

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka

Opinnäytetyö

Marko Penttinen

LENTOKONEEN AMFIBIO-KELLUKKEIDEN KIINNITYSRAKENNEPROJEKTI
JA PAINONHALLINTA

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2009

Yliopettaja Heikki Aalto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Lentokonetekniikka

Marko Penttinen

Lentokoneen amfibio-kellukkeiden kiinnitys rakenneprojekti ja painonhallinta

Opinnäytetyö

76 Sivua + 6 liitesivua

Työn ohjaaja

Yliopettaja Heikki Aalto

Työn teettäjä

Tampereen ammattikorkeakoulu

Elokuu 2009

Hakusanat

Ultrakevyt lentokoneprojekti, kelluke, painonhallinta, vakavuus

TIIVISTELMÄ

Tässä työssä käsitellään ultrakevyelle Ikarus C42 B-lentokoneelle suunniteltua kellukekiinnitystä yleisesti, projektin kulkua sekä konstruktion painonhallintaa ja vakavuutta. Tarkoituksena on ollut tehdä sellainen kellukekiinnityskonstruktio, jonka painonhallinta olisi hyväksytyissä rajoissa. Suunnittelu oli tarpeellista, sillä kyseisille Puddlejumper-merkkisille amfibio-kellukkeille ei ollut olemassa valmista konstruktiosuunnitelmaa Ikarus C42 B-konetta varten.

Projektin kulkua on tarkasteltu pohtimalla tehtyjä asioita sekä sitä, miten asiat olisi voinut tämän kaltaisessa projektissa tehdä paremmin. Projektipäällikön ominaisuudessa olen pohtinut omaa rooliani sekä sitä, miten seuraavan projektin aloittaisin.

Varsinainen tarkastelu on tehty Excel-ohjelmalla, josta yksinkertainen painonhallinnan havainnollistavana ohjelma on luotu. Tätä voi käyttää havainnollistamaan koneen kuormattavuutta, kun suunnitellaan lento-olento-erä kuormauksilla. Alustavista tarkasteluista on käynyt selväksi, että suunniteltu kellukekonstruktio on täysin vertailukelpoinen olemassa oleviin samantapaisiin konstruktioihin. Näin ollen painonhallinnan osalta voidaan todeta suunnitellun konstruktion olevan käyttökelpoinen käyttötarkoitukseensa.

TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

Aeronautical engineering

Marko Penttinen

Airplane float project and weight control

Engineering thesis

76 pages, 6 appendices

Thesis instructor

Supervisor Heikki Aalto

Thesis ordered

Tampere University of applied sciences

August 2009

Keywords

Ultralight airplane project, float, weight control and stability

ABSTRACT

This thesis consists of the Ikarus C42 B ultralight airplane floats mounting design project in general, and also from the weight control and stability of the float plane. The idea was to make the kind of float design that wouldn't make the plane too heavy, and also that the planes balance wouldn't go wrong. The design project was necessary because the Puddlejumper-floats manufacturer didn't have a design for the Ikarus C42 B, so we had to design it our self.

Progress and the things that were done in the project have been puzzled over, as the things that could have been done better. Been a project manager I have also puzzled my own role in the project, wondering also, how I would start projects in the future.

The main examination consists of weight control of the float plane. Also a little program using Excel-program has been made to help the pilot to calculate the center of gravity of the airplane. Preliminary examinations show that our design is comparable with almost similar existing mountings, meaning that the weight of the design is close to the existing mountings. So it can be said that the design that we have maid, is useable for its purpose.

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön alkuperäinen tarkoitus oli tehdä yhdestä amfibio-kellukeprojektin osa-alueesta tarkempi selvitys. Myöhemmin projektin edetessä aiheiksi valikoituivat painonhallintaan ja vakavuuteen liittyvät asiat, mutta tärkeänä osana myös projektin johtamiseen ja kulkuun liittyvät asiat. Olisi hyvä, että painonhallinnan laskuistani ja ohjelmasta olisi hyötyä kyseisen kellukekoneen omistajalle, kun hän miettii, miten kuormata lentokone. Toisaalta toivon tarkastelujeni antavan luottamuksen siihen, että projektin painonhallinta on tehty huolellisesti ja tarkasti, jotta lentäminen olisi turvallista.

Haluaisin erityisesti kiittää eläkkeelle jäävää lentokonetekniikan yliopettajaa Heikki Aaltoa henkilökohtaisista uhrauksista, joita hän teki, jotta projektin jäsenet saisivat tutkintotyönsä tehtyä. Toinen kiitos menee projektin jäsenille, joiden kanssa kuukaudet lipuivat rennossa, mutta ahkerassa ilmapiirissä yhteisen hyvän hyväksi. Viimeiset kiitokset luonnollisesti vanhemmilleni, jotka tukivat opiskelujani vuosien varrella.

Tampereella 24.8.2009

Marko Penttinen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
1 JOHDANTO	7
2 ILMAILUVIRANOMAISET	8
2.1 Ilmailuhallinto	8
2.2 EASA	8
2.3 Joint Aviation Authorities	9
2.4 Federal Aviation Administration	9
3 KEVYTILMAILU	9
3.1 Ultrakevyt lentokone	9
3.2 Ultrakevytlentäjän lupakirjan saamisen edellytykset	11
3.3 UL-vesilento-oikeus	12
3.4 Ultrakevytlentämisen määräykset ja vesilentotoiminta	12
4 IKARUS C42 B JA VESILENTÄMINEN	13
5 AMFIBIO-PROJEKTI	15
5.1 Johdanto	15
5.2 Projektin kulku	15
5.3 Ilmailumääräyksiä mukaisten kuormitusten määrittäminen	19
5.4 Organisaatio ja aikataulu	29
5.5 Omat pohdinnat	32
6 VAKAVUUS /1/, /2/	36
6.1 Akselit	38
6.2 Lentokoneen ohjaaminen	39
6.3 Staattinen vakavuus	39
6.4 Dynaaminen vakavuus	45
7 PAINONHALLINTA	48
7.1 Painopisteen paikka /1/, /2/	48
7.2 Painopiste liian takana tai edessä	51
8 AMFIBIO-PROJEKTIN PAINONHALLINTA JA VAKAVUUS	52
8.1 Johdanto	52
8.2 Ilmailumääräykset	53
8.3 Painonhallinta	53
8.4 Pituuskallistuskulman muutoksen vaikutus painopisteeseen	58
8.5 Ponttonien vaikutus poikittaishallitukseen sekä suunnan muutosliikkeeseen	61
8.6 Ponttonien kokonaisvaikutuksen pohdintaa	63
9 LENTO-ONNETTOMUUS HOLLOLASSA 16.2.2004 /23/	65
9.1 Tapahtumien kulku	65
9.2 Onnettomuuden syy	66
9.3 Onnettomuuden syiden pohdinta	66
10 YHTEENVETO	70
LÄHDELUETTELO	72
KUVALUETTELO	75
LIITTEET	

TUTKINTOTYÖSSÄ KÄYTETYT YKSIKÖT JA KÄSITTEET

g	Painovoiman kiihtyvyys, $9,81 \text{ m/s}^2$
C_m	Pituusmomenttikerroin
α	Kohtauskulma
M	Momentti
S	Siiven pinta-ala
\bar{c}	Keskimääräinen profiilin jänne
q	Kineettinen paine = $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$
ρ	Ilman tiheys lentokorkeudella
V	Lentonopeus
$\alpha_{L=0}$	Kohtauskulma, kun nostovoima on nolla
\bar{C}_{m0}	Pituusmomenttikerroin, kun nostovoimakerroin on nolla
C_{m0}	Pituusmomenttikerroin kun kohtauskulma on nolla
β	Sivuluisukulma
L	Nostovoima
F	Resultanttivoima
P	Heilahdusaika
$T_{1/2}$	Amplitudin puoliintumisaika
T_2	Amplitudin kahdentumisaika
R	Suuntakulmanopeus
P_1	Kallistuskulmanopeus
ϕ	Kallistuskulma
M_{acwb}	Siipirunkoyhdistelmän momentti
L_{wb}	Siipirunkoyhdistelmän nostovoimakeskiö
C.G	Painopiste
L_h	Korkeusvakaimen nostovoima
D	Vastus
M_{AC}	Nostovoimasta riippumaton momentti

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on käydä läpi pääpiirteittäin Ikarus C42 B koneeseen asennettujen kellukkeiden suunnitteluprojektia sekä tarkemmin lentokoneen painonhallintaa ja vakavuutta. Painonhallintaa on tehty koko projektin ajan, mistä myös Excel-pohjainen ohjelma on tehty, jolla painopisteen määrittäminen käy helposti.

Koko projekti lähti liikkeelle yksityishenkilön hankkimista Puddlejumper-merkkisistä amfibio-kellukkeista, joiden suunnittelu- ja asennusprojektin hän suuntasi Tampereen ammattikorkeakoululle. Tästä saimme mahdollisuuden aloittaa opettajamme Heikki Aallon valvonnassa Opinnäytetyöprojektimme.

Työn perustana olivat ilmailumääräykset, joiden pohjalta suunnittelu aloitettiin. Pyrimme tekemään työmme ammattimaisesti, laskien ja perustellen suunnitelmamme käyttäen apuna tietoteknisiä sovellutuksia, kuten ammattimaisessa lentokonetyössä tehdään.

2 ILMAILUVIRANOMAISET

Ilmailu on erittäin kansainvälinen liikennemuoto, jolla on monta erilaista tarkoitusta, aina liikennelentämisestä harrastelentämiseen. Ilmailua yleisesti pyritään säätelemään määräyksillä erittäin tarkasti, minkä saa huomata harrastelentämisessäkin. Niin kotimaisessa kuin kansainvälisessä ilmailussa sääteleminen hoidetaan erilaisten hallintojen kautta. Suomessa ilmailuhallinto pitää kurissa ilmailuun osalliset, tehden samalla yhteistyötä eurooppalaisten kanssa. Nykyään EASA määritteleeikin pääsääntöisesti, mitä saamme tehdä ja mitä emme.

2.1 Ilmailuhallinto

Ilmailuhallinto on suomen ilmailuviranomainen, joka hoitaa lentoturvallisuuteen ja ilmailun turva-asioihin liittyvien ohjeiden ja määräysten antamisen sekä muut siviili-ilmailun viranomaistehtävät. Se on liikenne- ja viestintäministeriön alainen itsenäinen virasto, joka aloitti nykyisessä muodossaan vuonna 2006. Sen tehtäviin kuuluu esimerkiksi ilmailumääräyksien laadinta, lupien valvonta ja myöntäminen sekä lentoturvallisuuden edistäminen. /3/

2.2 EASA

European Aviation Safety Agency (EASA) on Euroopan Unionin yhteinen ilmailuviranomainen, joka perustettiin vuonna 2002. Sen päätehtäviin kuuluu Euroopan unionin yhtenäisen lentoturvallisuuden luominen ja ylläpitäminen. /3/

2.3 Joint Aviation Authorities

Joint Aviation Authorities, eli JAA, on yhteiseurooppalainen yhteistyöelin, jonka tarkoituksena on ollut luoda yhteiseurooppalaisia ilmailumääräyksiä. Se ei ole valtaa käyttävä elin, vaan sen tarkoituksena on ollut luoda jäsenvaltioiden yhteistyöhön perustuen yhteneviä käytäntöjä turvallisuuden ja yhteistyön parantamiseksi. Se on ollut toiminnassa 1970-luvulta, mutta nykyään sen toiminnot alkavat pikku hiljaa siirtyä EASA:lle. /3/

2.4 Federal Aviation Administration

FAA eli Federal Aviation Administration on Yhdysvaltain ilmailuviranomainen. Sen vastuulla on Yhdysvaltain siviili-ilmailun valvonta ja lakien sekä määräysten laatiminen. Sitä voi verrata Euroopassa toimivaan EASA:an, sillä niiden laatimat ilmailumääräykset ovat osaltaan täysin yhteneväiset. /4/

3 KEVYTYILMAILU

3.1 Ultrakevyt lentokone

Ultrakevyt lentokone (UL) määritellään ilmailumääräyksen AIR M5-10 /5/ 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.”

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. UL-lentokoneen tyhjämassaan ei kuitenkaan tarvitse sisällyttää sellaisia lisävarusteita, esimerkiksi ylimääräisiä mittari- ja radiovarustuksia, pyöränsuojia tai valoja, joita ilman kone säilyttää lentokelpoisuutensa./6/

UL- lentokoneen lujuusvaatimuksina on liikehtimiskuormituskerroimia +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./5/

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 /7/

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
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
Yhteensä	1318	1304	1293	1315	1324	1351	1348	1410	1472

3.2 Ultrakevytlentäjän lupakirjan saamisen edellytykset

Hakijalta vaaditaan 17 vuoden ikää sekä lääketieteellinen kelpoisuustodistus/8/.
Lisäksi ilmailumääräys PEL M2-70 /5/ 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 radiopuhelimen hoitajan 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 vaadittavaa suoritustasoa ohjausliikkeissä, niin normaalissa lennossa kuin hätätilanteissakin. Hakijan tulee myös osoittaa kykynsä noudattaa ilmaliikennepalvelun toimintaohjeita ja menetelmiä. Voimassa oleva muun luokan lento-lupakirja helpottaa UPL-lupakirjan saamista. /8/

3.3 UL-vesilento-oikeus

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

3.4 Ultrakevytlentämisen määräykset ja vesilentotoiminta

Ilmailumääräyksen OPS M2-8 /9/ mukaan ultrakevyellä lentokoneella saa lentää vain VFR-lentoja päivällä, ei jäätävissä olosuhteissa. 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 /10/. Taitolento ei myöskään ole sallittua normaaleilla UL-lentokoneilla, mutta erillisillä

riittäväillä selvityksillä se voidaan hyväksyä rajoitettuun taitolento- tai taitolentoluokkaan/11, s.5./.

Ultrakevyillä lentokoneilla vesilentotoimintaa suoritettaessa on jokaisen lentokoneessa olevan henkilön puettava pelastusliivit päälle, jos liitämällä ei päästä kiinteälle maalle tai jäälle /9/. Tässä suhteessa UL-lentokoneiden vesilentomääräykset ovat väljemmät kuin suuremmilla koneilla, joilta vaaditaan vesilentokäytössä mm. mela, ankkureita, sekä veden tyhjennyspumppu /9/. UL-lentokoneisiin ei alhaisen lentoonlähtöpainon takia kuitenkaan tätä vaadita.

4 IKARUS C42 B JA VESILENTÄMINEN

Yksi yleisimmistä kevytilmailussa käytetyistä ultrakevyistä lentokoneista on Ikarus C42. Ikarus C42 (kuva 1) on moderni rinnakkain istuttava ylätasokone, jonka 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.

Siiven kärkiväli on 9,45 metriä, 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 rungon pohjassa 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./12/



Kuva 1. Ikarus C42 /13/

Ikarusta käytetään paljon koulutuksessa, ja se sopii hyvin myös vesilentoon. Ikaruksen yksi monista vahvuuksista onkin sen käytön ympärivuotisuus. Kesällä voidaan operoida vedestä ja maalta, talvisin suksien avulla lumesta. Ikaruksissa käytössä olevista kellukkeista yleisimpiä ovat ilmatäytteiset Full-Lotus-kellukkeet (kuva 1). 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 aiheutuvaa suoritusarvojen muuttumista, lentoonlähtöä, laskeutumista veteen ja rantautumista.

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.

5 AMFIBIO-PROJEKTI

5.1 Johdanto

Kaikki alkoi yksityishenkilöstä, joka oli ostanut itselleen Kanadasta Puddlejumper-merkkiset amfibio-kellukkeet. Kyseisien kellukkeiden valmistajalla ei ollut valmista suunnitelmaa ja toteutusta Ikarus C42 B-konetta varten, joten lopullinen suunnittelu täytyi tehdä itse. Tästä kehittyi Tampereen ammattikorkeakoululle suunnittelu- ja asennusprojekti. Sitä alkoi toteuttaa viiden hengen ryhmä, joka koostui lentokonetekniikkaa kolmatta vuotta opiskelevista opiskelijoista.

Tutkintotöiden 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 suunnittelemamme rakenteen olisi tarkoitus tulla 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.

5.2 Projektin kulku

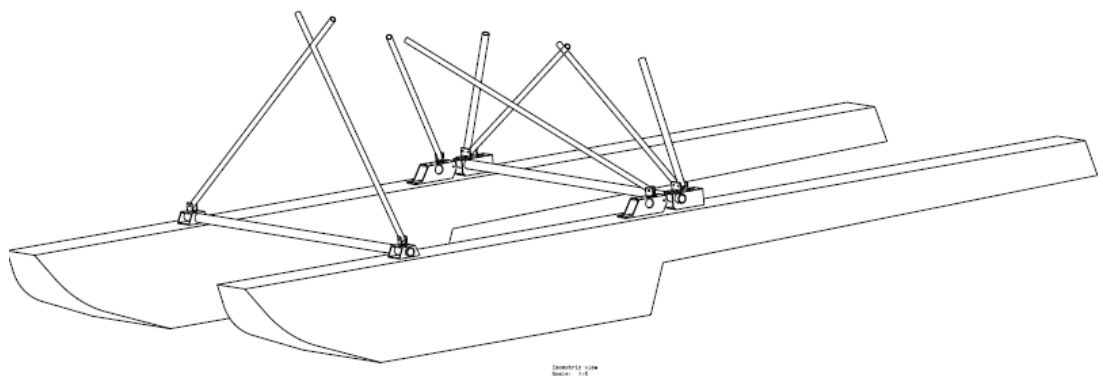
Projekti lähti käyntiin aivan perusasioista, sillä kukaan projektin jäsenistä ei ollut aikaisemmin tämän kaltaisen projektin parissa työskennellyt. Toinen alkua hankaloittava asia oli se, että kenelläkään ei ollut varsinaista kokemusta näin laajan projektin parissa työskentelystä. Näin ollen kaikki asiat jouduttiin alkuun

opettelemaan pitemmän kaavan kautta, mikä näkyikin projektin edetessä päivien kulumisena, eikä näkyvää tulosta syntynyt.

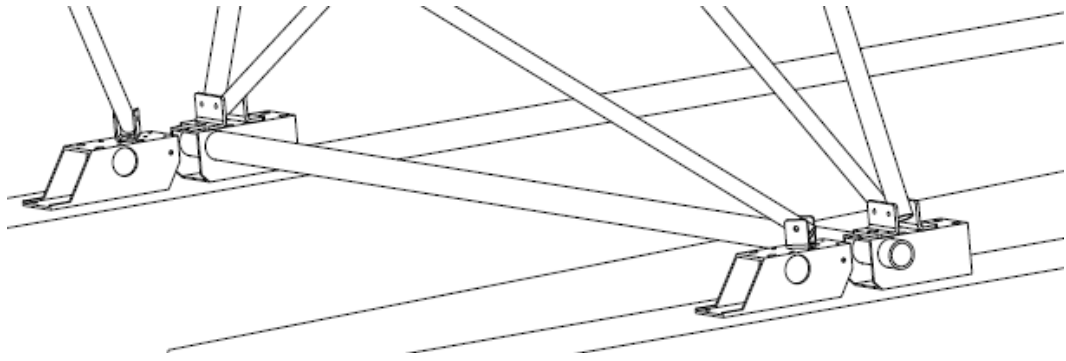
Saimme projektin edetessä kuitenkin oppimiskäyrän nousuun, joten niin ilmailumääräyksistä kuin FEM-lujuuslaskennasta alettiin saada tolkkua. Ensimmäinen kuukausi kuluikin melkein kokonaan näiden asioiden opettelemiseen ja tulkintaan.

Ilmailumääräykset EASA:n CS-23 /14/ 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 liitutaululle, jonka ääressä ryhmällä mietittiin, millä tavalla rakenne tulisi tehdä. Kuvassa 2 nähdään kellukkeiden kiinnitysristikon ensimmäisiä Catialla (3D-suunnitteluohjelma) suunniteltuja malleja. Kuvassa 3 on taas tarkemmin esitelty ensimmäisen takakiinnityksen ehdotus. Tämän kyseisen mallin heikkous oli sen säädettävyyys. Nämä mallit tosin muuttuivat monta kertaa projektin edetessä, joten harjoitusta mallintamisesta saatiin riittävästi.



Kuva 2. Ensimmäisiä ristikkomalleja



Kuva 3. Tarkempi kuva ensimmäisestä ehdotuksesta takaristikon kiinnitykseksi ponttoneihin.

Tämän jälkeen tehtiin suunnitelmista FEM-malli, josta esimerkki kuvassa neljä. 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.

