskykyarvio amfibio-ponttoneilla

From	Hiedanpää Markku <markku.hiedanpaa@ilmailuhallinto.fi>
Sent	Thursday, May 7, 2009 3:09 pm
To	"Janne Albäck" <janne.alback@me.tamk.fi>
Subject	VS: Kellukkeiden kiinnitykseen tarvittava lupa

Tervehdys

Lomakkeeksi käy LU3520 jos sen mukaan liitetään lomakkeessa vaaditut selvitykset:

"Tiedot omasta suunnittelusta  
Liitteet: Valmistuspiirustukset Selvitys vakavuudesta Lujuustarkastelu tai koekuormitus suunnitelma Suorituskykyarvio Paino- ja painopistearvio Muu..."

Markku Hiedanpää  
Ilmailuhallinto  
yksikön päällikkö, harrasteilmailu  
Ilmailutie 9 A, PL 186, 01531 Vantaa  
+358 9 4250 2417 GSM +358 40 719 3756

-----Alkuperäinen viesti-----  
Lähetäjä: "Janne Albäck" [mailto:janne.alback@me.tamk.fi]  
Lähetetty: 7. toukokuuta 2009 10:33  
Vastaanottaja: Hiedanpää Markku  
Aihe: Kellukkeiden kiinnitykseen tarvittava lupa

Moi!

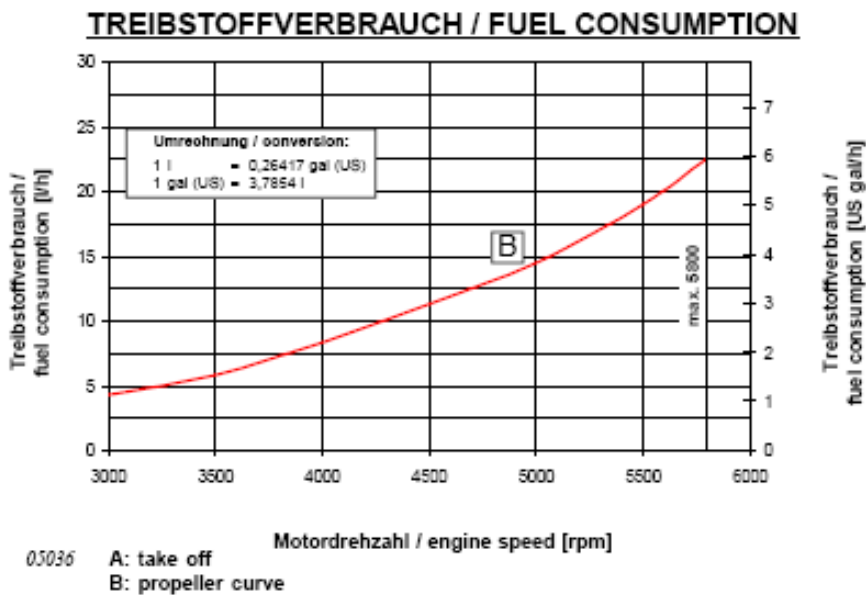
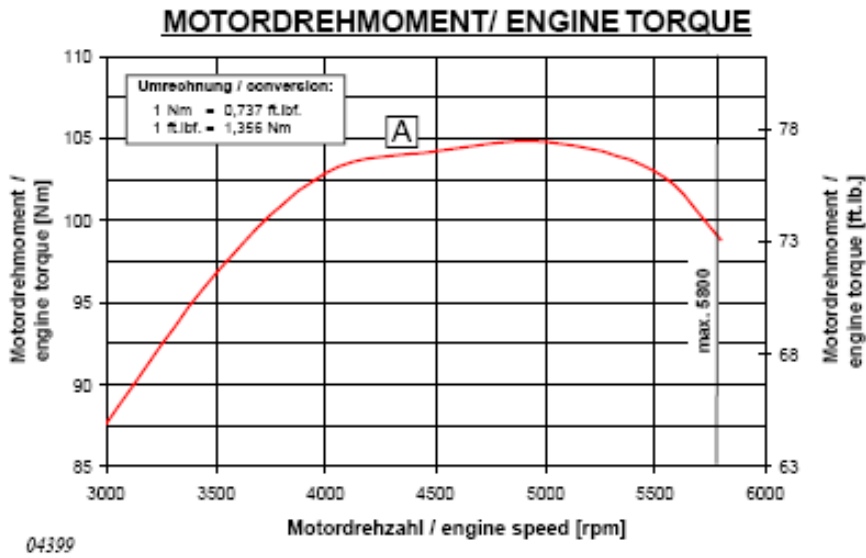
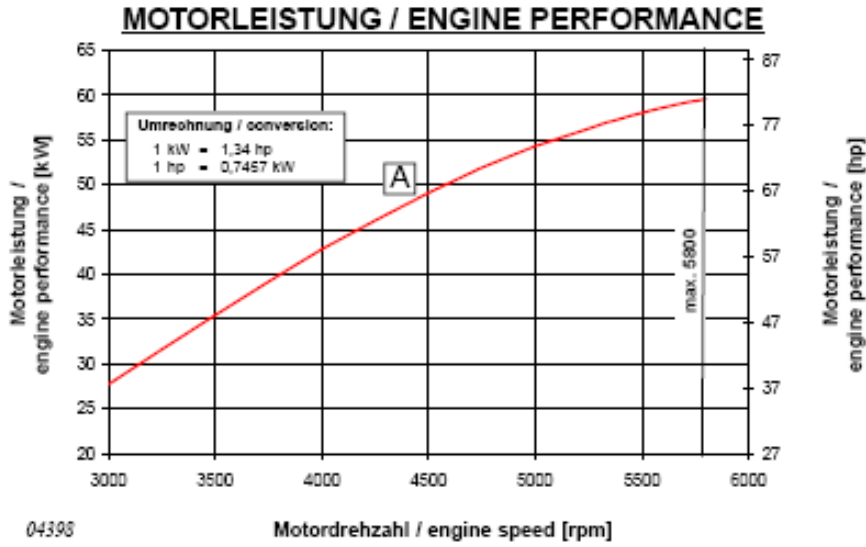
Tampereen ammattikorkeakoulun ilmailukerho käynnisti toukokuun alussa projektin kuudelle lentokonetekniikan opiskelijalle. Projektin aikana opiskelijoille olisi mahdollista suorittaa opinnäytetyönsä. Sama Ilmailukerho rakensi vuonna 2005-2006 EV-97 Eurostarin.

