

# Kellukekoneen dynaaminen kaatuminen

## MuutosHistoria:

HSL-004/26, 31.3.2026, ensijulkaisu

## Käyttölisenssi

Tämä ohje on julkaistu [Creative Commons lisenssillä \(CC BY-NC-ND 4.0\)](#). Saat käyttää niitä vapaasti omassa käytössä alkuperäisenä. Voit myös jakaa sitä (samalla lisenssillä), kunhan säilytät teoksen alkuperäisenä ja nimeät lähteen.



[ok HTH](#)

## Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	2
1 Tilanne ja lähtökohdat.....	3
1.2 Mitä tehty.....	4
1.3 Laskennan periaate.....	5
2 Tilanne.....	5
3 Normaali ohjeistus.....	7
4 Kellukkeiden oikaiseva momentti.....	7
5 Siiven ja pyrstön aerodynamiikka.....	8
5.1 Siiven etureunalaippa.....	8
5.2 Pyrstö profiili.....	11
6 Tarkempi analyysi.....	13
7 Kellukkeiden oikaiseva momentti.....	14
8 Kaatavat aerodynamiset voimat.....	16
9. Loppupäätelmä eri tuulilla.....	17
9.1 15 m/s (29,2 kts).....	17
9.2 16 m/s (31,1 kts).....	17
9.3 17 m/s (33,0 kts).....	18
9.4 18 m/s (35,0 kts).....	18
9.5 19 m/s (36,9 kts).....	19
9.6 20,6 m/s (40 kts).....	19
10. Yhteenveto.....	19

## 1 Tilanne ja lähtökohdat

Arctic Air Oy:n lentokoneen OH-CCY kaatuminen 26.8.2025 Keskimmäisellä Silislompololla.

Arctic Air Oy:n Info / Tiedote:

*Tiedotus OH-CCY kaatumisesta 26.8.2025 Keskimmäisellä Silislompololla*

*Yhtiömme lentokone OH-CCY oli 26.8.2025 normaalilla tilauslennolla, hakemassa asiakkaita Keskimmäiseltä Silislompololta.*

*Otettuaan asiakkaat kyytiin, ja koneen rullatessa normaalilla tyhjäkäyntinopeudella lentoonlähtöpaikalle, kova tuulen puuska tarttui koneen korkeusperäsimeen ja kohotti pyrstöä niin paljon, että kellukkeiden kärjet sukselsivat aallon sisään, jolloin koneen vauhti hidastui niin paljon, että kaatuminen oli väistämätöntä.*

*Tuuli oli virallisten säätietojen mukaan 030/20kts.*

*Koneen päällikkö sai evakoitua asiakkaat ja itsensä ulos koneesta sekä sai autettua kaikille matkustajille pelastusliivit, jonka jälkeen kaikki pääsivät uimalla lähimpään rantaan ja soittivat pelastuspalveluun.*

*Evakointi suoritettiin Norjan pelastuspalvelun toimesta, Seaking-helikopterilla Sevettijärvelle.*

*Yksi matkustajista siirrettiin terveyskeskukseen tarkastukseen kylmettymisoireiden vuoksi.*

*Kaikki koneessa olleet ovat fyysisesti kunnossa. Yhtiömme järjestää ammattilaisten suorittamaa kriisiapua kaikille tapauksessa mukana olleille.*

*Tiedotukset ja raportoinnit viranomaiselle asiasta on tehty asianmukaisesti.*

*Olemme syvästi pahoillamme tapahtuneesta.*

*Koneen nosto-operaatio on aloitettu. Tiedotamme asiasta lisää myöhemmin.*

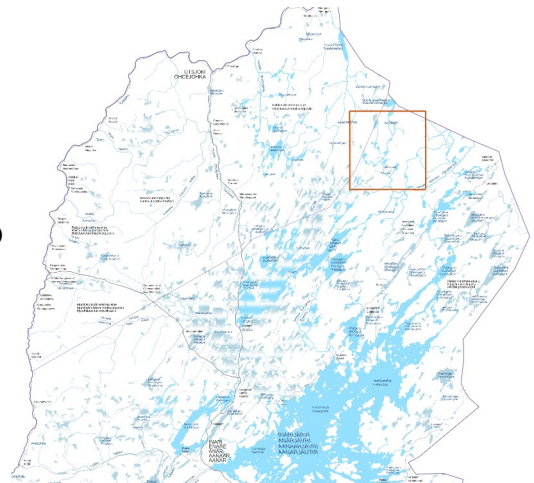
*Arctic AirService Oy*

Tarkasteltu voisiko OH CCY kaatuminen 26.8.2025 Keskimmäisellä Silislompololla olla HSL-001 kohdassa 10.4 kuvattu dynaaminen kaato etukulman yli. Lue tarkempi selitys tälle [https://www.hooteehoo.org/fi\\_o/HSL-001\\_21.pdf](https://www.hooteehoo.org/fi_o/HSL-001_21.pdf)

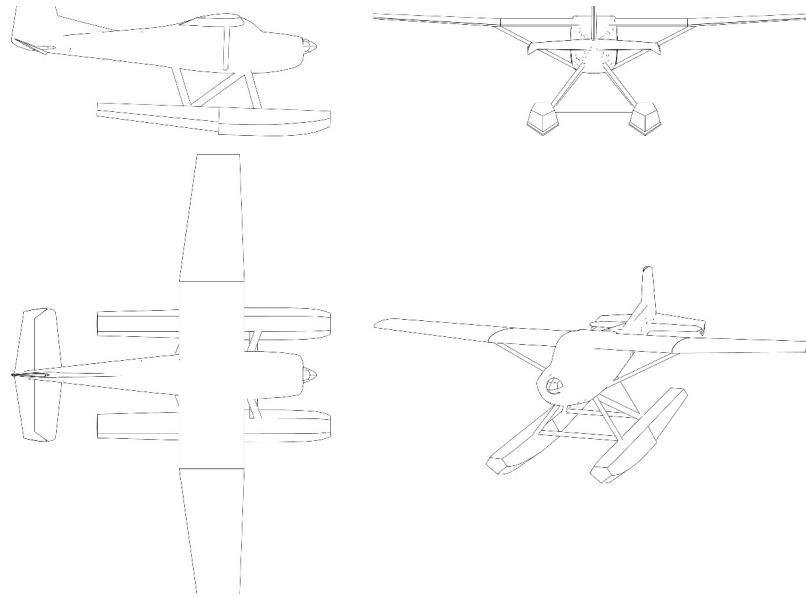
Silislompolo on keskellä Lapin suurinta erämaata.