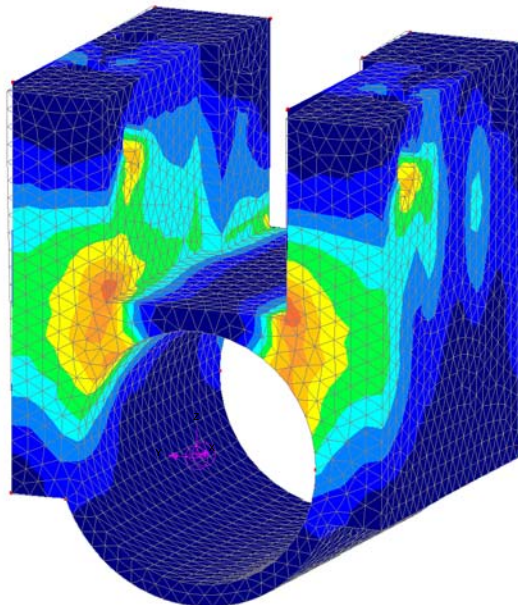
Loadcase: 1
Title: Loadcase 1
Results File: 0
Entity: Stress
Component: SE

8,59808
17,1962
25,7942
34,3923
42,9904
51,5885
60,1866
68,7846
77,3827

Maximum 77,3877 at Node 3630
Minimum 5,0068E-3 at Node 1226

Scale=1,0,525072
Zoom: 69,6386
Eye: (-0,89809; -0,378173; 0,224546)
Linear/Dynamic Analysis
Loadcase: 1
Loadcase 1
Results File: 0
Maximum Displacement 0,4173E-01 at Node 668

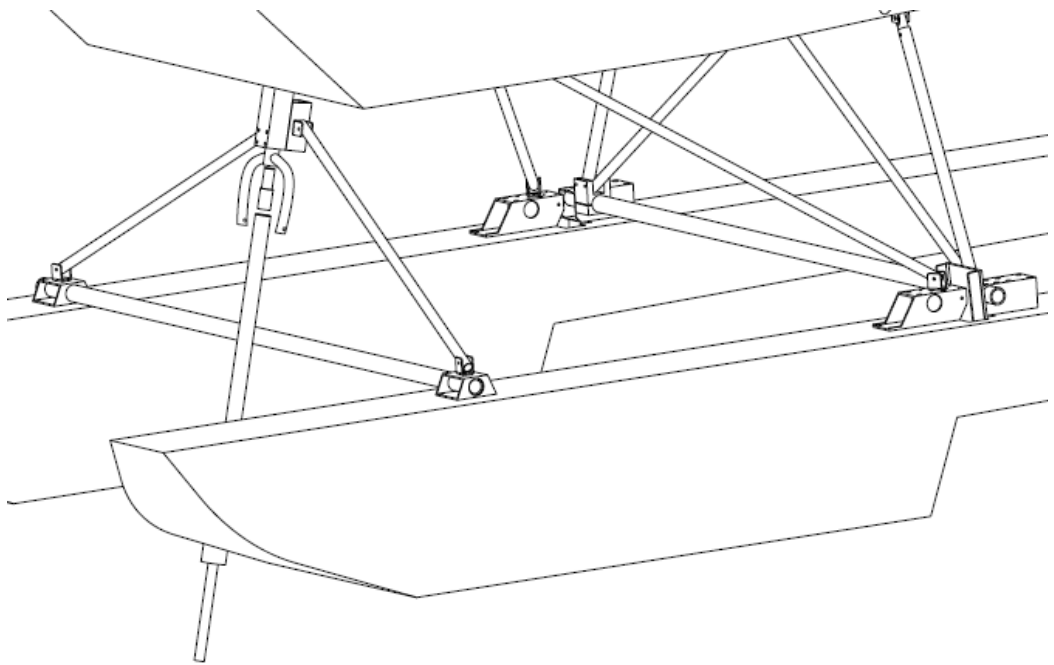
Contour Component: SE
Number of Contours: 9
Contour Interval: 0,000
Maximum 77,39 at Node 3630
Minimum 0,5007E-02 at Node 1226



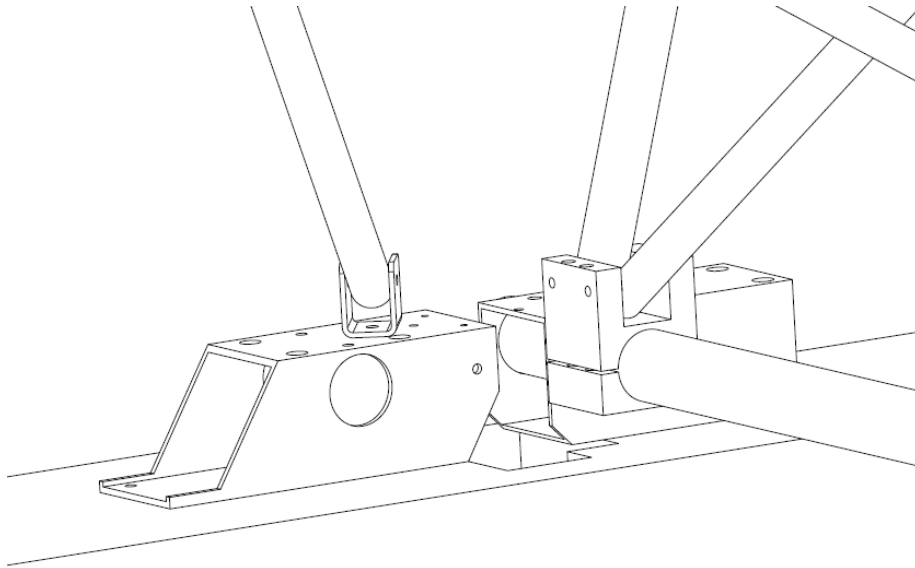
Kuva 4. FEM-malli ”sandwich bracket”- tyyppisestä rakenneratkaisusta , josta päästiin käsiksi osien kriittisiin kohtiin ja maksimijännityksiin

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

Loppuen lopuksi rakenne tulee näyttämään kuvan 5 mukaiselta. Tähän on päästy monen erilaisen mallin ja pienemmän rakenneratkaisun jälkeen. Tärkeimpänä huomioitavana seikkana rakenteesta täytyy mainita sen säädettävyys. Kellukkeet täytyisi saada 5° kulmaan suhteessa siiven alapintaan, jolloin asennusvaiheessa tulisi täysin kiinteillä kiinnityksillä tehtäessä ongelmia. Tämän johdosta takaristikko on rakennettu niin, että se pystyy kääntymään taemman vinoputken ympäri varta vasten suunniteltujen ”sandwich bracket”-tyyppisten osien avulla. Nämä on paremmin esitelty kuvassa 6.



Kuva 5. Ristikkorakenteen lopullinen malli



Kuva 6. ”Sandwich bracket” lähempää, joka mahdollistaa helpomman säädettävyyden.

5.3 Ilmailumääräyksien mukaisten kuormitusten määrittäminen

Johdanto

Tämän osion tarkoituksena on selventää laskentaa, millä päästiin kiinni kuormiin, mitä ilmailumääräyksissä on annettu vesilentokoneen rakenteen osalta. Kun osion 5.2 mukaista rakennetta lähdettiin miettimään, oli mahdollisiin kuormituksiin päästävä käsiksi jotain kautta. Yksi lähtökohdista oli ilmailumääräyksiä antamat kuormat EASA:n CS-23 /14 / mukaan, joista seuraavaksi selvitystä. Tämä osio on tehty yhteistyössä muiden projektin jäsenien kanssa.

Kuormia maalle laskeutumisessa selvitettiin myös, josta saatiin samansuuntaisia tuloksia, mitä veteen laskusta. Tässä osiossa kuitenkin keskitytään selvittämään ainoastaan määräyksiä, mitkä koskevat veteen laskusta aiheutuvia kuormia.

Määräykset yleisesti

Määräysten mukaisesti lujuusvaatimuksissa käytettävät kuormat määritetään joko rajakuormina (suurin sallittu kuorma käytön aikana) tai murtokuormina (rajakuorma kerrottuna varmuuskertoimella). Ellei toisin mainita, kaikki kuormat ovat raja-kuormia, ja oletetaan että lentokone kokonaisuudessaan altistuu kyseisen tilanteen kuormille/15/. Vesitaso- ja amfibiolentokoneet on suunniteltava vesikuormille, jotka esiintyvät lentokoneen laskussa ja lentoalähdössä/16/.

Suomalaisten ultrakevyiden tarkastuskäsikirjan kohdan 477 mukaan:

”Laskutelineen ja rakenteen on kestävä laskeutumistilanteita aiotulle alustalle käytännössä ajateltavissa olevissa asennoissa ja normaaleissa rajoissa olevilla kuormituksilla myös yhdelle telineelle. Pystysuoraan vaikuttavien kuormien lisäksi on otettava huomioon myös kuormat laskeutumis suunnassa (jarrutus) ja sivu-suunnassa (suistuminen - luisu). Vaatimusten täytyminen voidaan tosittaa koekuormituksin, rullauskokein tai koelennoin.” /17/

Voimat otetaan huomioon kolmessa eri tilanteessa, jotka ovat step loading, bow loading ja immersed loading. Kahdella ponttonilla varustetussa koneessa, kuten tässä tapauksessa, yksittäinen ponttoni ajatellaan yksittäiseksi rungossa kiinni olevaksi ponttoniksi, jota kuormitetaan puolella vesilentokoneen painosta. /18/

Step ja bow loading /19/

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

Bow loading (L_B) lasketaan myös kaavalla yksi, mutta se vaikuttaa 1/4 etäisyydellä keulasta (Bow) askelmalle (Step), kuvan seitsemän mukaisesti ja on kohtisuorassa ponttonin köliin nähden. Bow loading syntyy kun lentokone hidastaa rullaustilanteessa vedessä /21/.

$$L_B = L_S = \frac{C_5 V_{S_0}^2 W^{2/3}}{\tan^{2/3} \beta_5 (1 + r_y^2)^{2/3}} \quad (1)$$

L = Rajakuorma (*lbs*)

$C_5 = 0,0053$

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

W = Vesilentokoneen suunniteltu laskeutumispaino (*pounds*)

β_5 = Ponttonin pohjan v- kulma (*rad*)

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

Laskettaessa step ja bow loading-kuormitustilanteita kaikki muut tekijät ovat samoja paitsi ponttonin pohjan v- kulma (β_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 :

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

, josta saadaan voimaksi

$L_S = 3,33 \text{ kN}$

Josta saadaan step loading – tilanteessa syntyvä suunnittelun murtokuorma $1,5 \cdot L_S = 4,99 \text{ kN}$.

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

, josta saadaan voimaksi

$$L_B = 4,11 \text{ kN}$$

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 seitsemän 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 akselidensa suhteen. Voimien komponentit lasketaan kaavoilla 2, 3, ja 4. Vertical tarkoittaa z-suuntaista, aft y-suuntaista ja side x-suuntaista voimaa, kuvien 7 ja 8 mukaisesti /21/.

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

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

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

ρ = Veden tiheys

g = Putoamiskiihtyvyyys ft/sec^2 (käytetään $10 m/s^2 = ft/sec^2$)

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 ($g = 9,81 m/s^2 = 32,8 ft / s^2$):

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

Josta saadaan pystysuuntainen suunnittelun murtokuorma $5,55 kN \cdot 1,5 = 8,32 kN$.

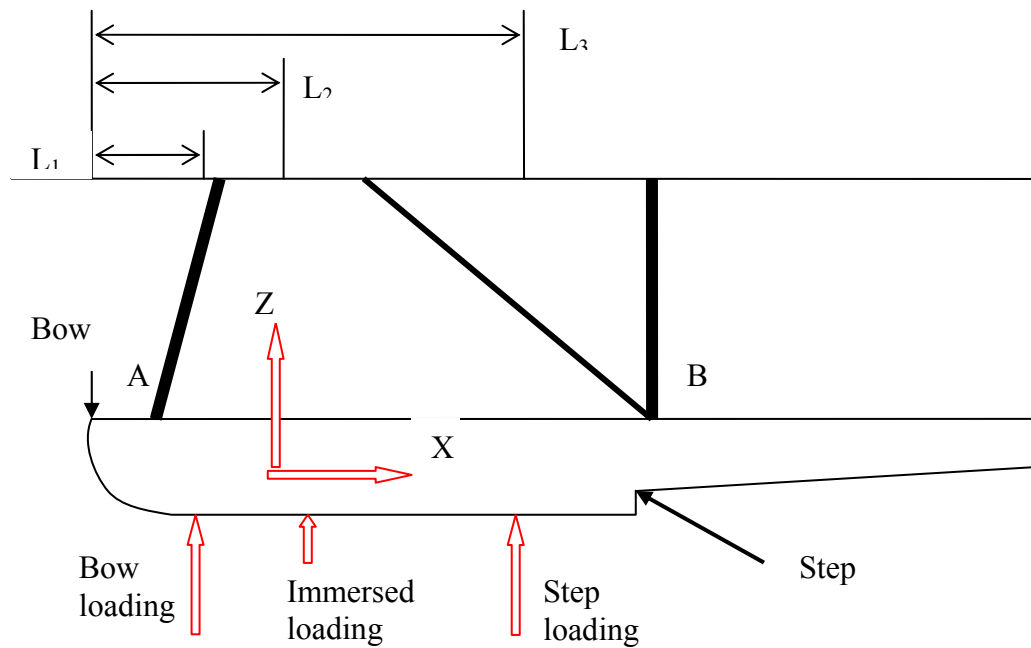
$$\begin{aligned} a_{ft} &= \frac{0,133 \cdot 1,940 \frac{slugs}{ft^3} \cdot (19,2 ft^3)^{2/3} (0,8 \cdot 35,1 knots)^2}{2} = 729,9 \frac{ft \cdot lbs}{s^2} \\ &= 3,31 kN \end{aligned}$$

Josta saadaan pitkittäissuuntainen suunnittelun murtokuorma $3,31 kN \cdot 1,5 = 4,97 kN$.

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

Josta saadaan sivuttaissuuntainen suunnittelun murtokuorma $2,64 \text{ kN} \cdot 1,5 = 3,96 \text{ kN}$.
(Y-suunta)

Lujuuslaskennassa käytetään siis kuormia $5,55 \text{ kN}$, $4,97 \text{ kN}$ ja $3,96 \text{ kN}$, jotka kuormittavat kellukkeita kuvien seitsemän ja kahdeksan mukaisesti.



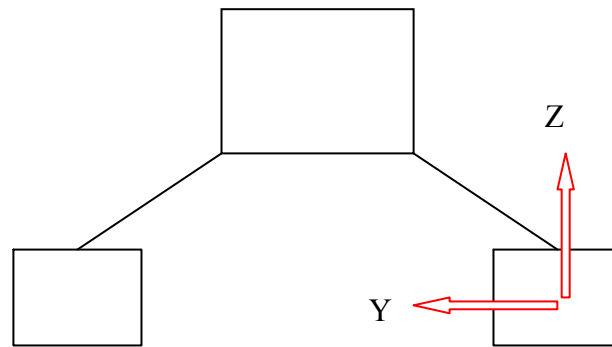
Kuva 7. X- ja Y-suuntaiset kuormat

Kuvassa seitsemän 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 8. Y ja Z-suuntaiset kuormat

Step landing /20/, /21/

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 yhdeksän mukaiseen kohtaan. Vesikuormituskerroin lasketaan kaavan viisi mukaisesti /22/.

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

Käyttämällä aiempien kaavojen tekijöitä saadaan:

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

Josta saadaan voimaksi = $n_w \cdot 551.15 \text{ lbs} \cdot 32,8 \text{ ft} / \text{s}^2 = 7,73 \text{ kN}$

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

Bow and stern landing /20/, /21/

Bow ja stern landing-tilanteissa lentokone laskeutuu epänormaalissa asennossa, ja vesikosketus tapahtuu ponttonien etu- tai takaosaan, kuvan yhdeksän mukaisesti. Vesikuormituskertoimet ponttonin keulan (Bow) ja perän (Stern) kohdille lasketaan kaavan kuusi 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°)

β = Siiven ja ponttonin yläpinnan välinen kulma

W = Suunniteltu vesilentokoneen laskeutumispaino

K_1 = Kokemusperäinen rungon aseman punnituskkerroin

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

Sijoittamalla arvot kaavaan kuusi saadaan vesikuormituskeroiin stern landing -tilanteessa:

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

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

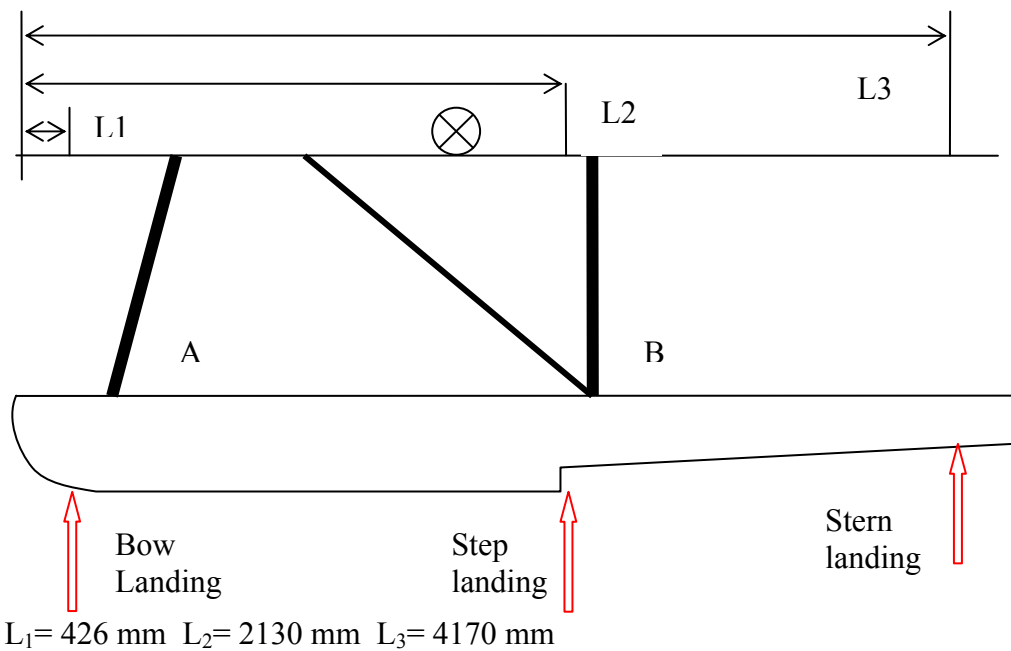
Josta saadaan suunnittelun murtokuorma stern landing-tilanteessa $5,47 \text{ kN} \cdot 1,5 = 8,21 \text{ kN}$.

Sijoittamalla arvot kaavaan kuusi saadaan vesikuormituskeroin bow landing – tilanteessa:

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

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

Josta saadaan suunnittelun murtokuorma bow landing tilanteessa $5,85 \text{ kN} \cdot 1,5 = 8,77 \text{ kN}$.



Kuva 9. Laskeutumistilanteissa syntyvien kuormien kohdat

Take off loading /22/

EASA:n mukaan lentoonlähtötilanteessa pitää huomioida inertia eli jatkuvuusvoima, joka aiheuttaa alaspäin suuntautuvan kuormituksen immersed loading-kohtaan (kuva 7). Tilanteessa oletetaan, että aerodynaaminen nostovoima on nolla. Inertia-kuormituskerroin lasketaan kaavan seitsemän 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°)

β = Siiven ja ponttonin yläpinnan välinen kulma

W = Suunniteltu vesilentokoneen suurin lentoonlähtöpaino

Inertiakuormituskertoimen avulla voidaan laskea alaspäin suuntautuvan inertia-voiman suuruus kertomalla kaava seitsemän lentokoneen kokonaispainolla.

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

josta saadaan voimaksi = $n \cdot 551.15 \text{ lbs} \cdot 32,8 \text{ ft} / s^2 = 3,62 \text{ kN}$

Josta saadaan suunnittelun murtokuorma lentoonlähtötilanteessa $3,62 \text{ kN} \cdot 1,5 = 5,42 \text{ kN}$.

Yhteenveto

Kaiken kaikkiaan ilmailumääräykset tuottivat huomattavan määrän työtä, mutta ne eivät antaneet varmoja tuloksia. Varsinkin englanninkielisen tekstin suomentamisessa oli ongelmia, kun samoista lauseista sai väännettyä monta eri tulkintaa. Asioista oltiin yhteydessä jopa kellukkeiden valmistajaan, mutta heiltäkään ei saanut kaikkeen vastausta.

Saadut kuormat ovat joissakin tapauksissa suhteellisen suuria, kun vertaa olemassa olevien rakenteiden kestävyYTEEN. Näin ollen projektin konstruktioratkaisuiden suhteen tuli suuria ongelmia, kun ei tiennyt uskoako määräysten mukaisia tuloksia, vai olemassa olevien rakenteiden kestävyYTEÄ.

Lopullisessa konstruktiossa päädyttiin kompromissiin, missä varsinaisen konstruktion ratkaisuja perusteltiin niin ilmailumääräyksillä, kun olemassa olevilla rakenteilla. Toisin sanoen yhtä linjaa perusteluissa ei voitu pitää, sillä konstruktiosta olisi tullut pelkkiä ilmailumääräyksiä käyttäen suhteellisen painava. Konstruktio kuitenkin saatiin kasaan, eikä siitä tullut alustavien painonhallinnan tarkasteluiden perusteella yhtään olemassa olevia konstruktioita painavampi. Eli konstruktio kestää hyvin kovempaakin käyttöä, mutta ei ole liian painava.