Projektin tarkoitus olisi kiinnittää ultrakevyt lentokoneeseen ambifiokellukkeet (pontoosit ja laskupyörät) ja tarkastettiin, että se edellyttää vähintään rakennusluvan ilmailuhallinnolta. Kellukkeet ovat valmistajan tekemät ja tehtäväksi jäisi niiden kiinnittäminen lentokoneeseen. Kiinnityksen toteuttamiseen kuuluisi esisuunnittelu, suunnittelu, lujuustarkastelu ja rakentaminen.

Riittääkö tähän harrasterakenteisen ilma-aluksen rakennus-/muutostyölupahakemus LU3520?

Janne Albäck  
Puh. +358 40 7534510

# ROTAX 912 UL DC DI



## IKARUS C42 -SUORITUSKYKYARVIO AMFIBIO-PONTTONEILLA

Ikarus C42 suorituskykyarvot perustuvat Ikaruksen omaan lento- ja käyttöohjekirjan ilmoittamiin arvoihin.

	<b>Ikarus C42</b>	<b>Ikarus C42 Amfibio</b>
<b>a. Nousukyky – merenpinnan tasalla, ei tuulta</b>		
- kierrosluvut (Rotax 912 UL)	5500 rpm	5500 rpm
- kohoaminen MTOW	4,8 m/s**	4,1 m/s*
- nopeus, paras kohoaminen	90 km/h**	90 km/h*
<b>b. Matkalento – MTOW, polttoainemäärällä 65 l</b>		
- käyntinopeus 4700 rpm (65 %)	160 km/h	142 km/h
- pisimmän toimintamatkan nopeus	140 km/h	140 km/h
- pisin toimintamatka (kantama)	n. 650 km	n. 480 km
<b>b. Suorituskyky moottori sammuneena</b>		
- MTWO	472,5 kg	500 kg
- minimi vajoaminen	2 m/s**	2,4 m/s*
- pienimmän vajoamisen ratanopeus	85 km/h**	67,3 km/h*
- paras liitosuhde	11:1	9:1
- parhaan liu'un lentonopeus	95 km/h	88,6 km/h

\*laskusiivekeasennolla 1 (-4,5°, sileänä)

\*\*laskusiivekeasennolla 2 (15°, keskiasento)

HUOM! Ikarus C42 amfibio-koneen suorituskykyarvot perustuvat laskennallisiin arvoihin.