Keskellä kuvassa olevaa punaista ruutua.

Koneesta ja kellukkeista laadittu ensin 3D mallit. Runko poimittu GrabCAD kirjastosta, ja ei ole kovinkaan hyvä, mutta riittävä tähän. Siivet ja peäsimet rakennettu koneen tietojen ja muutaman 3taho kuvan perusteella.



Kellukkeet mallinnettiin niiden päämittojen avulla. Säätäen tilavuus vastaamaan kellukkeiden ilmoitettua kantavuutta 3500 lbs 1587,6 kg. Kellukkeilla yhden kellukkeen kantavuuden ja lentokoneen kokonaismassa suhde on 104 %. Kellukkeet olivat siis ohjearvojen mukaiset.



Mallilla laskettu staattisessa tilanteessa oikeaseva momentti eri pituuskallistuksilla. Ja poikittaiskallistuksilla, Merkkisääntö: momentti, joka nostaa nokkaa on positiivinen.

Korkeusperäsin mallinnettiin kolmeen asentoon:

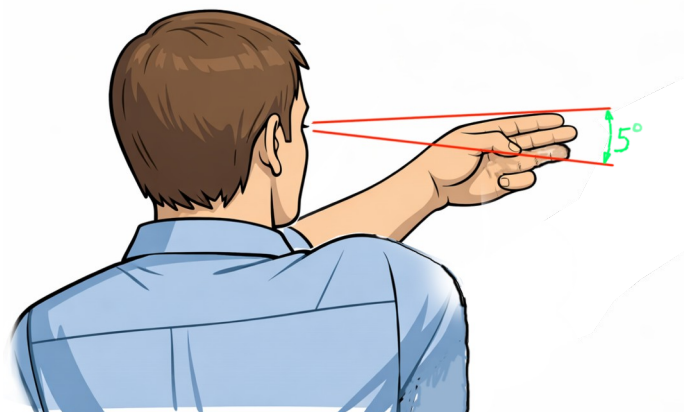
neutraali	0°
ylös	25°
alas	23°

Jotka vastaavat TCDS arvoja.

Kellukekoneen vakavuus on ns metastabiili tilanne. Kellukkeiden nostovoima sijaitsee vedenpinnan alapuolella. Ja kun painopiste on selvästi vedenpinnan yläpuolella, tilanne on sellainen. Koneen kallistuessa painopiste ei muutu, mutta nostovoima vedestä siirtyy ulospäin, kunnes nostovoima ja painopiste ovat samalla kohtaa.

Pituussuuntaa oikeaseva momentti syntyy kun koneen kallistuessa kellukkeiden nostovoiman vaikutuspiste siirtyy eteenpäin. Syntyy oikeaseva momentti. Ja se suurenee kallistuksen kasvaessa. Mutta kun kellukkeen etupää menee pinnan alle, Nostovoima alkaa siirtyä taaksepäin. Stabiliateetti vähenee.

Kallistukset on otettu varsin pieninä. Kaikki mielenkiintoinen kun tapahtuu noin - 4 asteen paikkeilla. Neljä astetta ei ole paljoa. Kun ojennat kätesi, se on noin 3 sormen leveyttä.



## 1.2 Mitä tehty

CFD työkalulla laskettu koneen kaatava momentti peräsimen ääriasennoilla ja korkeusperäsin keskellä. Kaatava momentti (nokka alas) syntyy; tuulen vaikutuksesta voimana, joka vaikuttaa noin suunnilleen koneen keskellä. Ja korkeusvakaajan aerodynamiikasta, joka nostaa koneen takapäätä.

Ja näitä kahta verrattu keskenään, josta saatu tilanne selville minkä jälkeen kaatuminen tapahtuu.

Lentokoneen massa tilanteessa on arvioitu olleen noin 1500 kg (MTOW 1506 kg)

Kellukkeiden tilavuudeksi otetaan 1588 litraa per kelluke, joka vastaa niiden valmistajan (PeeKay) tyyppi-ilmoitusta. Kuvissa näkyvä kellukkeen etupään puuttuva nenä ei vaikuta tuloksiin juuri ollenkaan. Nenän tilavuus on noin puoli ämpäsilistä (eli 5-8 litraa), ja se ei kokonaisuuteen vaikuta.

## 1.3 Laskennan periaate

Lähdetään staattisesta tilanteesta, jossa;

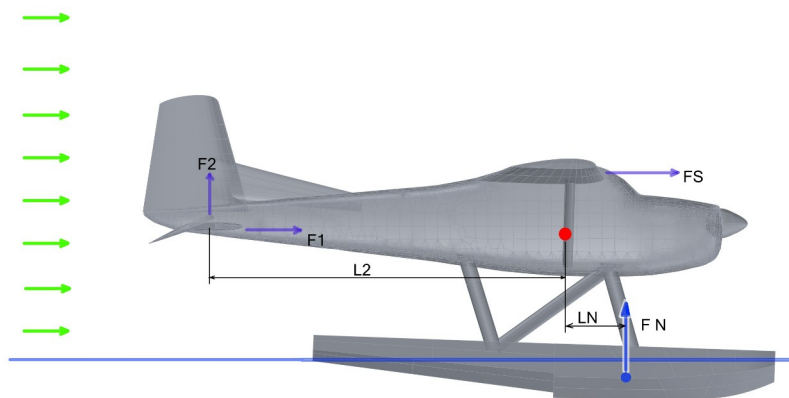
- kellukkeet ovat uponneet niin paljon, että ne kannattelevat lentokonetta
- kellukkeiden noste on hieman painopisteen etupuolella.

Uppouma haettu vastaamaan koneen painoa.

Jolloin noste (FN) aiheuttaa nokkaa nostavan momentin.

Tämä nosteen etäisyys (LN) on nolla kulmalla (kuva) suurimmillaan. Ja kun kone kallistuu nokka alas, tämä lyhenee.

Mutta momentti kellukkeen nosteesta on ”oikaiseva”.



Kaatava momentti, joka siis vääntää nokkaa alas, syntyy;

Rungon ja Siiven vastuksesta (FS), joka vaikuttaa hieman painopisteen (punainen täplä) yläpuolelle. Ja koneen kallistuessa nokka alas, tämä siirtyy ylös (eli momenttivarsi kasvaa).