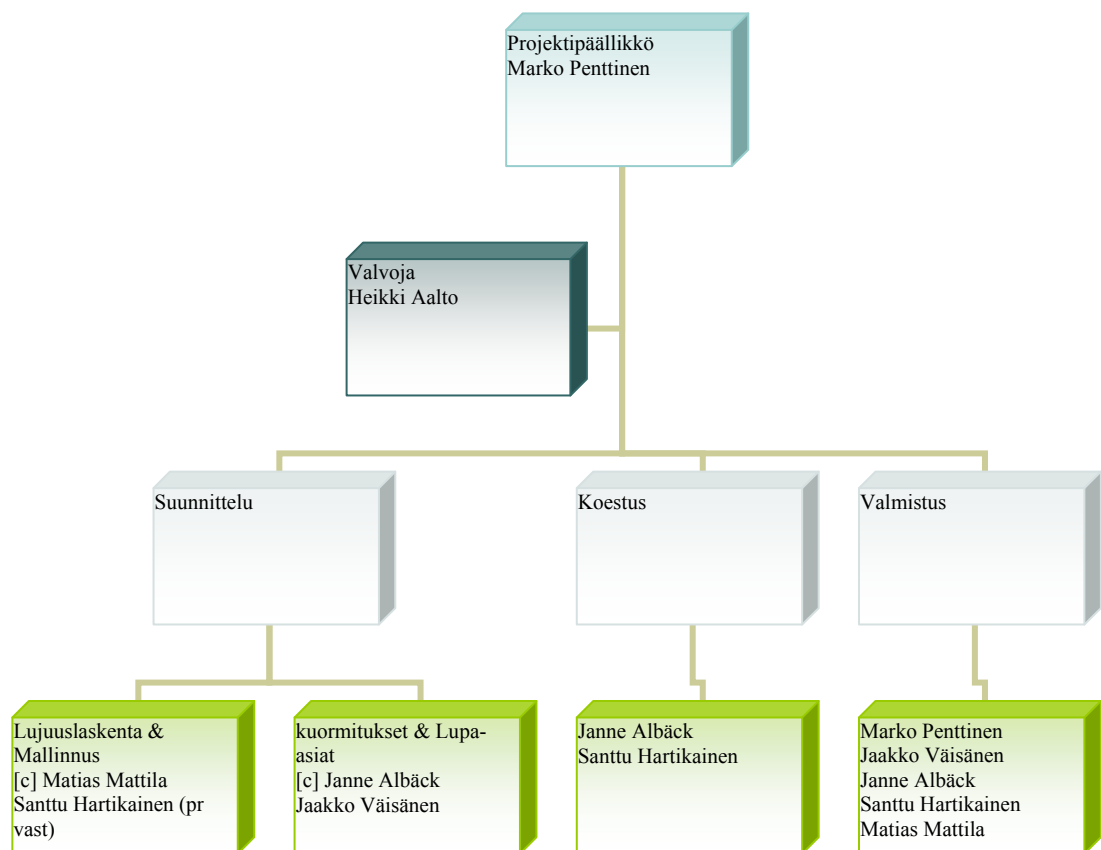
5.4 Organisaatio ja aikataulu

Amfibio-projektin vetäjäksi on valittu Marko Penttinen, joka toimii nimikkeellä ”projektipäällikkö”.

Projektipäällikkö: Marko Penttinen

Ryhmän jäsenet: Jaakko Väisänen, Janne Albäck, Matias Mattila ja
Santtu Hartikainen

Projektissa on tarkoitus jakaa tehtävät tasan tekijöiden kanssa. Kuvassa 7 näkyy alustava organisaatiokaavio, jossa on projektin ensimmäisten työtehtävien jakoperiaate. Johtuen mahdollisista poissaoloista ja lomista, joita kesän aikana tulee, on vastuualueet jaettu pareille, kuitenkin niin, että merkinnällä c oleva henkilö vastaa kyseisen osan valmistumisesta. Projektipäällikön osana on myös osallistua kaikkeen tekemiseen.



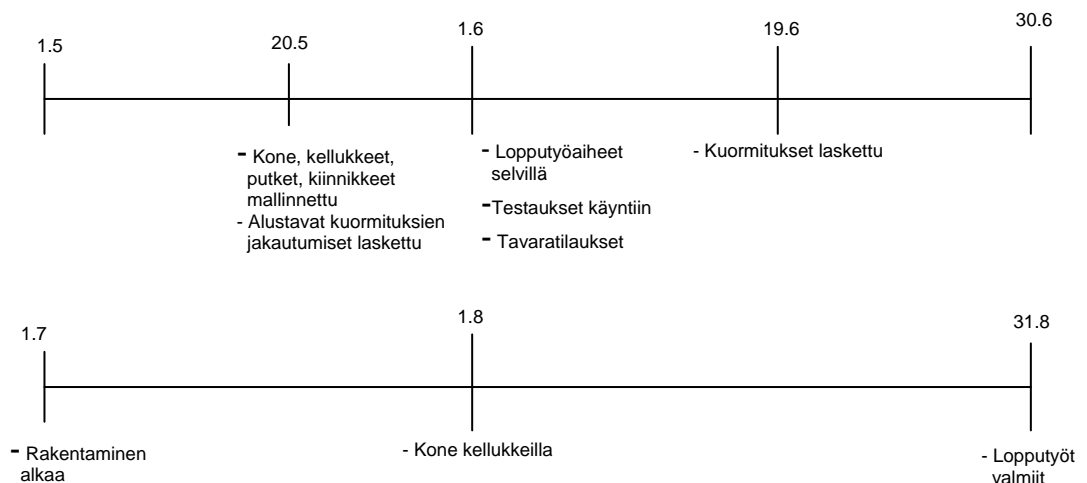
Kuva 7. Alustava organisaatiokaavio

Lujuuslaskenta & Mallinnus” ryhmän päätehtävänä oli suunnitteluvaiheessa miettiä eri konstruktioratkaisuja ja mitoittaa amfibio-kellukkeille kiinnityskonstruktio. Tehtävään kuului myös lujuustarkastelu valmiille kellukevalmistajan toimittamille osille, jotta ne kestäisivät yhdessä suunnitellun kiinnityskonstruktion kanssa. Lujuustarkastelu edellytti kiinnitysosien ja konstruktioiden CATIA-mallinnusta, jotta lujuustarkastelu FEM-ohjelmalla olisi mahdollista.

Suunnittelun vaiheen toinen ryhmä oli ”Kuormitukset & Lupa-asiat”, jonka päätehtävään kuului selvittää ilmailumääräyksien asettamat amfibio-kellukkeiden kiinnitystä koskevat säännöt. Ilmailusäädökset olivat tärkeä osa projektiamme, koska amfibio-kellukkeiden asentamiseen tarvitaan Ilmailulaitokselta hyväksytty rakennuslupa, joka edellyttää toimimisen ilmailumääräyksien mukaan.

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

Projektissa ei ollut alustavasti lyöty lukkoon mitään tiettyä aikataulua, mutta alustavasti olimme kuitenkin sopineet joitain päivämääriä, jotka näkyvät kuvasta kahdeksan. 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-kellukkeiden asentaminen olisi valmistunut heinäkuussa.



Kuva 8. Alustava aikataulu

5.5 Omat pohdinnat

Lähtökohdat

Kun projekti aloitettiin, oli ensimmäisenä tehtävänä valita projektille ”projektipäällikkö”. Kukaan ei aluksi tähän tehtävään vapaaehtoisesti ilmoittautunut, mutta parin päivän pohdintojen jälkeen suostuin ottamaan tehtävän vastaan. Olin ollut aikaisemmin jo yhden yhteisen projektimme vetäjänä, joten ajattelin, että nyt joku muu saisi ottaa homman vastaan, mutta toisin kävi.

Tehtävän kuvaan kuului johtaa kaveriporukkaa, olemalla kuitenkin täysin yhdenvertainen muiden projektiin osallistuvien kanssa. Jaoimme alussa jokaiselle osa-alueet, joita rupeaisimme tutkimaan. Olisin tietyllä tavalla kaikista aiheista perillä, tehden kuitenkin omaa osa-alueettani aivan samalla tavalla kuin muutkin ryhmän jäsenet.

Tämä mielestäni ei ole vetäjän näkökulmasta mikään ihanteellisin lähtökohta, sillä vaikka haluaa jonkun tekevän jotain, ei voi kärkeä toista sitä tekemään. Kun täytyy pyytää, ei toisen välttämättä tarvitse ottaa tehtävää, jos ei sillä hetkellä tunnu kiinnostavan. Tämä on tuntunut vaikeimmalta asialta, kun vertaisporukkaa johtaa. Mutta täytyy kuitenkin todeta, että tässä projektissa jokaisella oli oman lopputyönsä valmistumisesta ajallaan henkilökohtainen vastuu, joka motivoi kiitettävästi jokaista tekemään myös yhteiseksi hyväksi.

Kun miettii kokemuksia kesätöistä, voi sanoa tietyn ”luokkaeron” työnjohtajan ja työmiehen välillä olevan vain hyvä asia. Tätä pientä herran pelkoa on oltava, jotta työt sujuvat. On ensiarvoisen tärkeää, että projektilla on työnjohtaja, joka ei pelkästään kykene sanomaan mitä pitää tehdä, vaan hänellä olisi hyvä olla tietty status. Toisaalta, jos statusta ei ole, tulisi työnjohtajan olla paremmin tietoinen projektin sisällöstä, jolloin työnjohtaja tiedollaan ja taidollaan voisi johtaa projektia.

Amfibio-projektin osalta kaikki ryhmän jäsenet lähtivät suunnilleen samasta tietotasosta, jolloin ei ole oikein keinoa saada tehtyä eroa projektipäällikön ja ryhmän jäsenten välille. Näin ollen, lähtökohtaisesti tämän tiedostaessani, en pyrkinytkään kaikkitietäväksi pomoksi, jolle lopulta kävisi huonosti.

Vaikka alussa työnohjaaja, yliopettaja Heikki Aalto halusikin, että ottaisin enemmän johtajan roolia, en tätä tietoisesti halunnut tehdä. Halusin jokaisen kantavan oman vastuunsa tekemästään työstä, jolloin toivoin, että jos työt jäisivät tekemättä, alkaisi omatunto kolkuttaa. En halunnut olla niskassa hengittämässä, vaan halusin luottaa kavereihin, jotta nämä tekisivät sitä työtä, mistä olimme keskustelleet.

Jo aliupseerikoulun käytyäni, jossa hiukan johtamista tuli suoritettua, kokeilin samanlaista johtamista. Tämä ei kuitenkaan sopinut johtamistyyliksi, kun käskijällä oli valmiiksi aliupseerin tarrat, jolloin lentosotamiehet odottivat jämäkkää johtamista. Kavereita kyllä riitti leirillä, mutta hiukankin tiukemmassa paikassa huomasi, että asiat eivät suju sillä nopeudella ja tahdikkauudella kuin niiden tulisi sujua. Vieraiden ihmisten taustaa sen enempää tietämättä, kuten armeijassa, ei jämäkkyydelle ja tietynlaiselle kovalle johtamiselle ole vaihtoehtoja. Sellainen ryhmä tarvitsee jonkun, joka sanoo, miten asia on. Tästä voisi vetää johtopäätöksen, omien kokemusten perusteella, että kun johtajalla on kokemusta työn aiheesta sekä valmiiksi johtajastatus, pitää toimia tietyllä tavalla. Kun taas johtaa kaveriporukkaa, kuten tässä projektissa, ei armeijatyypisellä johtamisella saavuteta muuta kuin ikävä ilmapiiri.

Asiat voisi tehdä paremmin

Aina on kehitettävää, mikä varmasti pätee tekemämme projektin johtamisenkin osalta. Ainakin tiedonkulun ja projektin suunnittelun puolella voisi tehdä kaikki paremmin, varsinkin nyt, kun tietää vähän projektin kulusta. On muistettava, että itselläni ei varsinaisesti ollut kokemusta projektien vetämisestä, eikä varsinkaan

vesilentämisestä ultrakevyillä lentokoneilla. Tällöin eteen tulevista asioista ei ole oikein minkäänlaista käsitystä, vaan kaikki täytyy oppia kantapäähän kautta.

Jos saisin uudestaan aloittaa projektipäällikkönä tässä projektissa, käyttäisin ainakin aikataulun miettimiseen enemmän aikaa. Tällä kokemuksella voisin helpommin miettiä, kuinka kauan asioihin tutustumiseen menee aikaa tai kuinka kauan rakenteen lujuuslaskuihin käytettävää aikaa tulisi varata. Toisaalta, aikataulu ei olisi lähelläkään kuluneen projektin aikataulua, sillä se mihin ensimmäisten viikkojen aikana saattoi kulua viikko, veisi nyt kaksi tuntia. Toisin sanoen, jos saisimme näillä pohjatiedoilla aloittaa projektin uudestaan, tekisimme projektin suunnitteluvaiheen valmiiksi varmastikin muutamassa viikossa, kun siihen kaikkiaan meni yli kaksi kuukautta tänä kesänä.

On aina otettava huomioon ryhmän tietotaso, kun projekti aloitetaan. Lujuuslaskentaohjelmien käyttäminen, ilmailumääräyksien tulkitseminen ja esimerkiksi se, mitä kaavaa missäkin tilanteessa täytyisi käyttää, pitää oppia, eikä se käy aivan tuosta vain. Puolustaisin näin projektimme venynyttä aikataulua sillä, että aloitimme kaiken melkein puhtaalta pöydältä. Työ opettaa ylivoimaisesti parhaiten, eivätkä jotkin yksittäiset kurssit mitä koulussa käydään. Kurssit antavat pohjan ja kertovat mistä tietoa voi etsiä, mutta eivät tee opiskelijasta osaajaa omalla alallaan.

Seuraavan projektin aloittaminen

Jos saisin aloittaa projektin uudestaan, tekisin joitain asioita eri tavalla. Varsinkin projektin alku on erittäin kriittinen, sillä oikeaan suuntaan lähteminen heti alusta lyhentää projektiin tarvittavaa aikaa huomattavasti.

Heti alusta ottaisin projektista hiukan tiukemman otteen, kuin nyt otin. Istuttaisin projektin jäsenet heti aluksi pöytään, jossa keskustelisimme perinpohjaisesti kaikesta projektiin mahdollisesti liittyvästä. Joku ryhmän jäsenistä tekisi yksityiskohtaiset

muistiinpanot tästä ensimmäisestä juttutuokiosta, jolloin jokainen saisi hyvän yleiskuvan projektiin kuuluvista asioista.

Kun suunnitteluprojektia lähdetään toteuttamaan, on hyvä tietää yhteisesti, mitä kukin tekee. Aluksi annoin liikaa siimaa siinä, mitä tutkia. Kaikki tutkivat vähän kaikkea, jolloin helposti päivä aloitettiin lausahduksilla; ”menen ja tutkin jotain”. Tätä ei kannata päästä tapahtumaan. Täytyy ottaa tiukempi linja, eli istuttaa ryhmän jäsenet pöytään ja aloittaa yhdessä miettiminen siitä, mitä tehdään. Tosin tässäkin tilanteessa ei kannata hätiköidä ja lähteä heti ensimmäisen ajatuksen jälkeen ajatusta toteuttamaan. Omasta mielestäni kannattaa rauhassa ja maltilla istua pöydän ääressä, keskustella projektista sekä miettiä mahdollisia tulevia haasteita. Hätiköinnillä ei saavuteta mitään muuta kuin turhia tietokoneen ääressä vietettyjä hetkiä selailien internetin ihmeellistä maailmaa.

Alustava aikataulu olisi hyvä tehdä heti projektin alkuun, mutta sitä ei pidä niille sijoilleen unohtaa. Vähintään parin viikon välein sitä tulisi päivittää uuteen uskoon, jotta nähtäisiin, missä mennään. Myös tämä toimenpide samalla kartoittaa projektin kulkua, antaa tietoa siitä, miten ryhmän jäsenet omissa aiheissaan etenevät.

Jos ei aivan viikon välein, niin parin viikon välein olisi hyvä istua jälleen rauhassa pöydän ääreen ja keskustella asioista. En millään pysty korostamaan liikaa näiden yhteisten keskustelutuokioiden tärkeyttä. Tässä projektissa nämä yhteiset keskustelut yleensä käytiin aamukahvien ääressä porukan saavuttua aamutuimaan paikalle. Tämä olisi jälkepäin ajateltuna kannattanut tehdä niin, että olisimme parin viikon välein istuneet koko porukalla pöydän ääreen, eikä pöydästä olisi saanut poistua tuntiin. Tämä kuulostaa lapselliselta, mutta jotta asioista saataisiin keskustelua, ei tämän kaltaisessa projektissa oikein muutakaan mahdollisuutta ole.

Tehtävät jaettiin lopulta jokaiselle henkilökohtaisesti, tai parille, josta toinen oli asiasta vastuullinen. Tämä osaltaan toteutui hyvin, jolloin jokaiselle jäi omat vastuulliset aiheet, joiden eteenpäin hän vastasi. Näistä vastuualueista rakentuivat myös opinnäytetyöaiheet jokaiselle, joten jokainen sai tehtyä hyvää alustavaa tutkimusta omaa opinnäytetyötä varten projektin edetessä.

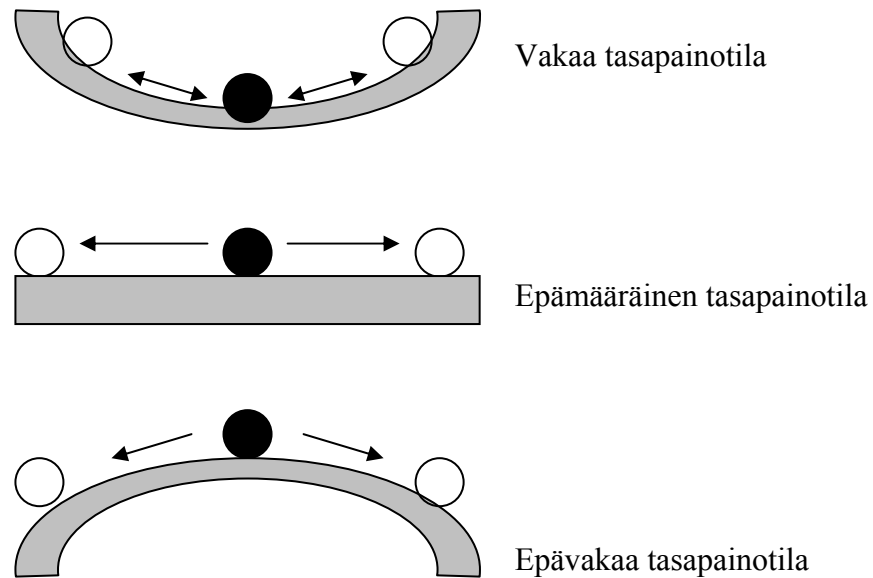
Yksi tärkeimmistä seikoista olisi alusta alkaen ottaa kaikkeen tekemiseen selvät linjat. Teimme tässä projektissa pari kansiota, joihin tulostettua tavaraa lajiteltiin. Toinen paikka oli koulun verkkolevylle luotu oma kansio, johon kaikki suunnitteluun tarvittava materiaali kerättiin. Tässä materiaalin keräyksessä kannattaa olla tarkkana, sillä sitä kertyy yllättävän paljon. Kannattaa näin ollen tehdä ryhmän jäsenille selväksi, mitä asiakirjapohjia käytetään sekä miten asiakirjat tulisi lajitella verkkolevylle. Meidän projektissa tämä onnistui kohtuullisesti, mutta tämäkin asia olisi vaatinut yhteisen hetken, jossa näistä asioista olisi päätetty.

Vaikka kavereita ollaan, vitsi lentää ja ei oikein maanantaiaamuna kiinnosta tehdä mitään, kannattaa yhteiset keskusteluhetket ottaa vakavasti. Mielestäni projektimme suurin heikkous löytyi juuri tästä. Pitää olla malttia tehdä asioita ryhmänä, eikä antaa mahdollisuutta itselleenkaan siihen, että lähtee tietokoneelle tutkimaan ”jotain”.

6 VAKAVUUS /1/, /2/

Lentokoneen vakavuudella tarkastellaan liikkeiden tasapainoa ja tasapainotilojen häiriöiden seurauksia. Tasapainotilalla tarkoitetaan tilaa, jossa kone lentää vakionopeudella, eivätkä siihen vaikuta minkäänlaiset momentit.

Vakavuudella tarkemmin tarkoitetaan lentokoneen pyrkimystä palauttaa alkuperäinen tasapainotila, kun jokin häiriö on siihen vaikuttanut. Lentokone on vakaa eli stabiili, kun lentokone jonkin häiriön saatuaan palaa itse alkuperäiseen tasapainotilaansa ilman, että lentäjä tekee minkäänlaisia korjausliikkeitä. Sen sijaan jos lentokone ei palaa häiriön seurauksena alkuperäiseen tasapainotilaansa, vaan alkaa etääntyä joko jatkuvasti tai heilahdellen tasapainotilastaan, on se tällöin epävakaa eli epästabiili. Kuvassa 9 on esitetty havainnollisesti kolme erilaista tasapainotilaa.



Kuva 9. Esimerkit kolmesta erilaisesta tasapainotilasta.

Kuvassa 9 esitetty epämääräinen tasapainotila käytännössä tarkoittaa tilannetta, jossa konetta poikkeutetaan johonkin suuntaan, jolloin kone jää tähän asentoon eikä yritä palautua tai kasvattaa liikettä.