Korkeusvakaajan vastus (F1). Kuvan tilanteessa (kulma  $0^\circ$ ), sen korkeusero painopisteeseen melkein nolla. Mutta kun kone alkaa kallistua, tämä momenttivarsi kasvaa nopeasti.

Korkeusvakaajan nostovoima (F2). Momentti varsi (L2) on suuri, joten vakaajan nostovoimalla on selkeä vaikutus kaatavaan momenttiin. Tähän voimaan korkeusperäsimen asennolla on vaikutus. Tämä laskettu kolmella

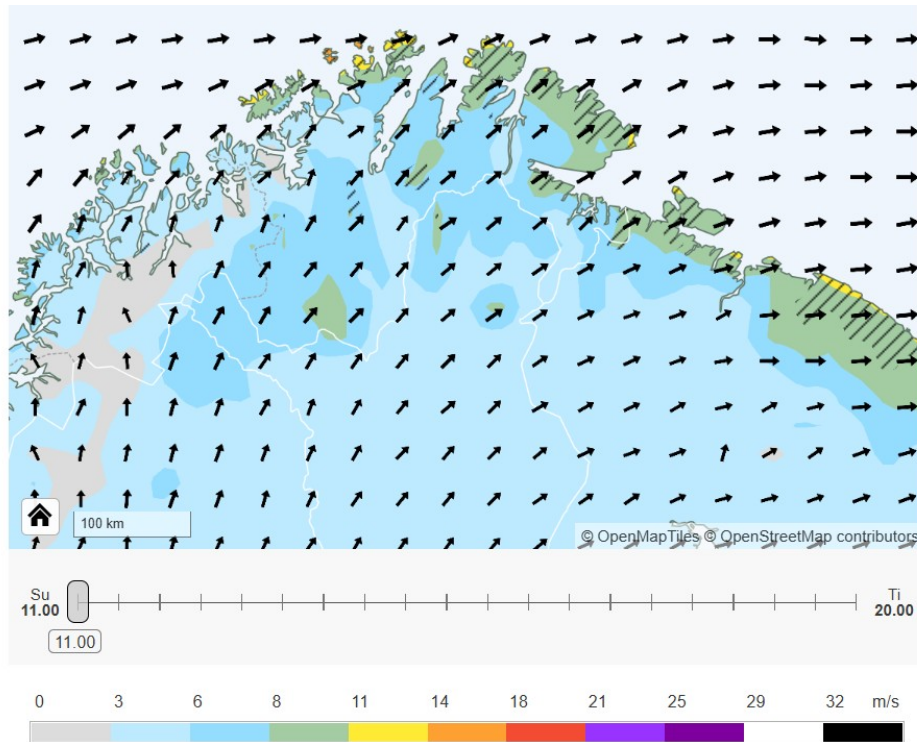
peräsinasennolla.

## 2 Tilanne

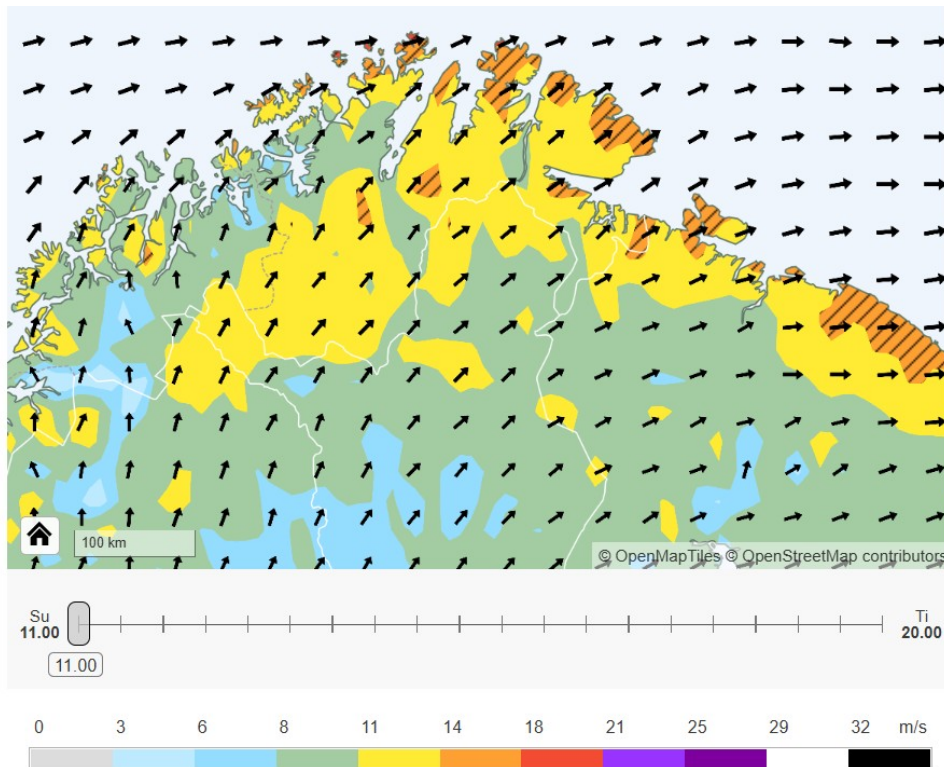
Kone rullaa hitaalla nopeudella myötätuuleen.

Tilanteessa virallisten säätietojen mukaan vallitsi 030/20 kts keskituuli.  
Normaalisti puuskat voivat olla kaksinkertaisia keskituuleen nähden.

Forecan säätiedoissa on tuuliennuste, kuvat siitä, eräänä hetkemä

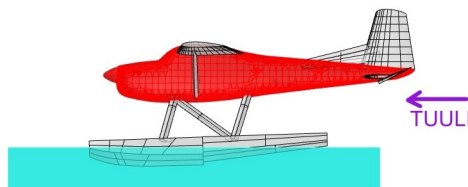


Ylempi kuva keskituuliennusta, alempi kuva puuskat.



Myös windy.com palvelussa on eriteltyä keskituuli ja puuskat.

Puuskien tuulennopeus on noin kaksinkertainen. Aerodynamiikan laskuissa käytetty tuulena 15 m/s (29 kts). Lopussa on sitten arvioitu tuulennopeuden muutoksien vaikutus.