Pääasiassa yleisilmailun koneet tehdään vakaiksi, mutta esimerkiksi uudemman mallisia hävittäjiä on suunniteltu alusta alkaen epävakaiksi. Tämän mahdollistaa tietotekniikka, joka hoitaa epävakaan koneen suunnassa pitämisen. Kone pyrkii koko ajan kallistelemaan akseleidensa suhteen, mutta tietokone hoitaa tämän ihmiselle lähes mahdottoman vakauttamisen ilman, että lentäjällä on tästä mitään tietoa.

Lentokoneen vakavuus on kompromissi ohjattavuuden, liikehtimiskyvyn ja vakavuuden suhteen. Tulos riippuu koneen halutusta käyttötarkoituksesta. Karkeasti sanottuna:

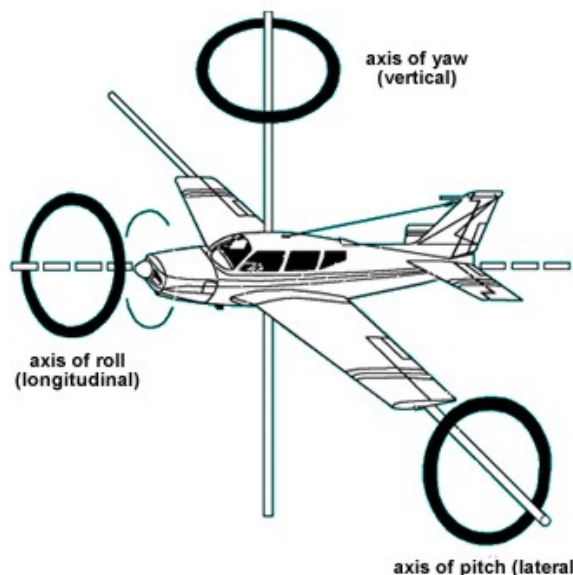
- Vakaa kone on helppo lentää, mutta liikehtimiskyky on verrattain heikko.
- Epävakaa kone on hyvä liikehtimään, mutta ohjattavuus on vaikeata.

Pääsääntöisesti siviili-ilmailussa kaikki koneet ovat vakaita, sillä vakaankin koneen liikehtiminen on enemmän kuin riittävää.

6.1 Akselit

Lentokoneen vakavuustarkasteluissa käytetään koordinaatistoa, jolla voidaan kuvata koneen eri suuntaisia liikkeitä. Koordinaatisto koostuu kolmesta akselista, joiden ympäri liike tapahtuu. Näitä akselien ympäri tapahtuvia liikkeitä kutsutaan poikittaiskallistusliikkeeksi (roll), pituuskallistusliikkeeksi (pitch) sekä suunnanmuutokseksi (yaw). Kyseiset akselit on havainnollistettu kuvassa 10, jossa koneen painopisteeseen on piirretty koordinaatisto.

Pituuskallistusliikkeessä liike on positiivinen silloin, kun nokkaa nostava momentti on positiivinen. Poikittaiskallistusliikkeessä oikealle kallistava momentti määritellään positiiviseksi. Suunnanmuutosmomentti on positiivinen silloin, kun se pyrkii kääntämään konetta oikealle.



Kuva 10. Lentokoneen koordinaattiakselit

6.2 Lentokoneen ohjaaminen

Tavanomaisen lentokoneen ohjauksella tarkoitetaan lentäjän mahdollisuuksia tehdä erilaisia ohjainpoikkeutuksia, jolloin syntyy aerodynaamisia momentteja lentokoneen painopisteen kautta kulkeville akseleille. Nämä synnyttävät aerodynaamisia voimia, jotka edelleen muuttavat koneen lentorataa.

Käytännössä kuvan 10 mukaisten akselien suhteen tapahtuvat poikkeutukset tapahtuvat ohjaimia liikuttamalla. Sauvaa vetämällä tai työntämällä syntyy pituuskallistusliikettä (pitch), sauvaa viemällä sivulta toiselle poikittais-kallistusliikettä (roll) ja suunnanmuutoksia (yaw) käyttämällä jalkaa. Hallittu lentäminen tapahtuu näiden kaikkien voimien yhtäaikaisella käytöllä, jolloin kone saadaan lentämään puhtaasti.

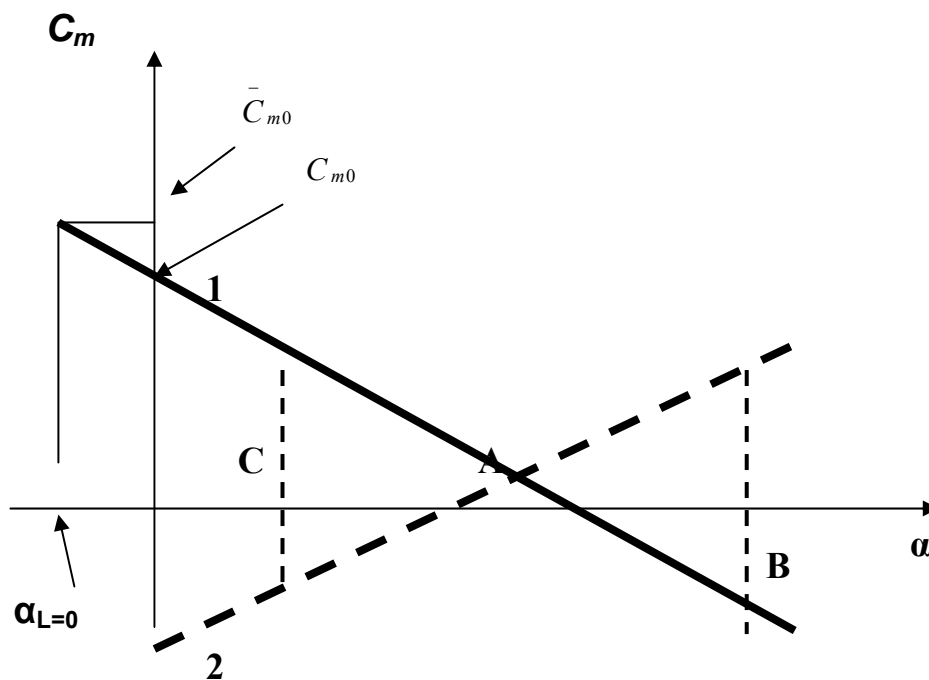
6.3 Staattinen vakavuus

Staattinen vakavuus voidaan jakaa kahteen pääasialliseen liikkeeseen, jotka ovat symmetrinen sekä epäsymmetrinen liike. Pituusvakavuus (kuvassa 10, pitch) lasketaan symmetriseksi liikkeeksi, kun taas poikittaiskallistus- (roll) ja suunnanmuutosliikkeet (yaw) lasketaan epäsymmetrisiksi liikkeiksi.

Pituusvakavuus

Lentokoneen pituusvakaavuus saavutetaan huolellisella suunnittelulla, jossa otetaan huomioon erilaiset lentotilat. Pituusvakavuus käytännössä tarkoittaa koneen nokan kohtauskulman hallintaa, eli nokan liikettä ylös- tai alaspäin lentäjän näkökulmasta katsottuna. Teoriassa koneen staattisen pituusvakaavuuden tarkasteluun liittyy monta asiaa.

Otetaan tilanne, jossa kohtauskulma muuttuu jonkin häiriön vaikutuksesta. Pituusvakaan koneen tulisi palautua tästä häiriöstä automaattisesti. Kuvassa 11 on esitetty tilanne kuvaajan avulla pituusvakaan ja pituusepävakaan koneen suhteen. Koneiden 1 ja 2 käyrät esittävät koneen kohtauskulman α muutosta, suhteessa pituusmomenttikerroimen C_m muutokseen.



Kuva 11. Pituusmomenttikerroin C_m kohtauskulman α funktiona kahdelle eri lentokoneelle.

Pituusmomenttikerroin saadaan laskettua kaavalla kahdeksan:

$$C_m = \frac{M}{q \cdot S \cdot \bar{c}} \quad (8)$$

jossa,

M = Koneen massakeskipisteeseen vaikuttavien momenttien summa

S = Siiven pinta-ala

\bar{c} = Keskimääräinen profiilin jänne

$$q = \text{Kineettinen paine} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$$

jossa,

ρ = Ilman tiheys lentokorkeudella

V = Lentonopeus

Kun halutaan, että kone lentää tasapainotilassa, on pituusmomenttikertoimen oltava 0, jolloin myös pituusmomentin on oltava 0. Tällöin ollaan pisteen A tilanteessa, minkä voi nähdä kuvasta 11. Tämän jälkeen ajatellaan, että koneeseen kohdistuu positiivinen momentti, joka kääntää koneen nokkaa $\Delta\alpha$ verran ylöspäin, tehden näin koneelle kohtauskulmaa. Pisteen B kohdalla nähdään, että kun kohtauskulma kasvaa, koneen 1 käyrä laskee, jolloin syntyy koneessa negatiivinen nokkaa alaspäin painava momentti, tehden koneesta pituusvakaan. Kun taas koneen 2 käyrä menee pisteessä B ylöspäin, tällöin kone pyrkii kasvattamaan kohtauskulmaa, tehden koneesta pituusepävakaan.

Sen sijaan, kun koneelle jonkin häiriön seurauksena syntyy negatiivista kohtauskulmaa pisteessä C, huomataan vakaan koneen 1 pyrkivän jälleen palauttamaan alkuperäinen kohtauskulma. Epävakaana kone 2 pyrkii kasvattamaan negatiivista kohtauskulmaa.

Näin ollen voidaan todeta, että kun pituusmomenttikäyrä on laskeva, on kone staattisesti pituusvakaana. Tällöin pituusmomenttikertoimen muutos jaettuna kohtauskulman muutoksella pitää olla negatiivinen. Matemaattisesti:

$$C_{m\alpha} = \frac{\Delta C_m}{\Delta\alpha} < 0, \text{ staattisesti vakaa kone}$$

Kun taas epävakaalla lentokoneella se on positiivinen.

$$C_{m\alpha} = \frac{\Delta C_m}{\Delta\alpha} > 0, \text{ staattisesti epävakaana kone}$$

Jos lentokone on staattisesti epämääräinen, on pituusmomenttikertoimen kuvaaja tällöin suora. Tässä tapauksessa mahdolliset häiriöt eivät synnytä minkäänlaisia pituusmomenteja, jolloin kone ei periaatteessa tee liikettä ja $C_{m\alpha} = 0$.

Kuvassa esitetyt muut symbolit ovat:

- $\alpha_{L=0}$ = Kohtauskulma, kun nostovoima on nolla
- \bar{C}_{m0} = Pituusmomenttikerroin, kun nostovoimakerroin on nolla
- C_{m0} = Pituusmomenttikerroin kun kohtauskulma on nolla

Kuvasta 11 voidaan päätellä, että kohtauskulman ollessa 0 ei nostovoima ole 0. Tällöin pituusmomenttikertoimen arvot näissä tilanteissa ovat eri suuret.

Lentokoneen aerodynamiikka ja lentomekaniikka kirjasta /1/ :

”Jotta lentokone voisi lentää tasapainotilassa ja jotta tasapainotila olisi staattisesti pituusvakaa, on oltava voimassa:

$$\bar{C}_{m0} > 0 \quad \text{ja} \quad C_{m\alpha} < 0 \text{ ”}$$

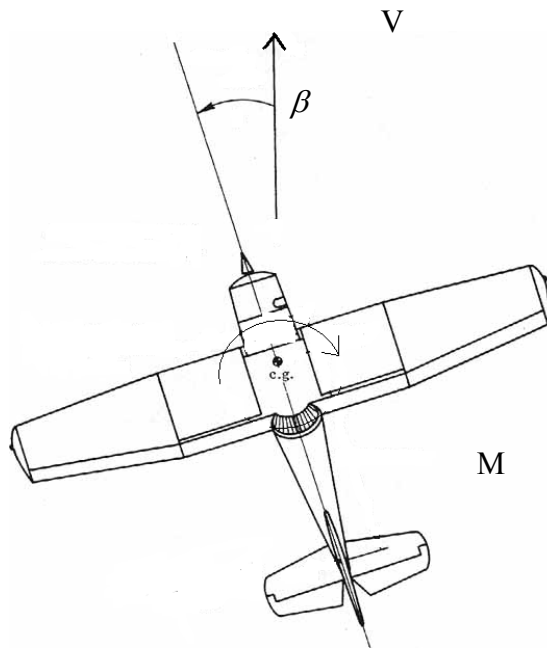
Lentokone on staattisesti pituusvakaa, sen täytettyä yllä olevat ehdot, mutta mistä näiden ehtojen täytyminen koostuu, on monen pienemmän tarkastelun takana. Lentokoneen vakavuutta tarkasteltaessa on otettava huomioon esimerkiksi seuraavanlaisia asioita:

- siiven ja korkeusperäsimen sijoittaminen painopisteen suhteen
- arodynaaminen keskiö ja staattinen marginaali
- painopisteen paikka
- eri ohjainpintojen poikkeuttamisen vaikutus aerodynaamisiin voimiin
- työntövoiman vaikutus staattiseen vakavuuteen.

Tarkemmin lentokoneen vakavuuden määrittelemisestä voi etsiä tietoa kirjasta ”Seppo Laine, Jaakko Hoffren, Kari Renko. Lentokoneen aerodynamiikka ja lentomekaniikka” /1/. Tai esimerkiksi kirjasta ”Erkki Haapanen, Aerodynamiikka” /2/.

Suuntavakavuus

Suuntavakavuudella tarkoitetaan kuvan 12 tilannetta, jossa kone lentää puhtaasti eteenpäin nopeudella V ja sillä on sivuluisukulma β . Tällöin lentokoneelle täytyy syntyä momentti M , joka kääntää koneen nokkaa kulkusuuntaan.



Kuva 12. Lentokone sivuluisussa

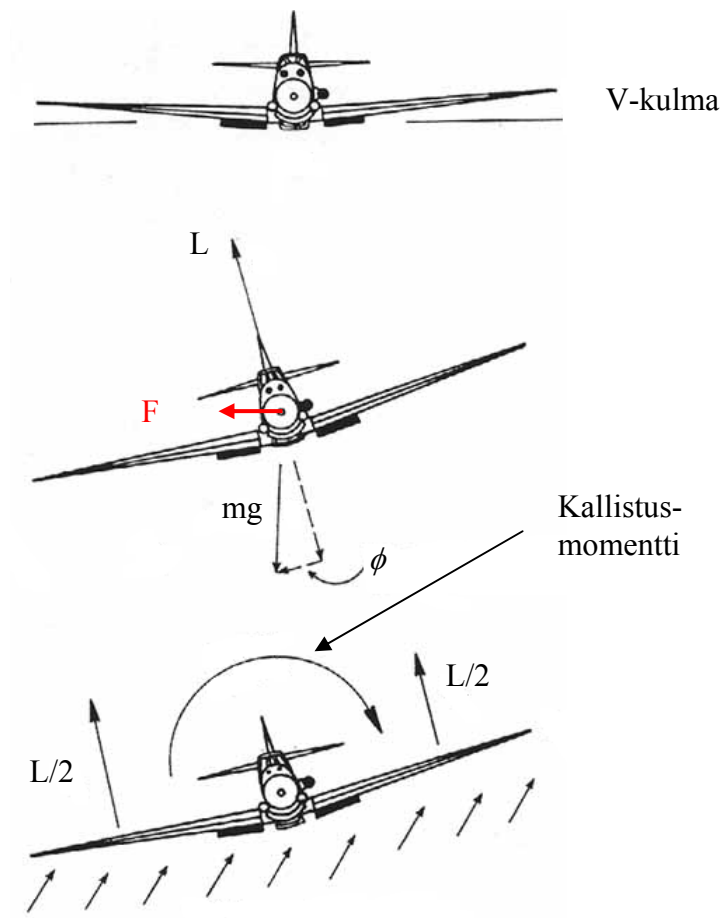
On sovittu, että kun lentokone lentää oikea kylki edellä, on sivuluisukulma tällöin positiivinen. Myös momentti M on positiiviseen suuntaan tässä tapauksessa, koska se kohdistuu oikealle.

Suuntavakavuuden ylläpitämiseksi lentokoneessa on sivuvakain. Se, miten tehokkaasti sivuvakain vakauttaa konetta, riippuu sen pinta-alasta ja sivuvakaimen aerodynaamisen keskiön etäisyydestä lentokoneen painopisteeseen. Eli sivuvakain

vakauttaa lentokonetta ilman, että siihen kiinnitettyä sivuperäsintä poikkeutetaan. Suuntavakavuuden täytyy olla perinteisen lentokoneen ominaisuus.

Kallistusvakavuus

Jos lentokone kallistuu kuvan 13 mukaisesti jonkin häiriön tai ohjainpoikkeutuksen vaikutuksesta, on sen palaututtava vaakalentoon ilman, että lentäjä joutuu tekemään korjaavia liikkeitä. Jos näin tapahtuu, on lentokone kallistusvakaa. Kallistusta lentäjä aiheuttaa käyttämällä siivekkeitä, jotka sijaitsevat lähellä siiven kärkiä. Tämä siitä syystä, että saadaan tarvittava momenttivarsi, joka pienentää kallistukseen tarvittavia voimia.



Kuva 13. Kallistusliike ja siitä oikeneminen

Kallistuksesta ei aiheudu suoraan mitään oikaisevaa momenttia, joka palauttaisi lentokoneen takaisin vaakalentoon. Kallistuksesta aiheutuu sivuluisu, jonka seurauksena syntyy korjaava kallistusmomentti.

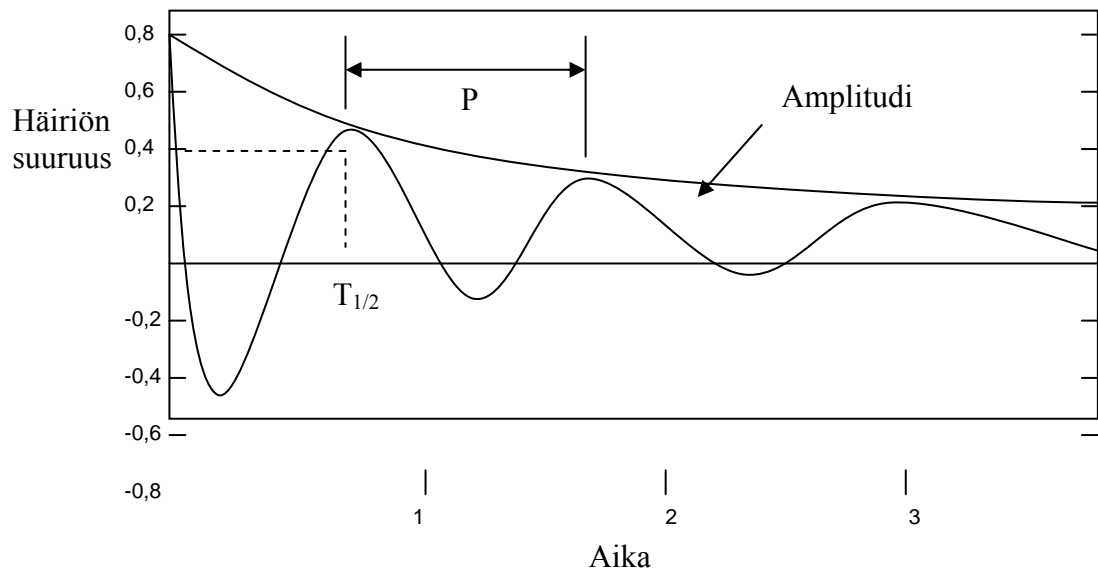
Lentokone kallistuu kulman ϕ verran, jolloin nostovoima L vaikuttaa edelleen koko koneen painon verran, mutta ei samassa tasossa kuin millä maa vetää lentokonetta puoleensa. Tällöin syntyy resultanttivoima F , joka kohdistuu alaspäin kallistunutta siipeä kohti. Siksi lentokone joutuu alaspäin osoittavan siiven suuntaiseen kiihtyvään liikkeeseen, jolloin lentokone kulkee osittain oikea kylki edellä. Tämä liike, joka tunnetaan nimellä sivuluisu, aiheuttaa alaspäin osoittavaan siipeen enemmän nostovoimaa kuin ylöspäin osoittavaan. Tämä epäsymmetrinen nostovoimajakautuma aiheuttaa kallistusmomentin, joka oikaisee lentokoneen. Tätä oikeenemispyrkimystä kutsutaan V-kulmavaikutukseksi.

Toisaalta kaikissa koneissa ei V-kulmaa tarvita, sillä esimerkiksi ylätasokoneissa rungon sijoittaminen siiven alapuolelle tuo lentokoneelle kallistusvakautta.

6.4 Dynaaminen vakavuus

Staattisessa vakavuustarkastelussa ei saada vastausta siihen, palautuuko lentokone häiriöstä johtuvasta tasapainoaseman muutoksesta koskaan, tai millä tavalla se siitä palautuu. Toisin sanoen staattisella tarkastelulla pyritään selvittämään, lähteekö lentokone palautumaan alkuperäiseen tasapainoasemaansa.