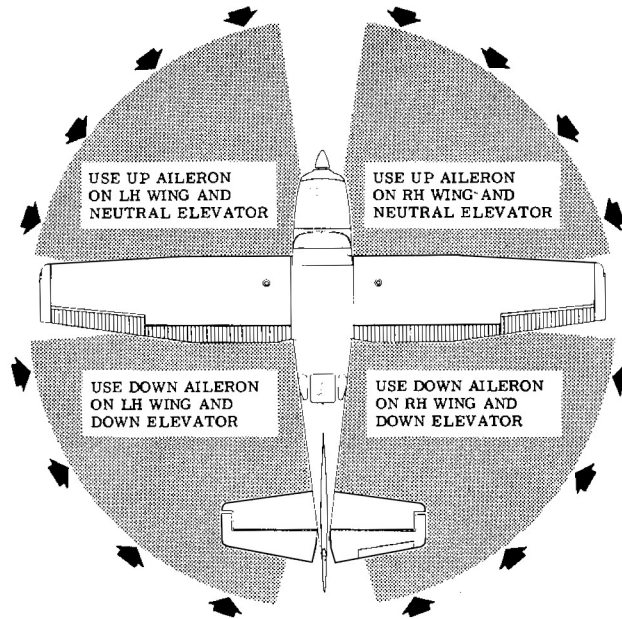


Suhteellinen tuuli oli siis lentokoneesta nähden takaapäin. Kuvassa on laskemissa käytetty lähtöasento (tuliseinä pystyssä). Normaalissa rullauksessa asento olisi enemmän nokka ylöspäin (plus kulmilla). Noin 4 astetta nokka ylöspäin.

Myötätuuleen vastus ja korkeusperäsimen voimat vaikuttavat nokkaa alaspäin kääntävänä.

### 3 Normaali ohjeistus

Normi ohjeistus rullaukseen on tämä Cessnan käsikirjoissa ja myös DeRemer'n kirjassa "Seaplane operations" oleva kuva

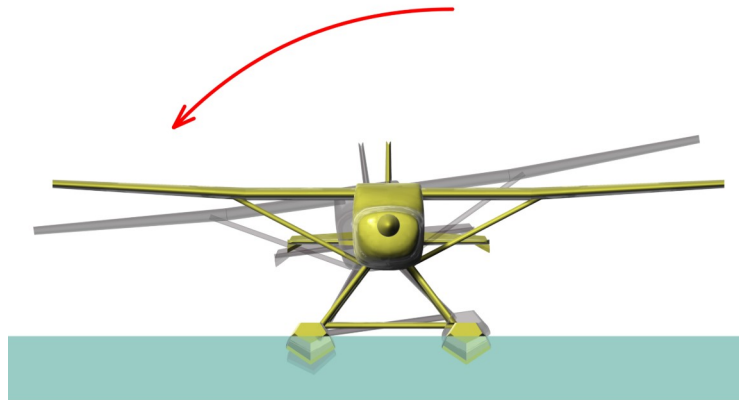


Eli sauvaa liikutetaan pois päin tuulesta. Ohje toimii kun kyse on maakoneesta, jonka asento on varsin hyvin koko ajan sama.

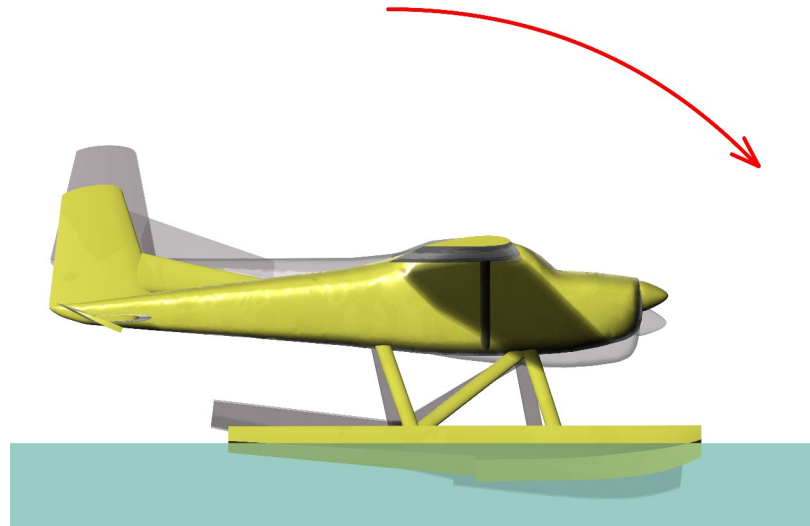
Mutta se pieni ero kellukekoneessa tekee koko asiasta toisenlaisen. Kellukkeilla oleva lentokone kallistuu pituussuuntaan ja poikittain verraten helposti!

#### 4 Kellukkeiden oikeaseva momentti

Kun kellukekone on tyynessä paikallaan, esim laiturissa, on helppo huomata, että pienellä voimalla (momentti) koneen saa kallistumaan sivuttain.



Pituussuuntaan (nokka alas-ylös) tarvittama momentti on selvästi suurempi. Pituussuuntaan stabiliteetti on jäykempi.



Ero syntyy esim siitä että kellukkeiden pituusmitta on tuplasti suurempi kuin leveys.

Mutta jos kone on valmiiksi kallellaan, pituussuuntaan tarvittava momentti pienenee nopeasti. Ja jos kallistusta on niin paljon, että alempi kelluke alkaa hävitä veteen, pituussuuntainen jäykkyys on suunnilleen nolla.

Tässä tutkielmassa arvioidaan pystyykö tuuli luomaan niin suuren momentin että kone jo sen takia kaatuu.

## 5 Siiven ja pyrstön aerodynamiikka

### 5.1 Siiven etureunalaippa

Lähes kaikissa nykyaikaisissa hävittäjissä on ohut siipiprofiili. Ja siiven etureunassa on laippa. Jättöreunalaipan lisäksi.



Kun mennään lujaa tuo laippa on siiven jänteen suuntainen, kuten kuvassa ylhäällä. Mutta kun tarve on lentää hitaasti, jättöreunalaippaa käännetään alaspäin ja etureunalaippaa käännetään myös alaspäin (kuva alla).