Dynaamisessa vakavuustarkastelussa sen sijaan otetaan aika ja amplitudi mukaan. Tarkastelussa pyritään selvittämään lentokoneen asemaa ja liiketilaa tietyssä aikana, eli tarkastellaan sitä, miten lentokone palautuu häiriöstä sekä sitä, miten kauan sillä palautumiseen menee aikaa. Kuvassa 14 nähdään ajan ja amplitudin funktiona esitettynä, mitä tarkoittaa heilahdusliikkeeseen joutuneen koneen heilahduksen vaimeneminen.



Kuva 14. Heilahtelun vaimenemista kuvaava kuvaaja, kun kyseessä vakaa kone. \1\, \2\

Kuvassa 14 esiintyvällä kirjaimella P tarkoitetaan heilahdusaikaa. $T_{1/2}$ tarkoittaa amplitudin puoliintumisaikaa eli aikaa, jossa häiriöstä aiheutunut heilahduskulma vaimenee puoleen. Amplitudi voi myös toimia päin vastoin, jolloin heilahtelu kasvaa. Silloin puhutaan amplitudin kahdentumisajasta T_2 . Tällöin kyseessä on epävakaa kone.

Dynaaminen vakavuus voidaan jakaa symmetriseen ja epäsymmetriseen liikkeeseen samalla tavalla kuin staattinen vakavuus. Symmetrinen liike tapahtuu pituus- kallistuksen suunnassa, jolloin kohtauskulmahäiriö on tarkastelun alaisena. Tähän lisätään kuitenkin nopeudelle aiheutuva häiriö sekä pituuskulmanopeushäiriö. Tällöin puhutaan sellaisesta ominaisliikemuodosta kuin ”nopea heilahtelu” (short period motion), joka voi olla erittäin vaarallista, sillä sen heilahdusjakson aika on tyypillisesti $P = 2 - 5$ s. Kun heilahdusaika on näin lyhyt, saattaa lentäjä reagoida väärällä tavalla, tehden korjausliikkeen väärään suuntaan. Tällöin kone on esimerkiksi alkanut heilahtelun ensiksi ylös, jolloin lentäjä korjaa työntämällä, mutta heilahdusajan ollessa lyhyt heilahtaa lentokone samalla alaspäin, kun lentäjä pyrkii

korjaamaan nokan asentoa alas. Tästä syystä liike vain pahenee ja seuraukset voivat olla tuhoisat.

Toinen symmetrinen heilahtelu on hidas heilahtelu, jossa heilahduksen jaksonaika pituus $P = 0,5 - 2$ min. Tätä liikettä kutsutaan phugoid-liikkeeksi (phugoid-motion). Liike on sellainen, että lentäjä ei välttämättä edes huomaa lentokoneen joutuneen tähän liikkeeseen. Näin ollen liike ei ole vaarallinen, eikä sen tarvitse siviili-ilmailun lentokelpoisuusmääräysten mukaan olla vaimeneva.

Epäsymmetrisessä liikkeessä tarkastellaan lentokoneen suunnanmuutos- ja kallistusliikkeiden vakavuutta. Tällöin häiriö liikkeessä voi vaikuttaa näihin kaikkiin suureisiin, tai vain yhteen:

- Suuntakulmanopeus R
- Kallistuskulmanopeus P_1
- Sivuluisukulma β
- Kallistuskulma ϕ .

Tuloksena näistä eri suureiden muuttumisesta on kolme eri ominaisliikemuotoa:

- Spiraaliliike
- Vaimeneva kallistusliike
- Poikittaisheilahdusliike

Tarkemmin lentokoneen dynaamisen vakavuuden määrittämisestä voi etsiä tietoa kirjasta ”Seppo Laine, Jaakko Hoffren, Kari Renko. Lentokoneen aerodynamiikka ja lentomekaniikka” /1/. Tai esimerkiksi kirjasta ”Erkki Haapanen, Aerodynamiikka” /2/.

7 PAINONHALLINTA

Lentokoneen painolla on lentokonetta suunniteltaessa aina suuri merkitys. Kaikessa suunnittelussa pyritään tekemään lentokoneen eri osista mahdollisimman kevyitä. Ihmiselle, joka ei asiasta tiedä, voisi asian niinkin yksinkertaisesti selittää, että kun otat kaksi eri painoista kappaletta käteesi, vaatii painavamman kappaleen ylös nostaminen enemmän voimaa. Tästä voi suoraan päätellä, että esimerkiksi polttoaineen kulutus menee käsi kädessä lentokoneen painon kanssa. Ei siis ihme, että lentokoneen rakenteiden suunnittelussa halutaan kokoajan kehittää uutta, mikä tosin ei saa vaarantaa turvallisuutta yhtään sen enempää kuin vanhat materiaalit tai rakenneratkaisut.

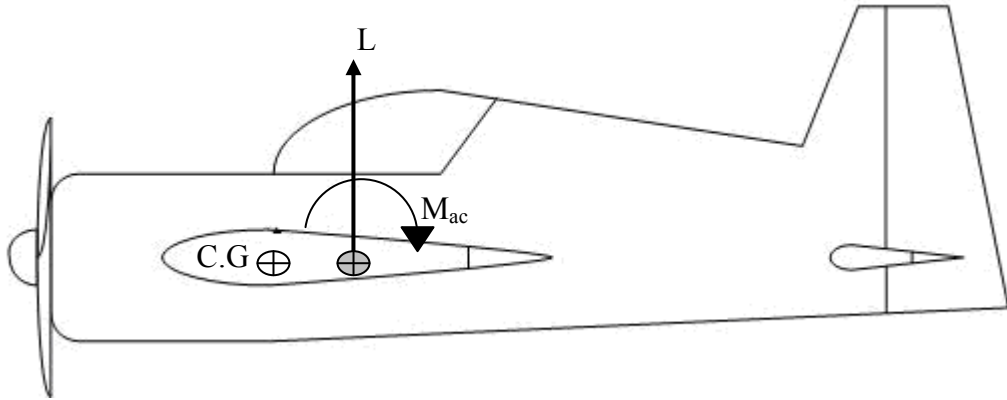
Kun lentokone tulee ulos tehtaalta, ei painojen miettiminen lopu siihen. Se, miten lentokone kuormataan ennen lento-olähtöä, on erittäin tärkeää. Maksimilento-olähtöpainoja sekä kuormien asettelua lentokoneeseen on noudatettava, sillä marginaali, jolla lentokoneen painopiste saa vaihdella, on hyvin pieni. Onnettomuuksilta olisi monesti vältytty, jos ohjeita ja määräyksiä olisi noudatettu.

Vakavuustarkasteluihin painonhallinta liittyy erittäin läheisesti. Aina kun puhutaan lentokoneen painosta tai painopisteen paikasta, puhutaan lentokoneen vakavuudesta. Jokainen painopisteen muutos vaikuttaa jollakin tavalla lentokoneen vakavuuteen, mistä voi olla suuriakin vaikutuksia lentokoneen ohjattavuuteen ja hallintaan.

7.1 Painopisteen paikka /1/, /2/

Lentokoneen valmistaja määrittelee lentokoneelle painopisteen, joka määräytyy lentokoneen eri ominaisuuksista. Kuvissa 15 ja 16 on havainnollistettu lentokoneen pituusvakavuuden suuntaista painopisteen paikkaa sekä sitä, miten se voi vaihdella.

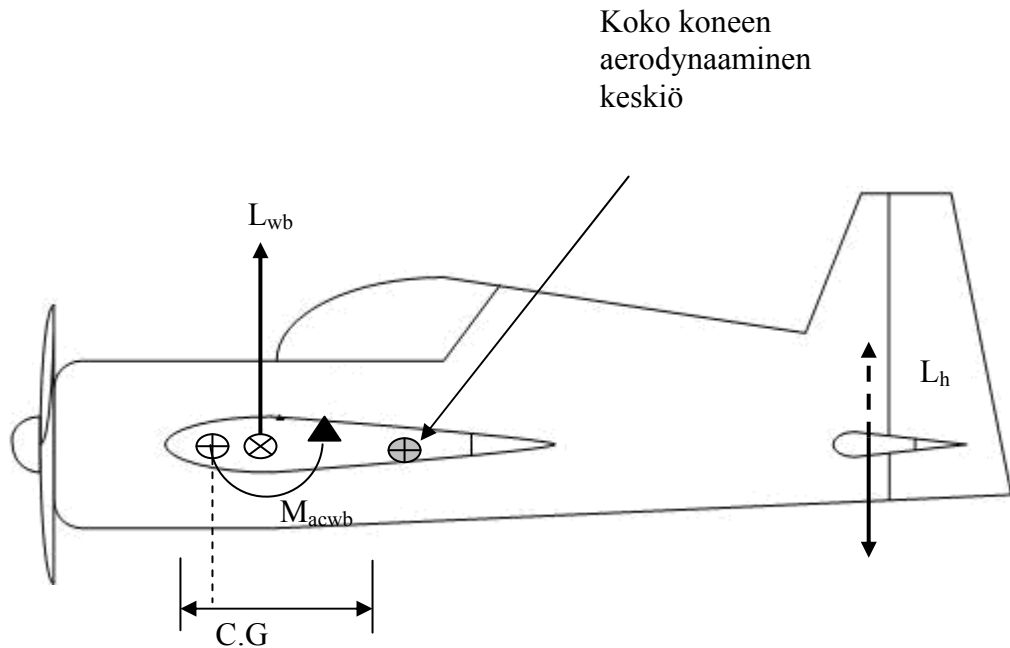
Otetaan käsittelyyn ainoastaan pituusvakavuuteen liittyvä painopistepaikan määrittäminen, sillä kun yleisilmailukonetta kuormataan, tehdään muutoksia melkein aina ainoastaan pituusvakavuuteen liittyen.



Kuva 15. Lentokoneen painopisteen ja nostovoimakeskiön suhdetta kuvaava kuva.

Kuvassa 15 on tilanne, missä painopiste (C.G) on koko lentokoneen aerodynaamisen keskiön edessä, jolloin mahdollisen kohtauskulmahäiriö johdosta nokka lähtee nousemaan. Silloin nostovoima L saa kohtauskulman lisäyksestä johtuen lisää nostovoimaa, joka aiheuttaa nokkaa alaspäin kääntävää momenttia painopisteen ympäri. Pituusmomentti M_{ac} ei määrityksensä mukaan kasva kohtauskulmahäiriön vaikutuksesta. Eli tässä tilanteessa lentokone käyttäytyy staattisesti ajateltuna vakaasti.

Toisessa tilanteessa kuvan 15 mukainen järjestely muuttuu niin, että painopiste siirtyy koko koneen aerodynaamisen keskiön taakse. Silloin mahdollinen kohtauskulmahäiriöstä aiheutuva nokan nouseminen aiheuttaa taas nostovoiman L lisäyksen, mutta nostovoima pyrkii nostamaan nokkaa ylöspäin. Näin ollen liike pyrkii kasvamaan, tehden lentokoneesta staattisesti epävakaa.



Kuva 16 Lentokoneen pituusvakavuus, missä C.G = Koko koneen painopiste, joka voi vaihdella kuvan osoittamalla tavalla koneen pysyessä edelleen vakaana, jolloin korkeusvakaimen nostovoima L_h vain vaihtaa suuntaa.

Kuvassa 16 :

M_{acwb} = Siipirunkoyhdistelmän momentti

L_{wb} = Siipirunkoyhdistelmän nostovoimakeskiö

Kuvan 16 tapauksessa painopiste (C.G) on siipirunkoyhdistelmän aerodynaamisen keskiön edessä. Tällöin, kun jonkun ilmakehän häiriön johdosta nokka nousee, siipirunkoyhdistelmän nostovoima pyrkii kääntämään nokkaa alaspäin painopisteen suhteen. Siipirunkoyhdistelmän momentti pyrkii myös laskemaan nokkaa, jolloin korkeusvakaimen tehtäväksi tulee osoittaa nostovoima L_h alaspäin (ehjä viiva), jotta lentokone olisi vakaa.

Toisessa tapauksessa painopiste siirtyy siipirunkoyhdistelmän taakse, jolloin siipirunkoyhdistelmän nostovoima pyrkii nostamaan nokkaa. Tämä voi riittää kumoamaan siipirunko-yhdistelmän tavallisesti negatiivisen momentin. Näin ollen täytyy korkeusvakaimen nostovoiman L_h kohdistua ylöspäin (katkoviiva). Tämä tilanne voi tulla esimerkiksi eteen hidaslennossa, jossa siipirunkoyhdistelmän nostovoima on suuri ja painopiste on takana.

Painopisteen paikan kannalta tärkein kohta koneessa on niin sanottu neutraalipiste, eli koko koneen aerodynaaminen keskiö. Painopiste ei tavallisessa yleisilmailukoneessa saa mennä neutraalipisteeseen, tai sen taakse. Toisin sanoen, painopisteen paikka ei saa liikkua liian taakse, sillä jos painopiste on koko koneen aerodynaamisen keskiön (neutraalipiste) kohdalla, on lentokone pituusvakavuudeltaan epämääräinen. Tällöin esimerkiksi ohjainpoikkeutukset eivät aiheuta minkäänlaisia momentteja painopisteen ympäri, jolloin kone ei periaatteessa tottele ohjaajan käskyjä. Jos se taas menee koko koneen aerodynaamisen keskiön taakse, on kone tällöin pituusepävaka.

Pituusepävakaas sinänsä ei vie koneen lentokykyä, mutta tällöin ilmakehän häiriöiden johdosta, joutuu lentokoneen etenemistä säätämään ohjaimilla koko ajan. Pituus-epävakauden ongelma on siinä, että kun painopiste on liian takana, ei lentokone itse pyri oikaisemaan häiriöstä johtuvaa pituuskallistusliikettä. Nykyaikana pituusepävakaan koneen hallintaan käytetään tietotekniikkaa ja niin sanottua ”fly by fire”-järjestelmää, joka itsenäisenä järjestelmänä havaitsee lentokoneen liikkeen korjaten lentotilaa automaattisesti.

7.2 Painopiste liian takana tai edessä

Lentokoneelle annetaan etu- ja takapainopisteen maksimiarvot. Näitä arvoja ei missään tapauksessa tule ylittää, sillä seurauksena voi olla lentokoneen vakavuuden muuttuminen epävakaaksi.

Jos kuvien 15 tai 16 painopisteen paikka jostain syystä liikkuisi liian taakse, koko koneen aerodynaamisen keskiön taakse, olisi pahimmassa tapauksessa seurauksena koneen hallinnan menetys. Pitää muistaa kuitenkin, että epävakaa kone on täysin lennettävissä, eikä kone tasaisessa suorassa lennossa välttämättä indikoi millään tavalla epävakaudesta. Vasta jonkin ilmakehän häiriön tai ohjainpoikkeutuksen vaikutuksesta alkaa liike kasvaa hallitsemattomasti.

8 AMFIBIO-PROJEKTIN PAINONHALLINTA JA VAKAVUUS

8.1 Johdanto

Tehtäessä lentokoneeseen suuria muutostöitä, kuten varustamalla se vesilentoon soveltuvilla amfibio-kellukkeilla, on tärkeää, että projektin alusta alkaen pidetään kirjaa uusien rakenteiden tuomasta painosta ja paikasta. Kaikki rakennemuutokset vaikuttavat painopisteen, joka on erittäin kriittinen tekijä koneen vakavuudessa ja ohjattavuudessa.

Tämän osion tarkoituksena on selvittää amfibio-projektin painonhallintaa ja vakavuutta. Painonhallinnasta on myös tehty pieni Excel-pohjainen ohjelma; täyttämällä siihen lentokoneen kuormauksen saa arvioidun painopisteen paikan lukuna sekä havainnollistettuna kaaviona.

Vakavuuden ja painonhallinnan tarkastelut rajoittuvat käytännössä pituusvakavuuden staattiseen tutkimiseen. Tähän päästään käsiksi tutkimalla lentokoneen massaa sekä siihen kuormattavien massojen sijoittelua. On ajateltava, että Ikarus C42 B-koneen valmistaja on tehnyt koneen kaikin puolin vakaaksi sekä ottanut huomioon mahdolliset kellukeasennukset. Toisaalta myös kyseiseen lentokoneeseen on

asennettu aikaisemminkin kellukkeita, joten näyttöä olemassa olevasta rakenteesta on. Näin ollen tärkeimmäksi vakavuus- ja painonhallintatarkasteluiksi on otettava pituusvakavuus, jonka tärkeimpänä muuttujana on kuormattavuuden hallinta.

Kellukkeiden paikka lentokoneessa tullaan suunnittelemaan niin, että koneen vakavuus ei tästä kärsi. Näin ollen inhimillinen tekijä, kuten lentokoneen kuormaus, jää kaikkein tärkeimmäksi tarkastelun osaksi. Liian monta kertaa on kuormauksella saatu lentokone epävakaaaksi, minkä seurauksena on ollut ihmishenkien menetys.

8.2 Ilmailumääräykset

Painonhallinnan ja vakavuuden osalta ilmailumääräykset löytyvät helpoiten Ilmailuhallinnon sivuilta. Suomalaisen ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirjasta käyvät jäsenellisesti ilmi asiat, jotka olisi hyvä ottaa huomioon experimental-rakentamisessa. Kyseinen käsikirja on Suomen ilmailuliiton laatima ohjekirja, joka on Ilmailulaitoksen hyväksymä. /8/

Muuten harrasterakentamiseen liittyvät ilmailumääräykset löytyvät Ilmailuhallinnon sivuilta, joilla AIR M5 määräykset koskevat tätä projektia. Esimerkiksi AIR M5-10 löytyy liitteestä yhdeksän. /9/

8.3 Painonhallinta

Kaksipaikkainen ultrakevyt lentokone vesilentovarustuksella saa painaa maksimissaan nykyään 495 kg, mutta ennen vuotta 1997 rakennetuilla ultrilla oli maksimilentoonlähtöpaino kellukevarustuksella 500 kg (AIR M5-10 muutos 2, 25.11.1996 /9/). Alla olevassa taulukossa 2 on vertailtuna OH-U469 (Ikarus C42 B:n) painoja erilaisilla laskutelinevaihtoehdoilla. Tällä hetkellä (07.2009) koneessa on kiinni Full Lotus-kellukkeet, mutta koneeseen on tarkoitus asentaa

Puddlejumper-amfibiokellukkeet. Massakeskiöaseman määrittämisessä perustasona on käytetty siiven etureunaa siiven tyvessä.

Taulukko 2. Laskutelineiden vertailua (Puddlejumper kellukkeiden paino on arvio)

	Paino (kg)	Massakeskiöasema (mm)
Pyörävarustuksella	281,5	361
Full Lotus kellukkeilla	352,1	341
Puddlejumper kellukkeilla (alustava)	354	344

Laskut on laskettu Excel-ohjelmaa käyttäen, esimerkkilaskut, joilla lopputuloksiin on päästy, ovat nähtävillä liitteissä 1-4.

Kuten huomataan, ovat Puddlejumper-kellukekonstruktion paino sekä massa-keskiöasema alustavien tarkasteluiden jälkeen kohdallaan. Tarkat painot saadaan vasta punnituksesta, jolloin myös massakeskiöasema saadaan tarkasti määritettyä.

Punnituksessa koneen massakeskiö tai paino voivat heittää hiukan lasketuista, on todennäköistä ottaen huomioon, että laskuja ei ole tehty aivan tarkkoja mittoja käyttäen, vaan omien käsivaran tehtyjen mittauksien perusteella. Kuitenkaan massakeskiöaseman lievä siirtyminen ei aiheuta mitään muuta kuin määräyksen, jossa todetaan, minkä painoinen henkilö saa lentää kyseistä lentokonetta.

Full Lotus-kellukkeilla varustetun koneen punnituspöytäkirjasta, joka on nähtävillä liitteessä 6, selviää minimipaino lentäjälle, kun lennetään tällä varustuksella. Tämä paino on laskettu sen jälkeen, kun koneen paino ja massakeskiöasema on saatu mittauksilla selville. Lentäjä istuu tietyn momenttivarren päässä, jolloin voidaan laskien määrittää, mikä on minimipaino lentäjälle, jotta kone pysyy sallituissa painopisteen rajoissa.

Ikarus C42 B Puddlejumper-kellukkeilla

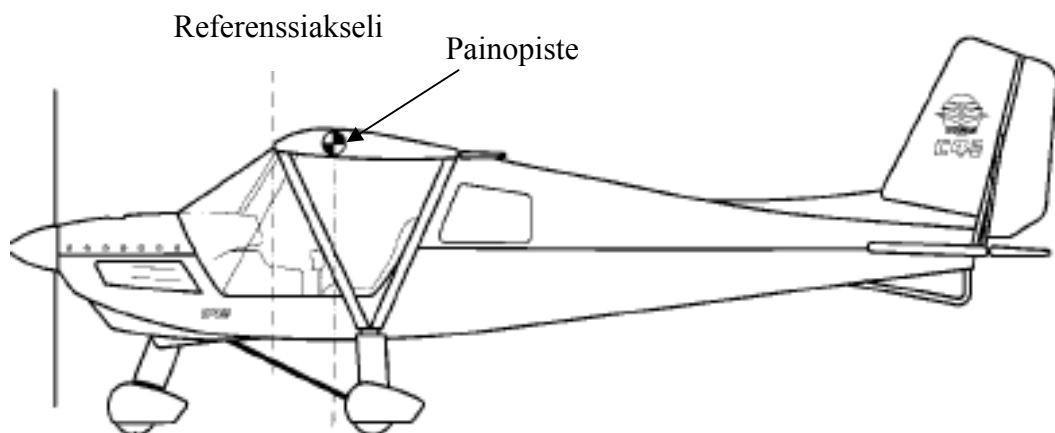
Määritetään maksimi- ja minimipainot, joilla Ikarus C42 B–amfibiokonetta (Puddlejumper-kellukkeilla, syrjäytetyn veden määrä 1200 lbs = 544,3 kg) voi turvallisesti lentää. Tällöin koneen painopiste pysyy sallituissa rajoissa.