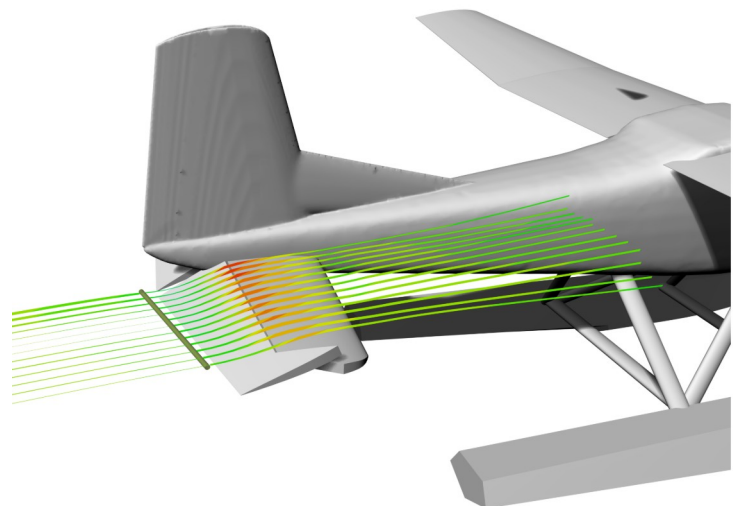
Jättöreunalaipan toiminta on jokaiselle lentäjälle tuttua, mutta jos nostovoimaa (voimaa ylöspäin) tarvitaan lisää, miksi etureunalaippaa käännetään alaspäin?

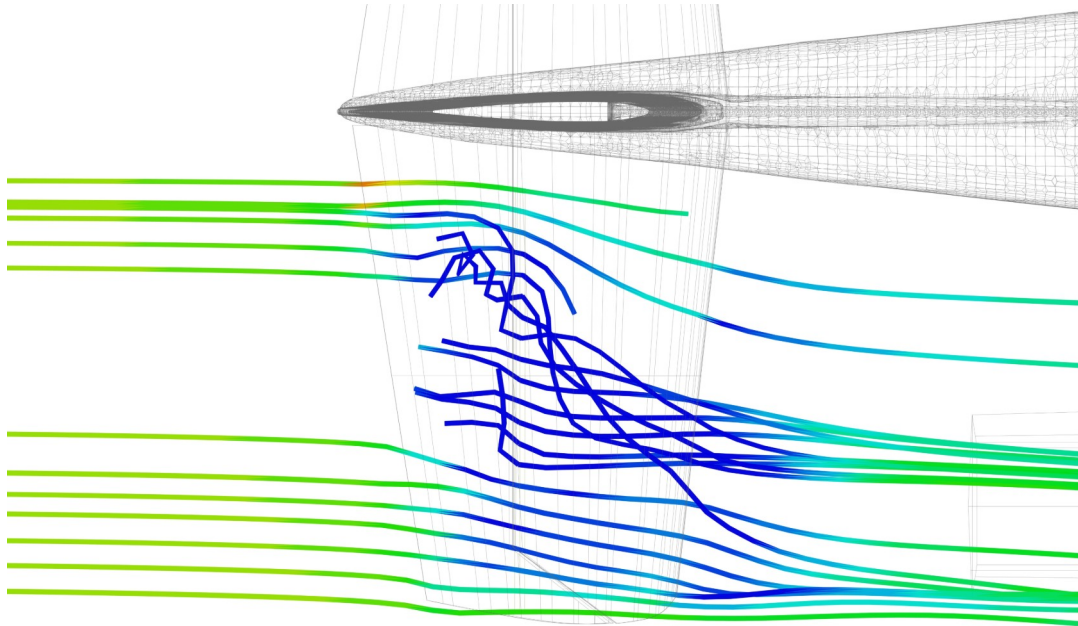
Etureunalaippa lisää siiven käyryyttä ja se myös estää yläpinnan virtauksen irtoamista.

C185 korkeusvakaajan yli menevä virtaus, takatuulella on aika samanlainen kuin tuo etureunalaipan.

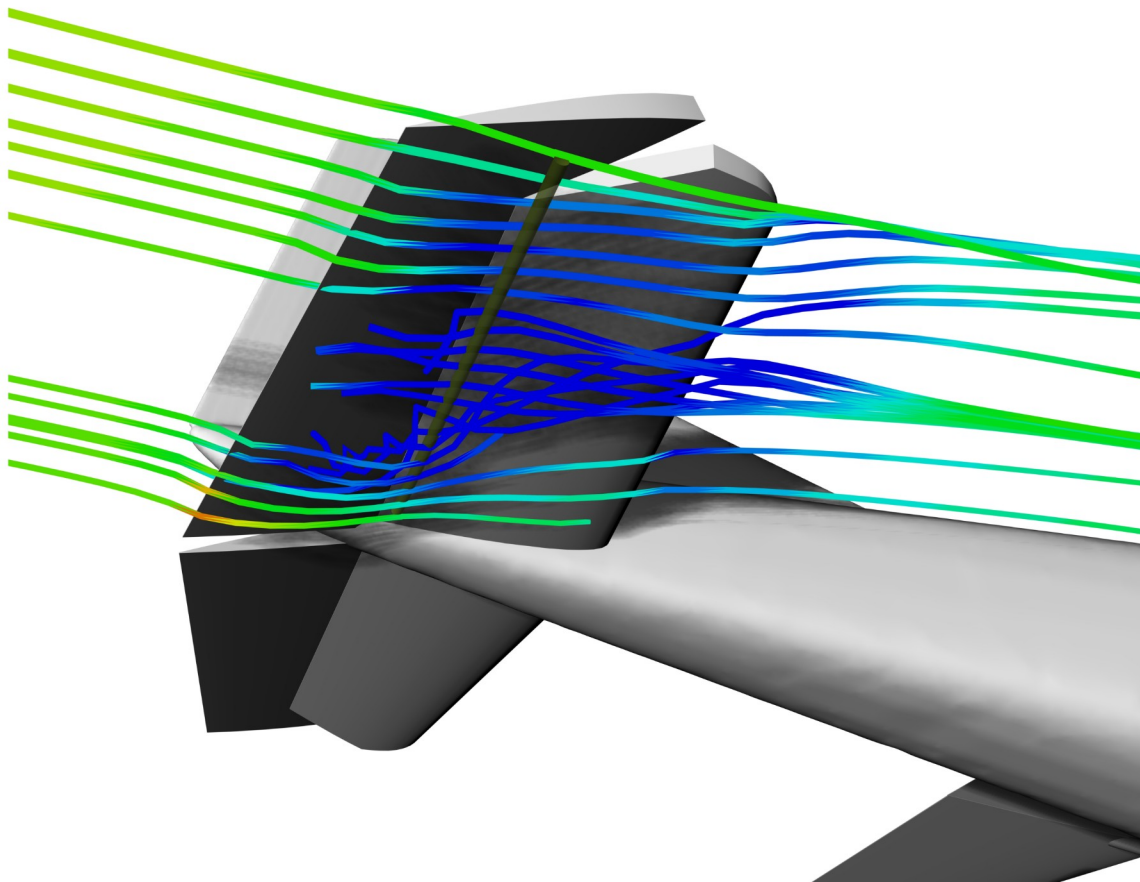
Vakaan yläpinnalla virtaus pysyy siistinä ja on keskellä kiihtynyttä:

Vakaan alapinnalla virtaus irtoaa takareunasta ja alle muodostuu pyörteinen



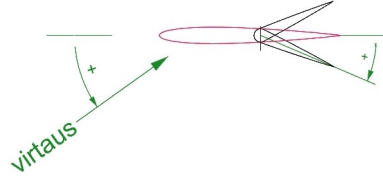


Yllä oleva kuva on virtaviivat juuri vakaajan takareunasta, vakaajan olle.



## 5.2 Pyrstö profiili

Normaalisti lentokoneen aerodynaamiset osat toimivat siten että pyöristetty reuna on eteenpäin. Kellukekoneen rullatessa pienellä nopeudella myötätuulessa pintojen terävä reuna on ilmavirtaan nähden eteenpäin. Alla oleva kuva kertoo tässä (ja normaalistikin) käytettyjen suuntien merkkisäännöt:



Kun virtaus on vaakasuora, kuvassa vasemmalta oikealle, sen kulma on nolla (0) asetta. Kun virtaus kuvan mukaisesti etualhaalta, virtaussuunta on plus asteita.

Kuvassa vielä korkeusperäsimen merkkisääntö. Kun peräsin on käännettynä alaspäin, kulma on positiivinen.

Virtauksen ollessa takaapäin, tilanne on vähän sama kuin veneen moottorin peruutettaessa. Siinähan lavat on kiinteä, mutta potkurin pyörimissuunta muutetaan peruutettaessa. Veneen potkuri pyörii siis lavan terävä kulma edellä. Se kehittää työntövoimaa ja vene peruuttaa. Toki ei se yhtä hyvin vedä kuin oikeinpäin pyöriessä, mutta ei se katastrofisen vähän ole.

Perusaerodynamiikan oppitunneilla on esitetty alla olevan kuvan mukainen siipiprofiilin polaarikäyrä.

Kyse on Cessan siivessä käyttämän profiilin nostovoimakertoimen kohtauskulman funktiona. Matkalentonopeudella CL on noin 0,65 eli kohtauskulma olisi  $5^\circ$ . Sakkaus nopeudella ollaan nostovoimakertoimen maksimissa  $14^\circ$ . Ja näiden välissä nostovoimakertoimen kasvaa melko suoraviivaisesti. Ja tämä onkin mitä peruslentäjä koskaan tarvitsee tietää.

Ja tästä polaarista näyttää siltä että kun kohtauskulma kasvaa yli sakkauskohtauskulman, nostovoima romahtaa. Eli putoaa kuin tiilikivi taivaalta, ainakin jos uskomme lento-onnettomuuksien uutisointia.

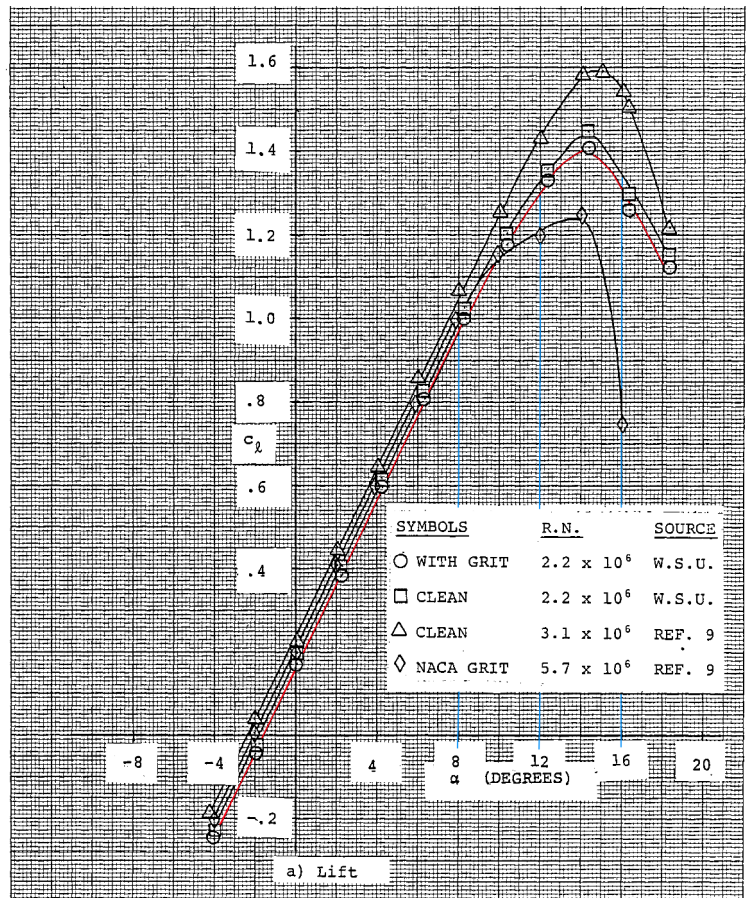
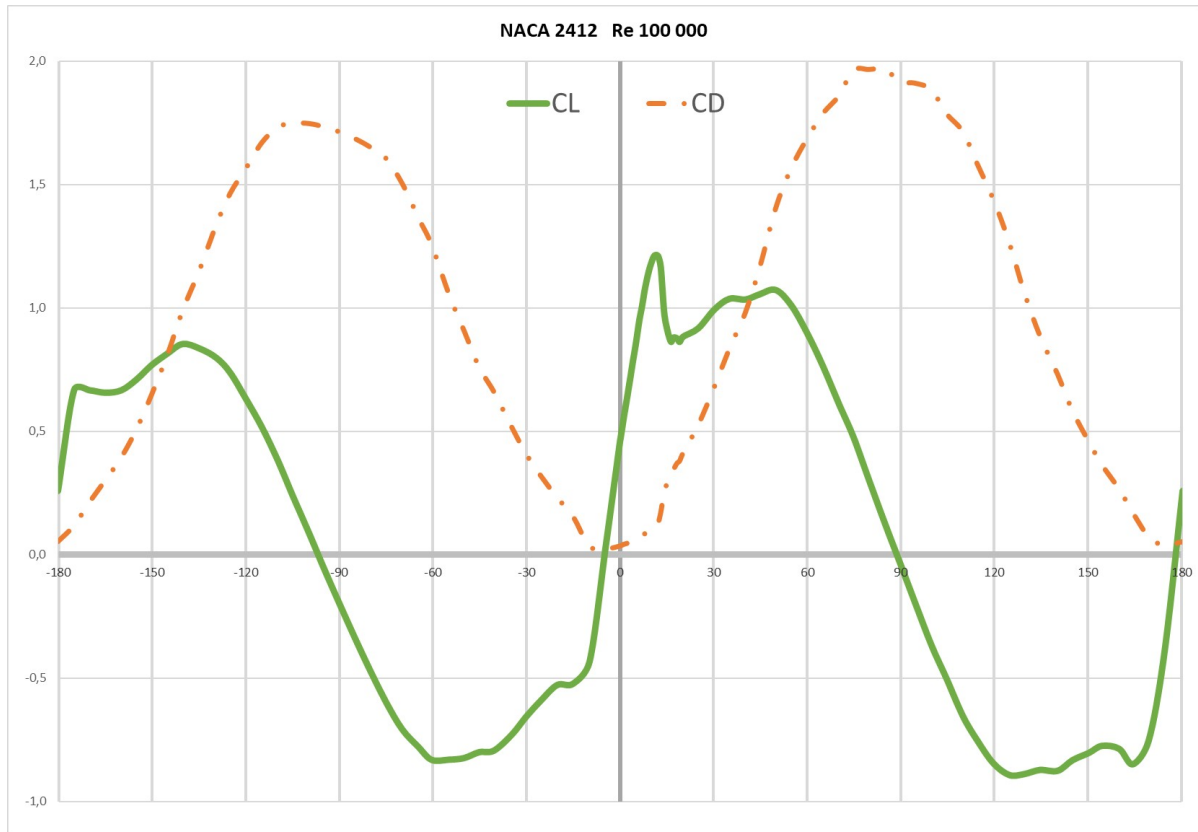