Sallitut painopisteen rajat:

Edessä = 350 mm

Takana = 560 mm

Referenssiakselina on käytetty siiven etureunaa, josta mitataan pituussuunnassa, kuinka kaukana lentokoneen painopiste on. Havainnollistettuna tämä on kuvassa 17.



Kuva 17. Ikarus C42 B–ultrakevyen lentokoneen referenssiakseli ja painopiste

Tehdään kuvitteellinen laskelma, jossa kyseisen lentokoneen painopiste pyritään asettamaan mahdollisimman eteen. Tällöin ajatellaan tilanne, jossa polttoainetta ei ole tankissa, matkatavaroita ei ole sekä pilotin paino on arviolta 50 kg.

Pelkän lentokoneen painopisteeseman etäisyys referenssiakselista sekä massa ilman kuormaa:

$$m_{\text{kone}} = 354 \text{ kg}$$
$$\text{Painopisteesema} = 344 \text{ mm}$$

Tästä saadaan laskettua koneen aiheuttama momentti kaavalla 9, kertomalla massa sen etäisyydellä referenssiakselista.

$$\text{Momentti} = \text{massa} \cdot \text{painopisteesema} \quad (9)$$

$$M_{\text{kone}} = 354 \text{ kg} \cdot 344 \text{ mm} = 121776 \text{ kgmm}$$

Tämän jälkeen lasketaan 50 kg painavan pilotin aiheuttama momentti kaavalla 9:

$$M_{\text{pilotti}} = 50 \text{ kg} \cdot 400 \text{ mm} = 20000 \text{ kgmm}$$

Lasketaan yhteinen momentti sekä massa, jonka jälkeen kaavalla 9 saadaan laskettua uusi painopisteesema:

$$\text{painopisteesema} = \frac{\text{kokonaismomentti}}{\text{kokonaispaino}} \quad (9)$$

Uusi painopisteesema:

$$\text{painopisteesema} = \frac{(121776 \text{ kgmm} + 20000 \text{ kgmm})}{(354 \text{ kg} + 50 \text{ kg})}$$

$$= 350,93 \text{ mm}$$

Tulos on erittäin hyvä, sillä etummainen painopisteaseman sallittu paikka on 350 mm, jolloin periaatteessa 50 kg painava pilotti saisi lentää konetta. Sama tulos on esitetty liitteessä 1, kun se on laskettu Excel-pohjaisella ohjelmalla.

Seuraavaksi pyritään laskemaan tilanne, missä painopiste saadaan mahdollisimman taakse. Tällöin lentokoneessa on edelleen 50 kg painava pilotti, mutta polttoainesäiliö on täynnä, kuten myös matkatavaralle varattu paikka. Lasku lasketaan muuten samalla tavalla, kuten etummaisen sallitun painopisteaseman tapauksessa, mutta laskuun lisätään pari muuttujaa. Liitteessä 2 on esitetty Excel-ohjelmaa käyttäen tilanne, jossa kuvitteellisesti kuormaus olisi suoritettu mahdollisimman takapainoiseksi.

Liitteessä 3 on taas esitetty tilanne, joka voisi olla tavallinen kuviteltu lentotila sekä liitteessä 4 on tilanne, jossa kone on kuormattu huomattavan ylipainoiseksi.

Kuormattavuuslaskelma

Tehdään yksinkertainen kuormattavuuslaskelma, jolla voidaan havainnollistaa kellukevarustuksen vaikutusta kuormattavuuteen.

Ikarus C 42:

Pelkän rungon paino (ilman kellukkeita) = 264,5 kg

Kellukevarustuksen paino (sis. rakenteen) = 89,5 kg

Yhteispaino koneella = 354 kg

Tämä tarkoittaa, että kun maksimilentoonlähtöpaino on 500 kg, lasketaan hyötykuorma kaavalla 10:

$$500 \text{ kg} - 354 \text{ kg} = 146 \text{ kg} \quad (10)$$

Tästä voidaan tehdä esimerkkilaskelma siitä, miten kone voidaan kuormata, kun se tehdään sallitusti:

Lentokone = 354 kg

Pilotti = 100 kg

Polttoainetta = 40 kg

Matkatavaraa = 6 kg

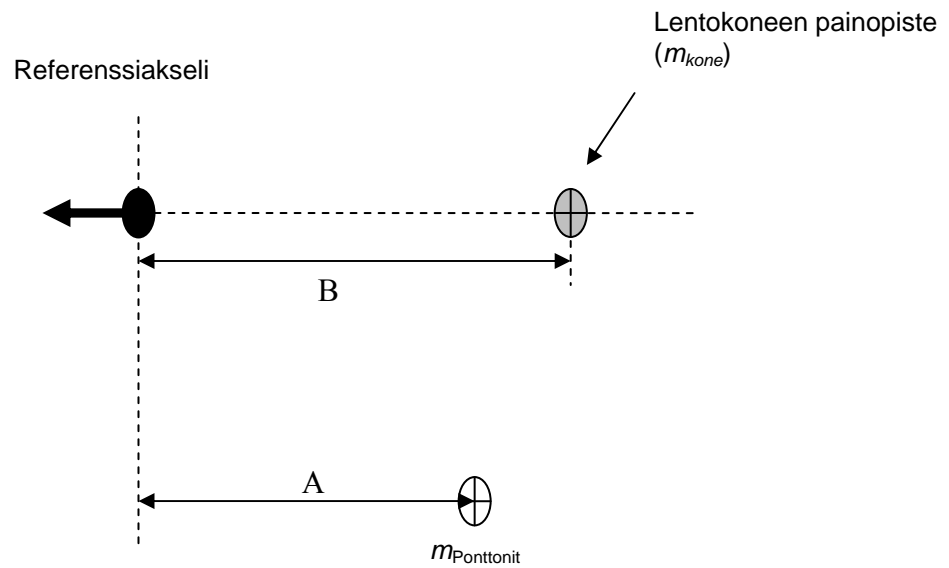
Yhteensä = 500 kg

Tästä esimerkkilaskelmasta päätellen ei matkustajalle jää liiemmin tilaa. Tulos on kuitenkin siedettävä, sillä olemassa oleva Full Lotus -kellukkeiden paino on samaa luokkaa, joten painon suhteen ei suunnitellulla konstruktiolla ole hätää.

8.4 Pituuskallistuskulman muutoksen vaikutus painopisteeseen

Ajatellaan tapahtuma, jossa jostain ilmakehän häiriöstä tai liian suuresta ohjainpoikkeutuksesta aiheutuen kone joutuu 60° nousukulmaan. Tällöin lentokoneella vedetään 60° asteen kulmassa ylöspäin, jolloin ponttonien painopiste siirtyy koneen referenssiakseliin nähden muuttaen näin koneen kokonaispainopistettä. Kuvassa 18 nähdään ponttonien painopisteen paikka suhteessa referenssiakseliin ja lentokoneen painopisteen (mitat eivät ole suhteessa toisiinsa kuvassa).

Tarkastellaan ainoastaan ponttonien aiheuttamaa mahdollista painopisteen paikan muutosta. Ei oteta mukaan koneen kuormattavuudesta mahdollisesti johtuvia painopisteen paikan muutoksia, sillä nämä tekijät on varmasti lentokonetta suunniteltaessa otettu huomioon. Näin ollen tarkastelu rajoittuu amfibio-kellukkeiden tuomaan mahdolliseen painopisteen paikan muuttumiseen.



Kuva 18. Yksinkertaisesti kuvattuna lentokoneen (ilman laskutelineitä) painopiste, referenssiakselin sekä ponttonien painopisteen paikkaa vaakalennossa.

Mitat ja painot kuvassa 18:

$$A = 286 \text{ mm}$$

$$B = 365 \text{ mm}$$

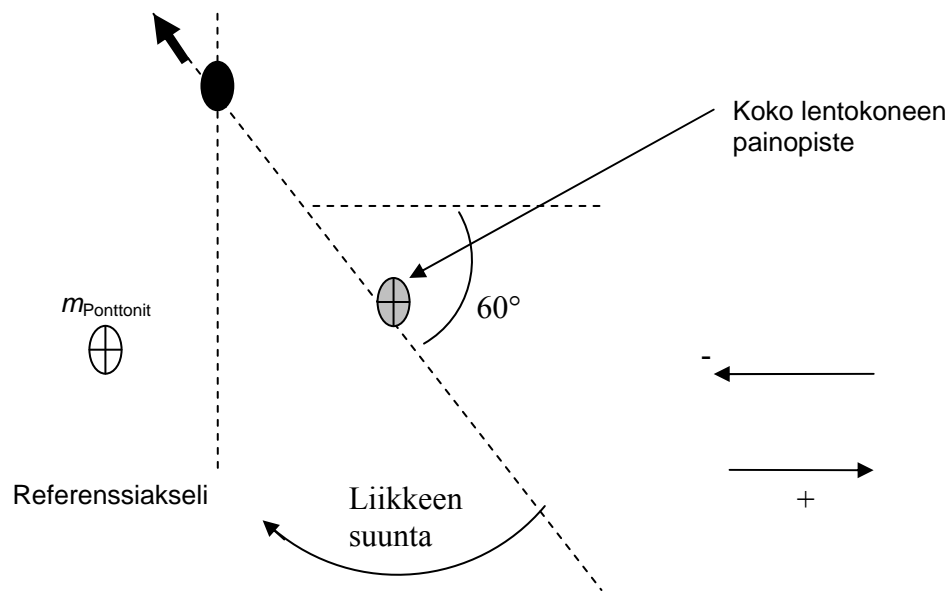
$$m_{Ponnttonit} = 89,5 \text{ kg}$$

$$m_{kone} = 264,5 \text{ kg}$$

Tämän jälkeen tarkastellaan tilannetta, jossa kone on 60° nousukulmassa. Tilanne ei ole täysin kuvan 17 mukainen, sillä lentokone ei pyöri referenssiakselin ympäri, vaan painopisteensä ympäri. Tämän takia joudutaan laskemaan kaikkien kuvassa esiintyvien massojen sekä referenssiakselin etäisyys lentokoneen painopisteestä. Tästä laskemalla uudet pituussuuntaiset etäisyydet referenssiakseliin saadaan koneelle uusi painopiste, kun kone on 60° kulmassa maahan nähden.

Kuvassa 19 tarkastellaan 60° kallistuksen aiheuttamaa ponttonien massan siirtymää. Kuitenkin pitää muistaa, että samalla kuin massa liikkuu painopisteen ympärillä, liikkuu myös painopiste samalla. Yksinkertaistetaan laskua kuitenkin niin, että

ajatellaan painopisteen pysyvän paikoillaan koko sen matkan jolla kone nousee 60° kulmaan.



Kuva 19. Lentokone 60° asteen nousukulmalla

Kuvasta 19 nähdään suoraan, että kun lentokoneella jostain syystä joudutaan 60° nousukulmaan, siirtyy ponttonien painopiste eteenpäin suhteessa referenssiakseliin. Näin ollen ponttonit vakauttavat tässä tilanteessa lentokonetta, jos tarkastellaan painopisteen paikan muuttumista. Ponttonit pyrkivät massansa ja momenttivartensa ansiosta luomaan negatiivista momenttia koneen painopisteen ympärille, jolloin nokka pyrkii laskemaan. Tämä ominaisuus lisää koneen staattista vakavuutta, joka kertoo ainoastaan, että lentokone lähtee palautumaan liikkeestään, mutta ei kerro palautuuko se varmasti siitä koskaan. Toisaalta staattisella tarkastelulla ei voida myöskään päästä käsiksi siihen, miten liike palautuu. Voidaan vain todeta, että ponttonit aiheuttavat vakauttavaa momenttia kyseisellä nousukulmalla.

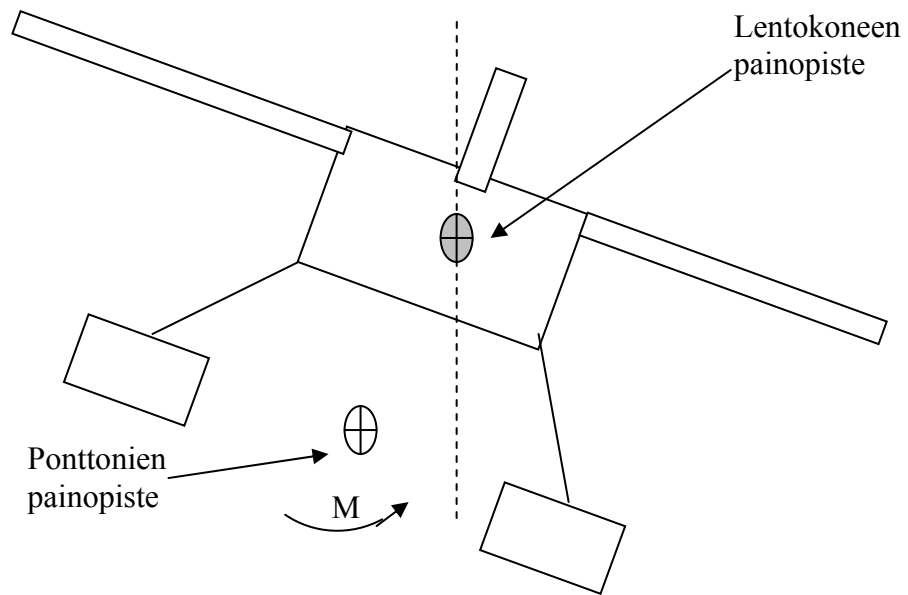
Toinen staattisen tarkastelun kohde on 60° asteen kulmalla alaspäin lentävän koneen ponttonien painopisteen vaikutus vakavuuteen. Ajatellaan kuva 19 vain niin, että koneen nokka osoittaa alaspäin, jolloin luonnollisesti ponttonien painopiste siirtyy taaksepäin. Tässä tilanteessa painopiste synnyttää positiivista momenttia painopisteen ympäri, mikä taas nokan osoittaessa alaspäin lisää vakavuutta.

Voidaan siis todeta, että kun tarkastellaan ponttonien painopisteen paikan vaihtelua pituuskallistuksen muutoksen johdosta, on vaikutus staattisesti ajateltuna vakavuutta lisäävä.

8.5 Ponttonien vaikutus poikittaishallitukseen sekä suunnan muutosliikkeeseen

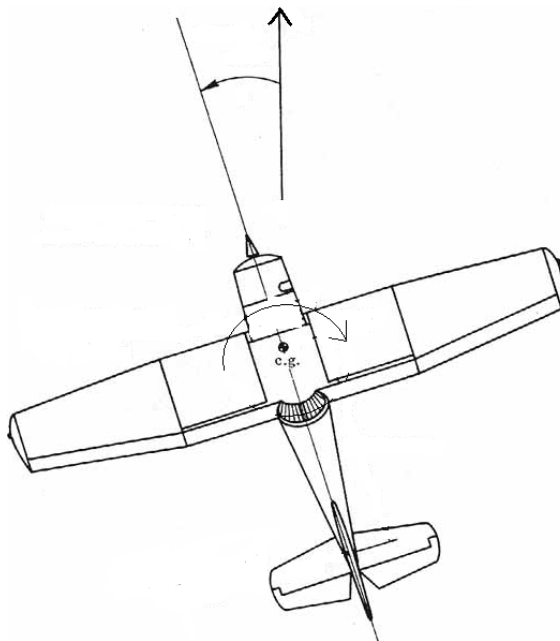
Tarkastelu ajatellaan täysin staattisena tilanteena, jolloin ei voida tietää miten, tai kuinka nopeasti lentokone palautuu tarkastelun alaisista liikkeistä. Tunteukset lentäjälle voivat olla erilaiset kuin staattinen tarkastelu antaa ymmärtää.

Ajatellaan kuvan 20 mukainen tilanne, jossa kone kallistuu oikealle, jolloin ponttonien painopiste siirtyy vasemmalle. Tällöin ponttonit aiheuttavat momentin M , joka synnyttää lentokonetta vakauttavan efektin. Ilmiö on samantapainen kuin ylätasokoneen rungon vaikutus lentokoneen vakavuuteen.



Kuva 20. Lentokone 20° kallistuksella.

Toinen tilanne on suunnanmuutos, jossa lentokoneen nokka kuvan 21 mukaisesti muuttaa suuntaansa. Tässä on kyseessä sivuluisu, jolloin ponttonien painopiste ei siirry suhteessa lentokoneen painopisteeseen. Staattisesti tarkasteltuna ponttoneilla ei ole vaikutusta lentokoneen suunnanmuutosliikkeeseen aikaiseen vakavuuteen, kun tarkastellaan painopisteen paikkaa.



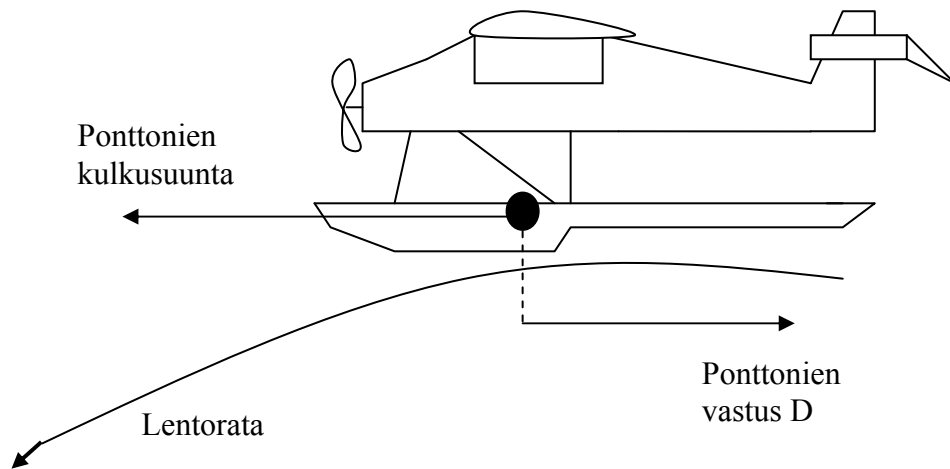
Kuva 21. Lentokone sivuluisussa.

8.6 Ponttonien kokonaisvaikutuksen pohdintaa

Asiaa tulee kuitenkin tarkastella monelta kantilta, joten painopisteen paikan vaihtuminen on vain yksi vakavuuteen liittyvä asia. Ponttonit aiheuttavat myös huomattavasti enemmän vastusta kuin pyörät, joten esimerkiksi suunnanmuutosliikkeessä ponttonikone voi vaatia enemmän ohjainvoimia, jotta se oikenisi.

Voidaan myös ajatella, että tavallisesti kun koneella tehdään kaarros, eivät lentokoneen alla olevat pyörät omaa suurtakaan massaa, joka pyrkisi jatkamaan liikettä tilanteessa, jossa lentokone kaartaa. Näin ollen ponttoneilla varustettu lentokone vaatisi enemmän ohjainvoimia, jotta se lähtisi haluttuun kaartoon. Ponttonit ovat kuitenkin melko pitkän varren päässä, jolloin niiden suhteellisen suuri massa aiheuttaisi voimia, joiden hallitsemiseen tarvittaisiin lisää ohjainvoimaa.

Esimerkiksi lentokoneella nousu, jossa ponttonit pyrkivät suoraviivaiseen liikkeeseen, lisää ohjainvoimien käytön tarvetta. Kuitenkaan tästä oikaiseminen ei ole välttämättä helpompaa kuin pyörillä varustetun koneen oikaiseminen. Kuvassa 22 havainnollistetaan tilannetta, jossa lentokoneen ohjaimia poikkeutetaan niin, että lentokoneen nokka lähtee laskuun. Tässä tilanteessa ponttonit pyrkivät jatkamaan suuntaansa kuvan mukaisesti, jolloin tarvitaan enemmän ohjainvoimia tämän liikkeen tekemiseksi kuin pyöräkoneella. Kun jokin suhteellisen iso massa, kuten ponttonit, pyrkivät johonkin suuntaan, vaaditaan tämän suunnan muuttamiseen enemmän voimaa.



Kuva 22. Lentokoneen pituuskallistuskulman muutos

Samaan aikaan ponttonit painopisteen muutoksella sekä haluamallaan kulkusuunnalla pyrkivät estämään nokan alaspäin viemisen. Toisaalta pitää ottaa vielä huomioon ilmanvastus, joka taas pyrkii kääntämään nokkaa alapäin, kuten kuvassa 22 on havainnollistettu.

Kun ponttonit asennetaan niin, että ne pitävät lentokoneen painopisteen sille annetuissa rajoissa, eivät ponttonit ole vaaraksi, kun lennetään normaaleilla lentotiloilla. Lentäjän täytyy kuitenkin tiedostaa, että ponttonit sijaitsevat suhteellisen pitkän momenttivarren päässä, jolloin ne yhteensä melkein 100 kg painavana massana koneen alla muuttavat lentokoneen ohjaustuntumaa. Liikkeet eivät välttämättä tapahdu yhtä jouheasti kuin pyöräkoneella, joten tiettyyn varovaisuuteen tulee pyrkiä.

9 LENTO-ONNETTOMUUS HOLLOLASSA 16.2.2004 /23/

9.1 Tapahtumien kulku

Kuvan 23 mukainen Dynamic WT-9 tyyppinen ultrakevyt lentokone lähti liikkeelle Hyvinkäältä alkuiltapäivästä ja laskeutui Vesivehmaalle. Siellä hetken oltuaan, klo 15.10, lentokone lähti takaisin kohti Hyvinkäätä. Kahdeksan kilometriä lennettyään kone joutui hallitsemattomaan lentotilaan noin 600m korkeudessa, minkä seurauksena vyönsä irrottanut lentäjä putosi kuomun läpi. Koneeseen jäänyt lento-aidoton matkustaja syöksyi koneen mukana, mutta jäi henkiin, saaden kuitenkin erittäin vakavia vammoja.



Kuva 23. Onnettomuuskoneen kaltainen Dynamic WT-9 (Kuva Ronimex oy, kuvan kone ei liity onnettomuuteen)

9.2 Onnettomuuden syy

Onnettomuustutkintaselostuksen mukaan syyt onnettomuuteen olivat seuraavat:

” Onnettomuuden syynä oli ylipainon ja liian takana sijainneen massakeskiön johdosta pituusvakavuudeltaan epävakaaksi muuttuneen koneen joutuminen puuskan tai korkeusperäsinohjaimen tahattoman poikkeutuksen takia hallitsemattomaan nopeasti tapahtuneeseen nokka ylös asentoon ja siitä edelleen selkäasentoon, jolloin ohjaaja on pudonnut avoinna olleista turvavöistä kuomun läpi maahan. Vöiden avaamisen syynä on saattanut olla ohjaajan kurottautuminen takana sijainneeseen matkatavaratilaan. Tällaisen liikkeen seurauksena koneen massakeskiö siirtyisi entistäkin taemmaksi tehden koneen staattisesti ja dynaamisesti epävakaaksi. Koneen pituusakselin suuntainen liike on ollut niin äkillinen ja yllättävä että ohjaajalla ei ole ollut mahdollisuutta korjaavaan ohjausliikkeeseen. Mahdollista on myös se, että koneen lentonopeuden hidastuttua mahdollisella korjausliikkeellä ei ole ollut vaikutusta koneen oikenemiseen.” /23/

9.3 Onnettomuuden syiden pohdinta

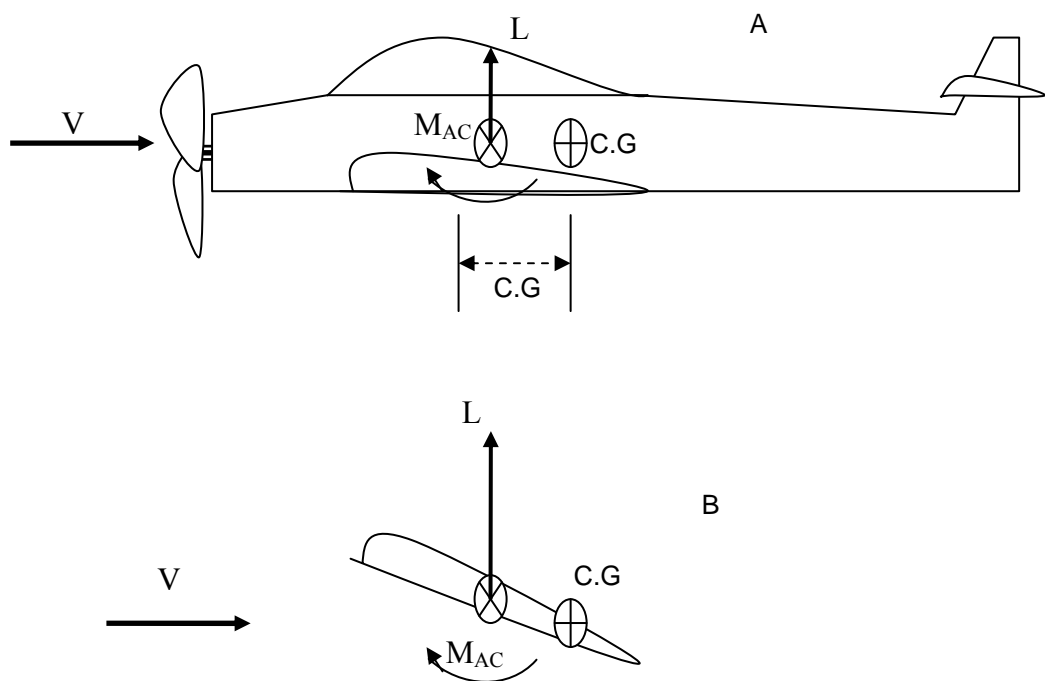
Perimmäinen syy onnettomuudelle oli kuormaus. Kun tavallisen ultrakevyen lentokoneen maksimipaino on 450 kg, painoi onnettomuuskone arviolta 535 kg onnettomuuden tapahtuessa. Todennäköisesti tämän ylipainon takia massakeskiö siirtyi sallitun takarajan taakse arviolta 3,6 cm, jolloin koneesta tuli epävaka.

Lentokone on todennäköisesti ollut lentoon lähdössä vielä vakaa lennettävä, mutta kuten tutkintaraportissa todetaan, polttoaine väheni lennon aikana, mikä edesauttoi painopisteen siirtymistä taaksepäin. Tässä kohtaa lentäjä on mahdollisesti irrottanut

istuinvyönsä ja kurkottanut jotain lentokoneen takaosasta. Tässä tilanteessa painopiste on edelleen siirtynyt taaksepäin.

Edellä mainitut tapahtumat eivät yksistään ole aiheuttaneet onnettomuutta. Onnettomuusraportin mukaan tilanteessa, jossa lentäjä on ilman istuinvöitä kurkottanut taakseen, on jostain ulkoisesta ilmakehän häiriöstä tai ohjaussauvan poikkeutuksesta johtuen lentokone lähtenyt hallitsemattomaan nousuun. Liike on jatkunut aina niin pitkälle, että lentokone on joutunut ylösalaisin, jolloin ilman istuinvöitä ollut lentäjä on pudonnut kuomun läpi. Korkeutta tässä vaiheessa on arviolta ollut 800 m. Lentotaidoton matkustaja ei ole pystynyt tekemään oikaisevia liikkeitä.

Kuvassa 24 on havainnollistettu pituusvakavuuteen liittyvä ongelma, kun lentokoneen painopiste siirtyy sallitun rajan taakse taakse.



Kuva 24. Epävakaan lentokoneen massakeskiöasema

jossa,

Painopiste C.G = \oplus

Koko lentokoneen
aerodynaaminen keskiö = \otimes

Nostovoimasta riippumaton pituusmomentti M_{AC}

Ajatellaan lentokoneen lentävän jollakin nopeudella eteenpäin, jolloin ilmassa kohtaa lentokoneen nopeudella V . Alussa onnettomuuskone oli todennäköisesti tilanteessa, jossa painopiste oli lentokoneen aerodynaamisen keskiön etupuolella. Tämän jälkeen kuvan 24, kohdan A mukaan, polttoaineen vähetessä sekä lentäjän kurottautuessa taaksepäin, painopiste siirtyi aerodynaamisen keskiön taakse.

Normaalisti lentokoneeseen vaikuttaa nostovoimasta riippumaton momentti M_{AC} , joka pyrkii kääntämään nokkaa ylöspäin. Tämän lisäksi, kun painopiste on siirtynyt aerodynaamisen keskiön taakse, on nostovoima L samoin alkanut kohtauskulman kasvaessa aiheuttaa momenttia, joka kääntää nokkaa ylöspäin. Tällöin lentokone on esimerkiksi joutunut nousevaan tai laskevaan ilmavirtaukseen kohdan B mukaisesti, jolloin kohtauskulma on muuttunut positiiviseksi. Kun painopiste on aerodynaamisen keskiön takapuolella, alkaa nostovoima L kasvattaa nokkaa ylöspäin kääntävää momenttia. Tästä seuraa se, että nostovoima pyrkii kasvavassa määrin kasvattamaan kohtauskulmaa, joka lisää nostovoimaa, joka taas kasvattaa nokkaa ylöspäin kääntävää momenttia.

Tämä ketjureaktio saattaa aiheuttaa niin äkillisen nokan liikkeen ylöspäin, josta aina edelleen selkälentoon, että lentäjän huomion ollessa muualla, ei hän ole pystynyt tekemään korjaavia ohjausliikkeitä. Toisaalta onnettomuusraportissa myös todetaan, että lentokoneen nopeus todennäköisesti putosi huomattavasti, jolloin ei korjaavilla ohjainliikkeillä olisi ollut mitään vaikutusta. Koneen ollessa selkälennossa, putosi lentäjä koneesta, jättäen lentotaidottoman ihmisen koneeseen, joka oli täysin epänormaalissa lentotilassa. Toisin sanoen, vaikka matkustajalla olisi ollut jokin käsitys lentämisestä, on hyvin vaikea kuvitella, että hän olisi tästä selkälennosta ja mahdollisista

muista, tästä aiheutuneista lentokoneen liikkeistä johtuen, pystynyt muuta kuin huitomaan sauvaa puolelta toiselle.

Kaikkein hämmäntävintä onnettomuudessa on mielestäni se, miten lentokone on saatu kuormattua niin, että massakeskiö on saatu niinkin taakse. Kun tutkin Ikarus C42 B-koneen kuormattavuutta, havaitsin ettei painopisteen paikka suurillakaan yli-kuormilla hätyyttele sallitun massakeskiöaseman takarajaa. Vaikka Dynamic WT-9 koneessa olikin 85 kg ylipaino, ei sen pitäisi silti riittää viemään painopistettä niin taakse, mitä tässä tapauksessa kävi. Toisaalta myös massakeskiön sallittu vaihteluväli on huomattavan pieni, kun vertaa sitä Ikarus C42 B-koneen vastaavaan.

Sallittu massakeskiön vaihteluväli:

Dynamic WT 9: 315 mm - 415 mm

Ikarus C42 B: 350 mm – 560 mm

Tästä johtuen Dynamic-koneen kuormauksessa täytyy olla erittäin tarkkana. Pitää muistaa, että pienikin massakeskiön virheellinen sijainti voi saada aikaan tuhoa.

10 YHTEENVETO

Projektin alussa en oikein tiennyt, mihin olin sekaantumassa. Nyt on kuitenkin käynyt selväksi se, mitä tuli tehtyä. Kun miettin kokonaisuutta, tulee väistämättä mieleen, että yhdestä projektista tuli kolme projektia. Aluksi oli tarkoitus tehdä amfibio-kellukeprojektia, jonka ohessa piti tehdä opinnäytetyötä; tämän jälkeen suunnitelmien valmistuttua itse rakentamista. Tästä kuitenkin mielestäni jakautuu selvästi kolme eri projektia, joista elokuun loppuun mennessä saadaan tehtyä kaksi. Rakentamista ei millään pystytä kesän aikana suorittamaan, joten katsotaan mitä lentokoneen omistaja haluaa syksyllä asialle tehdä. Toisaalta, miksi kone olisi parhaaseen lentoaikaan pitänytään laittaa työn alle, kun sen voi tehdä myrskyisinä ja pimeinä syysiltoina.

Se, miten suunnitteluprojekti onnistui, nähdään vasta, kun rakentaminen on viety loppuun. Suunnitelmamme eivät millään pystyneet olemaan ”tehdastaso”, sillä käytössämme ei ollut tarkkoja mittoja esimerkiksi itse lentokoneesta. Näin ollen suurin osa suunnitelmista pitää sisällään suhteellisen monta epävarmuustekijää, jotka porukalla päätimme jättää ajalle, jolloin rakentamista tehdään. Esimerkiksi ristikossa olevien putkien pituutta ei voinut suunnitella millimetrin tarkasti, sillä lentokoneen kiinnikkeiden etäisyyttä ei voitu todentaa muuten kuin käsipelillä mittaamalla.

Suunnitelma ei ole mallia ”plug and play”, mutta tuskin rakennusvaiheessa liikaakaan ongelmia pitäisi syntyä. Kiinnityksien yksityiskohdat on mietitty tarkasti, joten niiden kestävydestä ei normaalissa käytössä tarvitse huolehtia.

Oman henkilökohtaisen osuuteni, eli painonhallinnan ja vakavuuden osalta ei ongelmia pitäisi esiintyä. Kun tuloksiin lisää tietyn toleranssin, päästään lähelle totuutta. Esimerkiksi painopisteen paikka on tässä työssä tehty arvioiden, jolloin varmasti oikea paikka löytyy vasta punnitsemalla valmis tuote. Kuitenkin alustavat tulokset tarkasteluistani osuvat niin lähelle olemassa olevia rakenteita, että vaikka ne eivät aivan tarkkoja olisikaan, ei sen ongelmia pitäisi aiheuttaa.

Mitä projektin vetämiseen tulee, en ainakaan allapäin halua olla. Mielestäni porukka teki sen, mitä tästä tietotasosta lähtiessä voi odottaa. Joitain yksittäisiä lomaviikkoja lukuun ottamatta ryhmä oli koossa ja suunnittelemassa, joten laiskuudesta ei voi puhua. Suunnittelun laajuus vain yllätti projektin edetessä, mutta kun muistaa, että koulussa ollaan oppimassa, oli tämä projekti parasta koulunkäyntiä ja oppimista, mitä tästä laitoksesta saa.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

- /1/ Seppo Laine, Jaakko Hoffren, Kari Renko. Lentokoneen aerodynamiikka ja lentomekaniikka, WSOY oppimateriaalit Oy 2006, 434 s.
- /2/ Erkki Haapanen, Aerodynamiikka (Suomen ilmailuliitto, 1984)

Sähköiset lähteet

- /3/ Ilmailuhallinto [www- sivu]. [viitattu 03.08.2009]
Saatavissa: <http://www.ilmailuhallinto.fi/esittely>
- /4/ FAA [www- sivu]. [viitattu 03.08.2009]
Saatavissa: <http://www.faa.gov/>
- /5/ Ilmailuhallinto [www- sivu].
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
- /6/ Ilmailuhallinto [www- sivu]. [Viitattu 18.7.2009]
Ilmailumääräys AIR M5-10 Soveltamisohje N:o 9 m2 1.9.2004
Saatavissa: <http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imts-sovohj/so9m2.pdf>
- /7/ Ilmailuhallinto [www- sivu]. [Viitattu 14.7.2009]
Saatavissa: <http://www.ilmailuhallinto.fi>

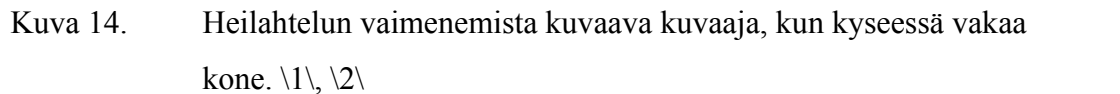
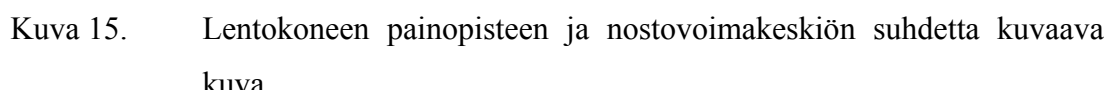
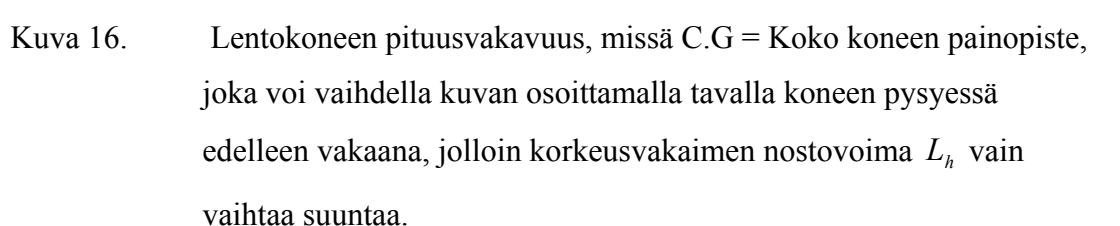

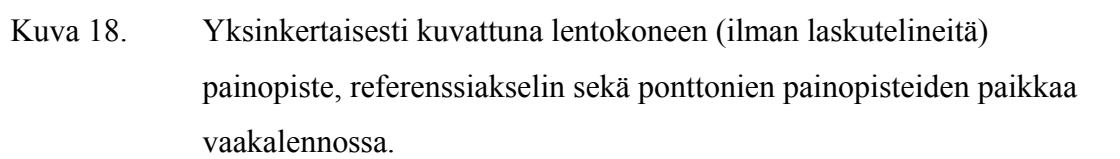
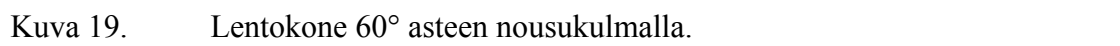
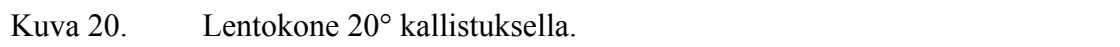

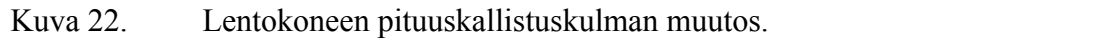
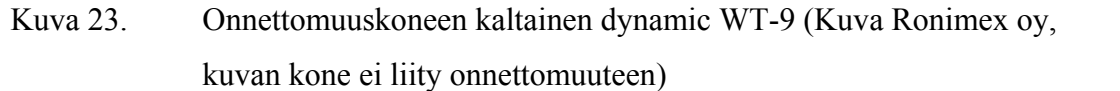

- /8/ Ilmailuhallinto [www- sivu]. [Viitattu 14.7.2009]
Ilmailumääräys PEL M2-70, Ultrakevyt lentäjän lupakirja
Saatavissa: http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-pel-m/pem2_70.pdf
- /9/ Ilmailuhallinto [www- sivu]. [Viitattu 16.7.2009]
Ilmailumääräys OPS M2-8, Lentotoiminta ultrakevyillä lentokoneilla
Saatavissa: http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-ops-m/opm2_08.pdf
- /10/ Ilmailuhallinto [www- sivu]. [Viitattu 15.7.2009]
Ilmailumääräys OPS M1-1, Lentosäännöt
Saatavissa: http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/imt-ops-m/opm1_01.pdf
- /11/ Ilmailuhallinto [www- sivu].
Suomalaisten ultakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirja
Saatavissa:
http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/Julkaisusarja_L/tarkastuskasikirja_ultra_2003.pdf
- /12/ Ikarus C42 B [www- sivut]
Saatavissa: http://www.comco-ikarus.de/index_english.html
- /13/ Kevytilmailu Ry [www-sivu]. [Viitattu 22.7.2009]
Saatavissa: www.kevytilmailu.net
- /14/ EASA [www – sivu]. [Viitattu 14.08.2009]
Saatavissa: http://easa.europa.eu/ws_prod/g/rg_certspecs.php#CS-23
- /15/ EASA [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.301, loads (a).
Saatavissa:
http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf

- /16/ EASA [www – sivu]. [Viitattu 12.08.2009]
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.521, Water loads conditions (a).
Saatavissa:
http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf
- /17/ Ilmailuhallinto [www- sivu]. [Viitattu 13.08.2009]
Suomalaisten ultakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirja, Kohta 477,
Maa- ja vesikuormat.
Saatavissa:
http://www.ilmailuhallinto.fi/files/lth/Julkaisusarja_L/tarkastuskasikirja_ultra_2003.pdf
- /18/ EASA [www – sivu]. [Viitattu 11.08.2009]
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.525 (c), Application of loads
Saatavissa:
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
Saatavissa:
http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf
- /20/ EASA [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.529 , Hull and main float landing
conditions
Saatavissa:
http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf
- /21/ EASA [www – sivu]. [Viitattu 10.08.2009]
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.527 , Hull and main float load factors
Saatavissa:
http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf
- /22/ EASA [www – sivu]. [Viitattu 13.08.2009]
CS-23 Book 1, Subpart C structure. 23.531 , Hull and main float takeoff
condition
Saatavissa:
http://easa.europa.eu/ws_prod/g/doc/Agency_Mesures/Certification%20Spec/CS-23%20Amdt%201%20Combined.pdf

/23/ Onnettomuustutkintakeskus [www- sivu] [Viitattu 25.7.2009]
Dynamic WT 9 ultrakevyen lentokoneen onnettomuustutkintaraportti
Saatavissa: <http://www.onnettomuustutkinta.fi/uploads/umoh2j87siz.pdf>

KUVALUETTELO

- Kuva 1. Ikarus C42 , Saatavissa www.kevytilmailu.net
- Kuva 2. Ensimmäisiä ristikkomalleja, Catia-mallinnus
- Kuva 3. Tarkempi kuva ensimmäisistä takakiinnitysehdotuksista, Catia-mallinnus
- Kuva 4. ”sandwich bracket”- malli tehtynä Lusas modeller ohjelmalla (FEM).
- Kuva 5. Ristikkorakenteen lopullinen rakennemalli, Catia-mallinnus
- Kuva 6. Tarkempi kuva ”sandwich bracket”- komponentista, Catia-malli
- Kuva 7. Alustava organisaatiokaavio
- Kuva 8. Alustava aikataulu
- Kuva 9. Esimerkit kolmesta erilaisesta tasapainotilasta. /3/
- Kuva 10. Lentokoneen koordinaattiakselit, <http://www.start-flying.com/index.htm>
- Kuva 11. Pituusmomenttikerroin C_m kohtauskulman α funktiona kahdelle eri lentokoneelle
- Kuva 12. Lentokone sivuluisussa, www.centennialofflight.gov
- Kuva 13. Kallistusliike ja siitä oikeneminen, www.centennialofflight.gov

- Kuva 14. Heilahtelun vaimenemista kuvaava kuvaaja, kun kyseessä vakaa kone. \1\, \2\

- Kuva 15. Lentokoneen painopisteen ja nostovoimakeskiön suhdetta kuvaava kuva.