Figure 6 - Aerodynamic Coefficient Variation of 2412 Airfoil.

Totuus on kuitenkin hieman erilainen. Alla olevassa kuvassa on tuulitunneli-mittaus saman profiilin nostovoima ja vastusvoima polaareista kaikista suunnista (360 astetta).

Re luku on eri kuin edellä, mutta ei anneta sen häiritä, tuo Re luku kun on lähempänä rullaustilannetta.



Eli kun kone on sakannut (kohtauskulma n 12 °) ja jos kohtauskulmaa vielä lisätään, niin CL ei romahda vaan tasaantuu n CL=1 arvolle aina 60 ° kohtauskulmaan asti. Vähentyen nolnaan kun profiili on 90 asteen kulmassa (eli virtaus tulee kohtisuoraan alta päin).

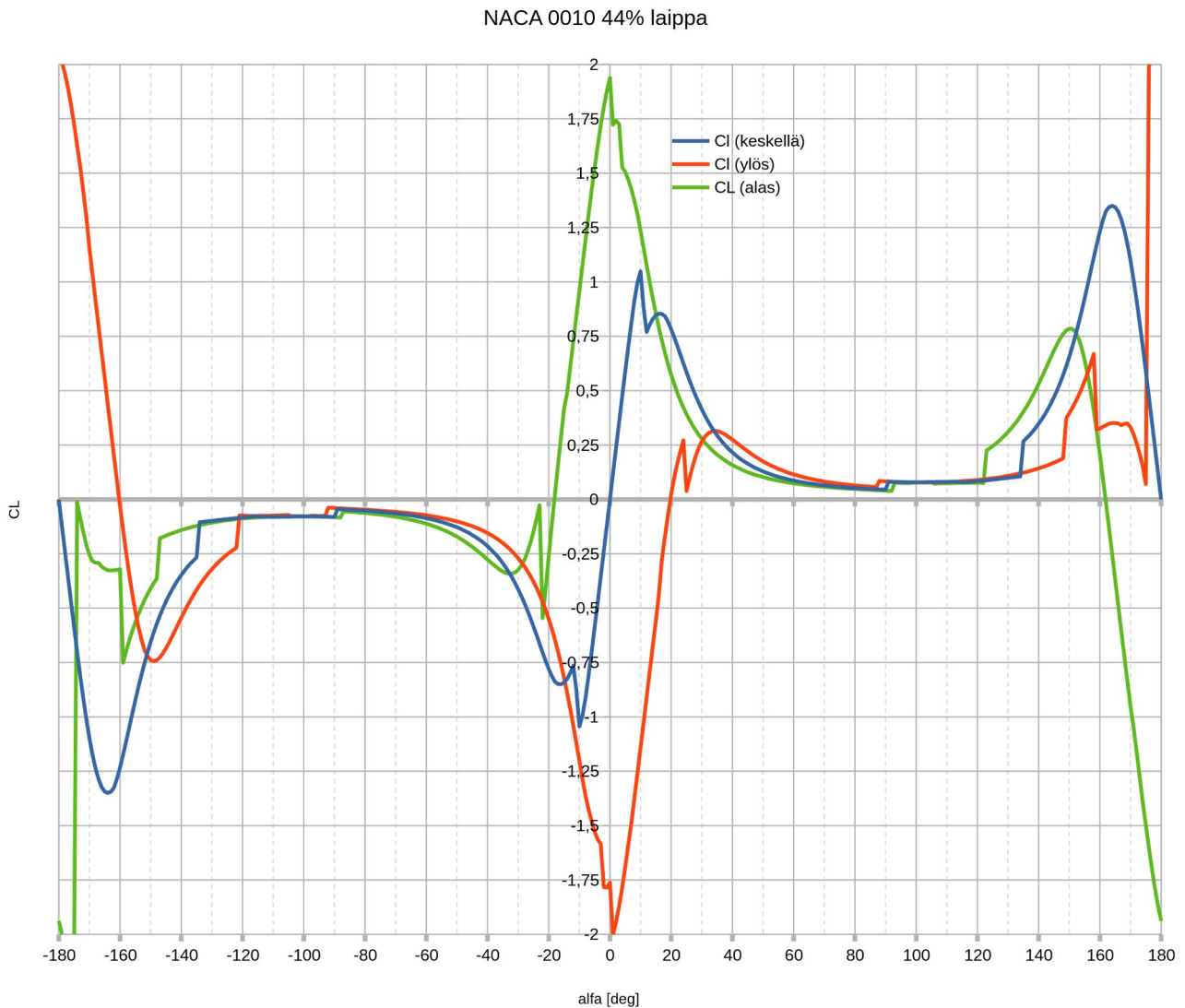
Kuvassa on myös vastuskerroin. 90° kulmalla vastus on melkein kaksi kertaa suurempi kuin nostovoima millään kulmalla.