- Kuva 16. Lentokoneen pituusvakavuus, missä C.G = Koko koneen painopiste, joka voi vaihdella kuvan osoittamalla tavalla koneen pysyessä edelleen vakaana, jolloin korkeusvakaimen nostovoima L_h vain vaihtaa suuntaa.

- Kuva 17. Ikarus C42 B ultrakevyen lentokoneen referenssiakseli ja painopiste.

- Kuva 18. Yksinkertaisesti kuvattuna lentokoneen (ilman laskutelineitä) painopiste, referenssiakselin sekä ponttonien painopisteiden paikkaa vaakalennossa.

- Kuva 19. Lentokone 60° asteen nousukulmalla.

- Kuva 20. Lentokone 20° kallistuksella.

- Kuva 21. Lentokone sivuluisussa.

- Kuva 22. Lentokoneen pituuskallistuskulman muutos.

- Kuva 23. Onnettomuuskoneen kaltainen dynamic WT-9 (Kuva Ronimex oy, kuvan kone ei liity onnettomuuteen)
Saatavissa: <http://www.ronimex.com/Suomi/suomi.htm>

- Kuva 24. Epävakaan lentokoneen massakeskiöasema.


Etummainen massakeskiöasema

Täytä

Lentäjän paino (kg) =

Matkustajan paino (kg) =

Polttoainetta (litroina) = kg =

Matkatavaraa (kg) =

Tulokset

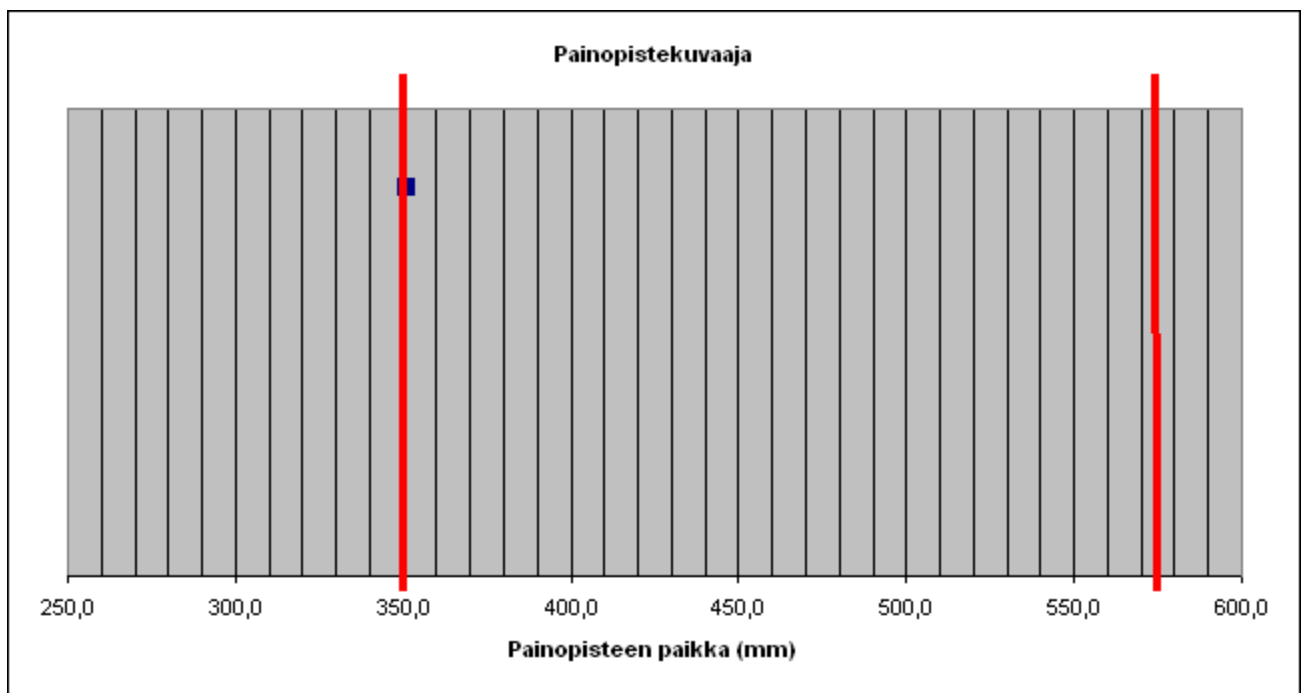
Sallitut rajat : X - suunta

Tulos (mm) = 350,9

Etupainopisteen raja = 350 mm

Paino Yhteensä (kg) = 404,0

Takapainopisteen raja = 560 mm



Takimmainen massakeskiöasema sallituilla painoilla

Täytä

Lentäjän paino (kg) =

Matkustajan paino (kg) =

Polttoainetta (litroina) = kg =

Matkatavaraa (kg) =

Tulokset

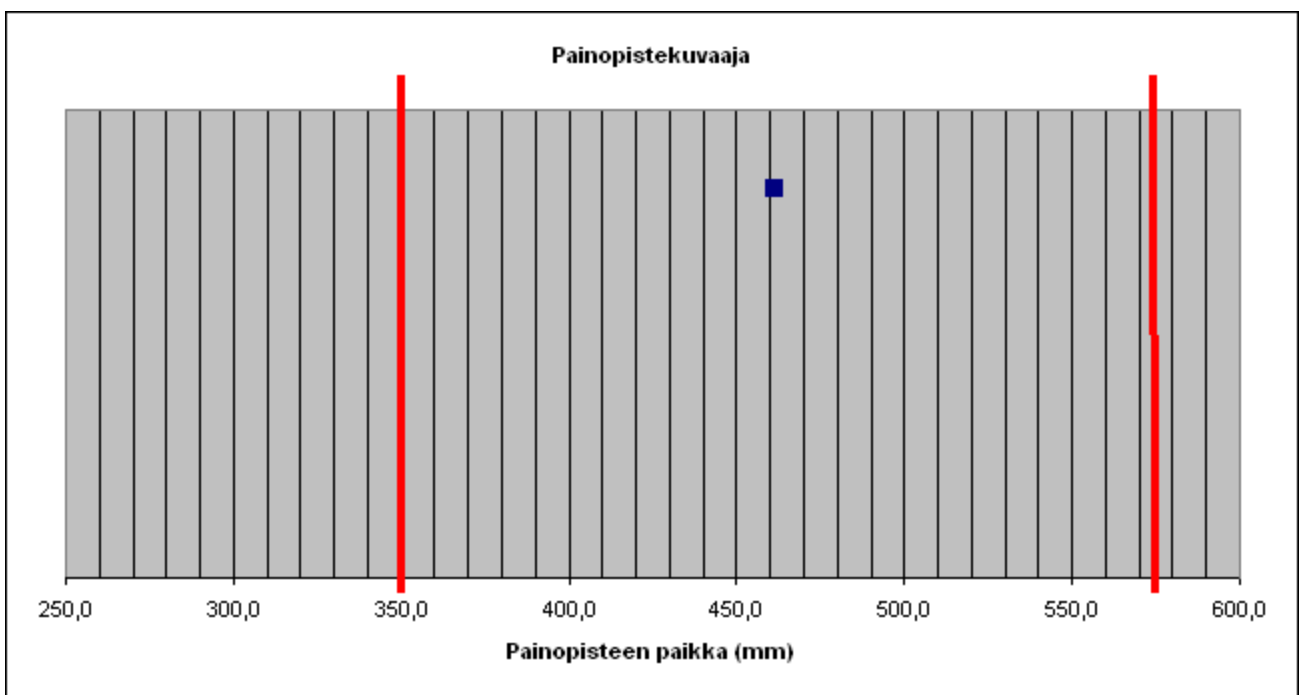
Sallitut rajat : X - suunta

Tulos (mm) = 461,1

Etupainopisteen raja = 350 mm

Paino Yhteensä (kg) = 500,0

Takapainopisteen raja = 560 mm



Tavallinen kuormaus

Täytä

Lentäjän paino (kg) =

Matkustajan paino (kg) =

Polttoainetta (litroina) = kg =

Matkatavaraa (kg) =

Tulokset

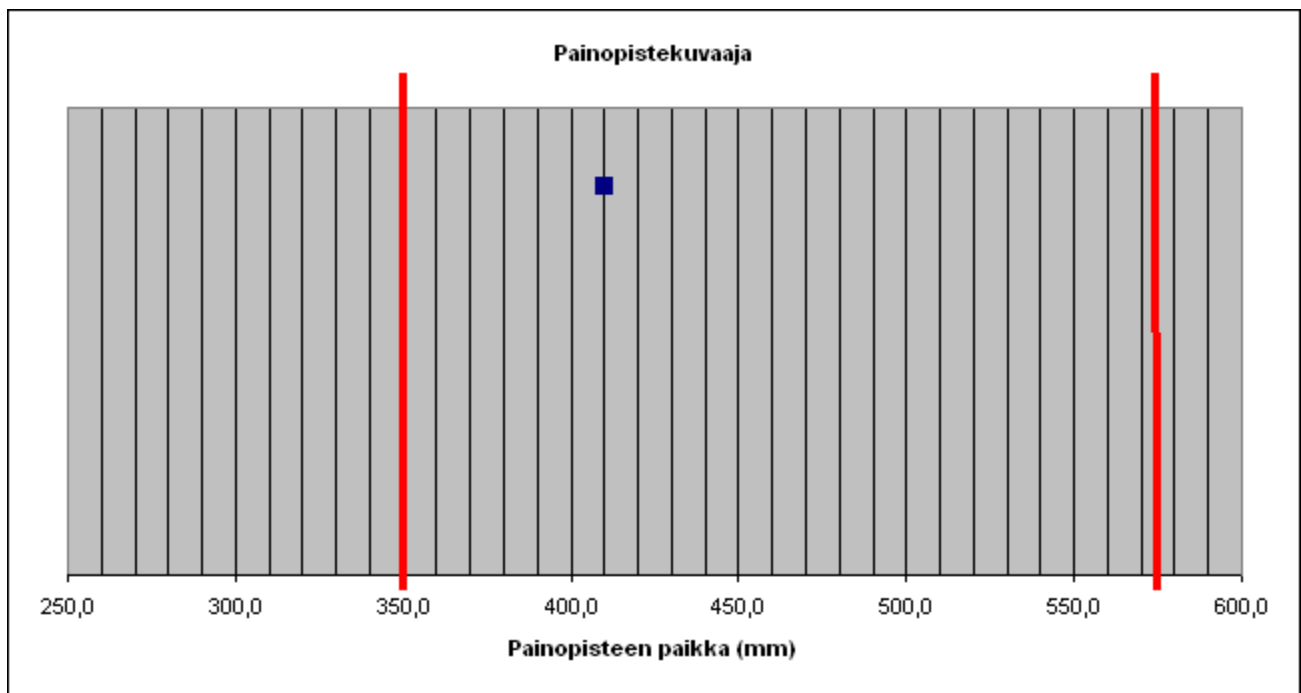
Sallitut rajat : X - suunta

Tulos (mm) = 410,0

Etupainopisteen raja = 350 mm

Paino Yhteensä (kg) = 500,0

Takapainopisteen raja = 560 mm



Ylikuormaus

Täytä

Lentäjän paino (kg) =

Matkustajan paino (kg) =

Polttoainetta (litroina) = kg =

Matkatavaraa (kg) =

Tulokset

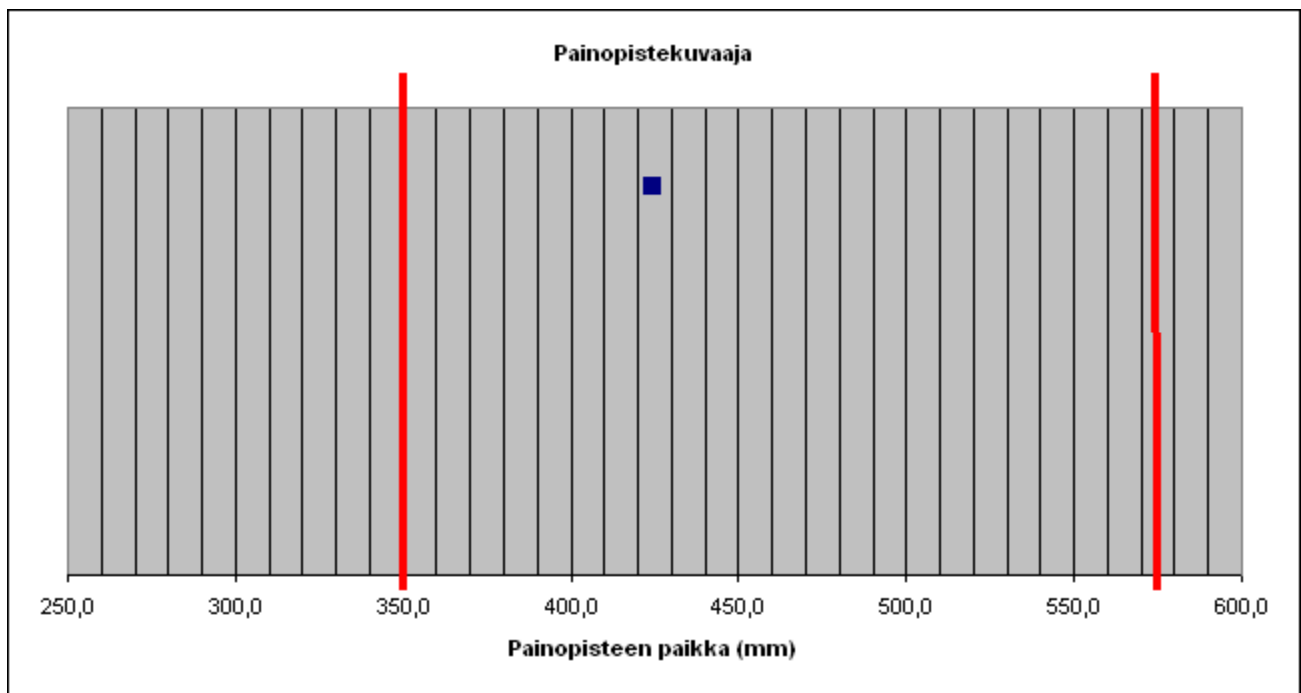
Sallitut rajat : X - suunta

Tulos (mm) = 424,4

Etupainopisteen raja = 350 mm

Paino Yhteensä (kg) = 620,2

Takapainopisteen raja = 560 mm



Pyöräkoneen massakeskiöasema



PUNNITUSTODISTUS

B-LUOKAN ULTRAKEVYT lentokoneelle (1p ja 2p rinnanistuttavat)

Tyyppi: Perustaso: Siiven tyvikaaren etureuna
Tunnus: Vaa'itus: Korkeusvakaajan päällinen tyvessä
Punnituspaikka: Vaaka, tyyppi Comco-Ikarus tehdas
Punnitus pvm.:
Punnitsija: Vaa'an tarkkuutus pvm: Comco Ikarus tehdas
Pöytäkirjan korjannut:

PUNNITUS	Vaa'an lukema brutto	Korjaukset		Massan todellinen arvo [kg]	Perustasosta mitattu momenttivarsi [m]	Massan momentti [kgm]
		Päara [kg]	Vaa'an virhe [kg]			
Pääteline (vasen)	106,2			106,2	0,733	77,8
Pääteline (oikea)	105,6			105,6	0,733	77,4
nokkapyykki	69,7			69,7	-0,771	-53,7
VAHENNYKSET, LISÄYKSET ja KORJAUKSET:				Punnitussumma	281,5	101,51
Muutosarvot				kg	m	kgm
Perusmassa [kg], massakeskiöasema [m] ja perusmassamomentti [kgm]				281,5	0,361	101,5

laskuteline: pyöräkone nokkateline

Varustus: sivun 2 varusteluettelon mukaan.

allekirjoitus:

Jos muutoksen vaikutus on yli seuraavan arvon, punnitustodistus on uudistettava.

massan muutos (0,5% MTOW) 2,3625 kg
painopisteasema (0,5% MAC) 0,0 mm

punnitustodistuksen siirto

Rajoitukset

Suurin sallittu lentomassa	472,5 kg	Painopistealue	
Täytä seuraavat vain jos ko rajoitus on olemassa		sallitun alueen etureuna	0,3 m
kg	Suurin sallittu ohjaamokuorma	sallitun alueen takareuna	0,499 m
65 kg	Pienin sallittu ohjaajan massa	ja jos tiedossa (arviona käy: pinta-ala/kärkiväli)	
		aerodynaaminen keskijänne	m

Matkataravara	max kuorma	Momenttivarsi	Henkilöpaikat	lkm	Momenttivarsi
	[kg]	[m]			[m]
	5	0,7	Ohjaaja ja matkustaja	2	0,5


Polttoaine	Säiliöt:	Tilavuus	Momenttivarsi
		[litraa]	[m]
		65	0,6
Polttoaineen tiheys		0,72	kg/litra
45 minuutin lentoa vastaava polttoainemäärä		8	litraa

LISÄTIEDOT:

Ilmailulaitokseen toimitettavat punnituspöytäkirjat postitetaan osoitteella:

ILMAILULAITOS
Lentoturvallisuushallinto
PL 50

Full-lotus-kellukkeilla varustetun koneen punnitustodistus



PUNNITUSTODISTUS

B-LUOKAN ULTRAKEVYIT lentokoneelle (1p ja 2p rinnanistuttavat)

ILMAILULAITOS

Tyyppi:	Perustaso: Siiven etureuna tyvessä
Tunnus:	Vaaitus: Korkeusvakaaja vaakasuorassa
Punnituspaikka:	Vaaka, tyyppi Tanner 4-piste digitaali
Punnitus pvm:	
Punnitsija:	Vaa'an tarkkuutus pvm: 20.5.2009
Pöytäkirjan korjaukset:	

PUNNITUS	Vaa'an luku #brutto	Korjaukset		Massan todellinen arvo [kg]	Perustaso mitta momenttivarsi [m]	Massan momentti [kgm]
		Tilaa [kg]	Vaa'an virhe [kg]			
stuuripiste (vasen)	24,5			24,5	-0,844	-20,7
stuuripiste (oikea)	19,5			19,5	-0,844	-16,5
laskutuspiste	314	5,41		308,59	0,5161	159,3
VAHENNYKSET, LISÄYKSET JA KORJAUKSET:				Punnitus m ₁ =	M ₁ =	
Vatupassi				-0,53	3,8961	-2,06
Muutosarvot				m ₂ =	M ₂ =	
				-0,53		-2,06
Perustaso [kg], massakeskipiste [m] ja perusmassamomentti [kgm]						
				352,1	0,341	120,1

laskuteline: kellukkeet Varustus: siipin 2 varustattavan mukaan

Jos muutoksen vaikutus on yli seuraavan arvon, punnitustodistus on uudistettava.
 massan muutos yli +/- 3 kg
 painopisteasema siirtyy yli +/- 1 cm

Rajoitukset

Suurin sallittu lentomassa	500 kg	Painopistealue
Täytä seuraavat vain jos ko rajoitus on olemassa		sallitun alueen etureuna 0,35 m
55 kg Suurin sallittu ohjaamokuorma		sallitun alueen takareuna 0,56 m
55 kg Pienin sallittu ohjaajan massa		ja jos tiedossa:
55 kg Suurin sallittu ohjaajan massa		aerodynaaminen keskijänne 1,345 m

Matkatavaratila	max kuorma	Momenttivarsi	Henkilöpaikat	lkm	Momenttivarsi
	[kg]	[m]			[m]
	30	0,95	Ohjaaja ja matkustaja	2	0,4

Polttoaine	Säiliöt:	Tilavuus	Momenttivarsi
		[litraa]	[m]
		65	1
Polttoainteen tiheys		0,725	kg/litra
Reserviksi varattava polttoainemäärä		9	litraa

LISATIEDOT:

Ilmailulaitokseen toimitettavat punnituspöytäkirjat postitetaan osoitteella:
 ILMAILULAITOS
 Lentoturvallisuushallinto
 PL 50
 01531 VANTAA