Seuraavassa on siiven profiilin nostovoimakerroin laskettuna profiilinlaskenta-ohjelmalla kaikista suunnista. Arvot laskennallisia, joten onko ne täsmälleen oikein, ei tiedä. Mutta trendit ovat mitä tässä tarvitseekaan tietää.

C185 korkeusperäsimen liike on -25° ylös ja +23° alaspäin. Näiden ja neutraaliasennon (keskellä) nostovoimakertoimet ovat seuraavan sivun graafissa.

Cessna 185 korkeusvakaajan asetuskulma on tyypillisesti -2 ... -4 astetta. Eli kone perusasennossa korkeusvakaajan kohtauskulma takatuulella olisi +176 .. +178 astetta, eli graafin oikea laita. Neutraaliasennossa peräsän painaa lievästi alaspäin.





Peräsin ylös asennossa (ratti vedettynä, punainen käyrä) pyrstö nostaa koneen takapäätä. Täysin ratti työnnettynä peräsin painaa pyrstö alaspäin

## 6 Tarkempi analyysi

Koko koneen käyttöön myötätuuleen vaikuttavat:

- rungon vastus vähäinen vaikutus
- siiven vastus lisää kaatavaa momenttia
- Siiven nostovoima vähäinen vaikutus
- Korkeusvakaajan vastus lisää kaatavaa momenttia
- Korkeusvakaajan nostovoima lisää kaatavaa momenttia

Seuraavat arvot on laskettu (CFD ohjelmalla) koko lentokoneen mallilla, koska se on se mitä tarvitaan.

Pituuskallistusmomentit on erikseen laskettu:

- kellukkeiden oikaiseva momentti
- aerodynaamisten voimien kaatava momentti.

Oikaisevat momentit riippuvat vain koneen asennosta. Aerodynaamiset voimat

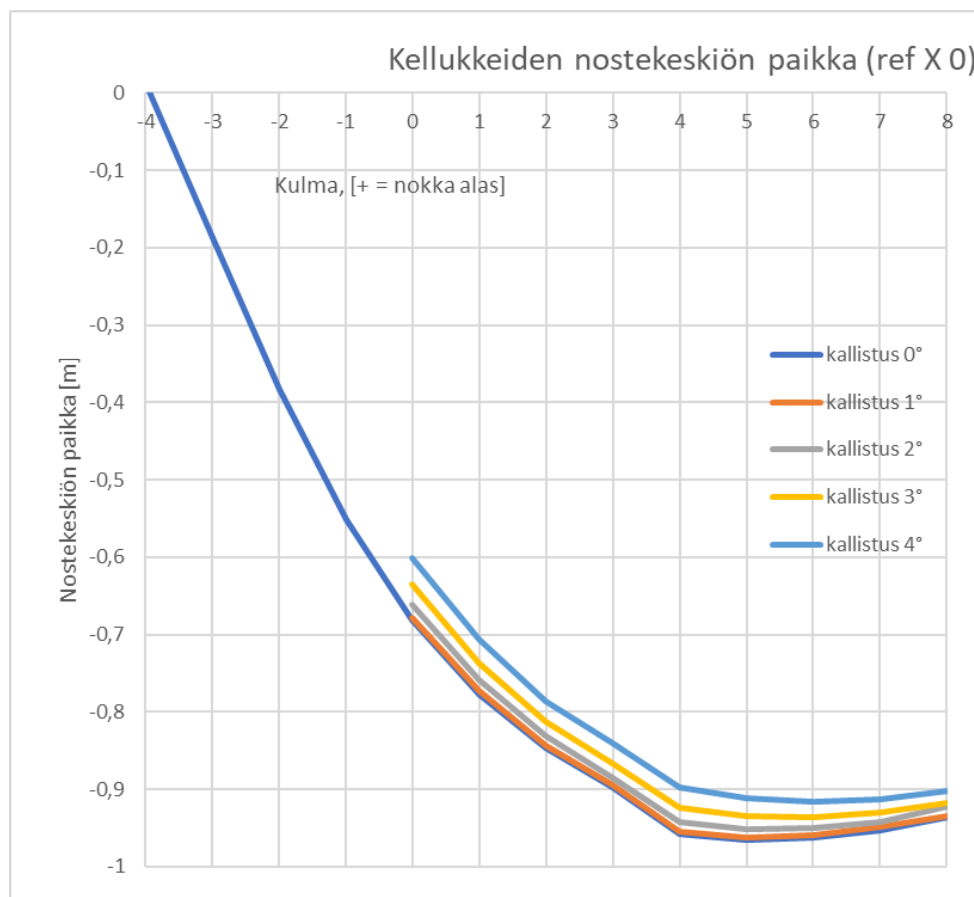
riippuvat asennosta (pituuskallistuma paljon, poikittaiskallistuma vähän), korkeusperäsimen asennosta ja tuulen nopeudesta (paljon).

## 7 Kellukkeiden oikaiseva momentti

Kellukkeiden pituussuuntainen momentti syntyy siitä että kellukkeiden noste on edempänä kuin koneen painopiste.

Seuraavassa taulukossa on kellukkeiden nostekeskapisteen etäisyys käytetystä referenssi pisteestä (koneen painopiste). Tämä on sama kohta kuin seuraavan kohdan referenssi.

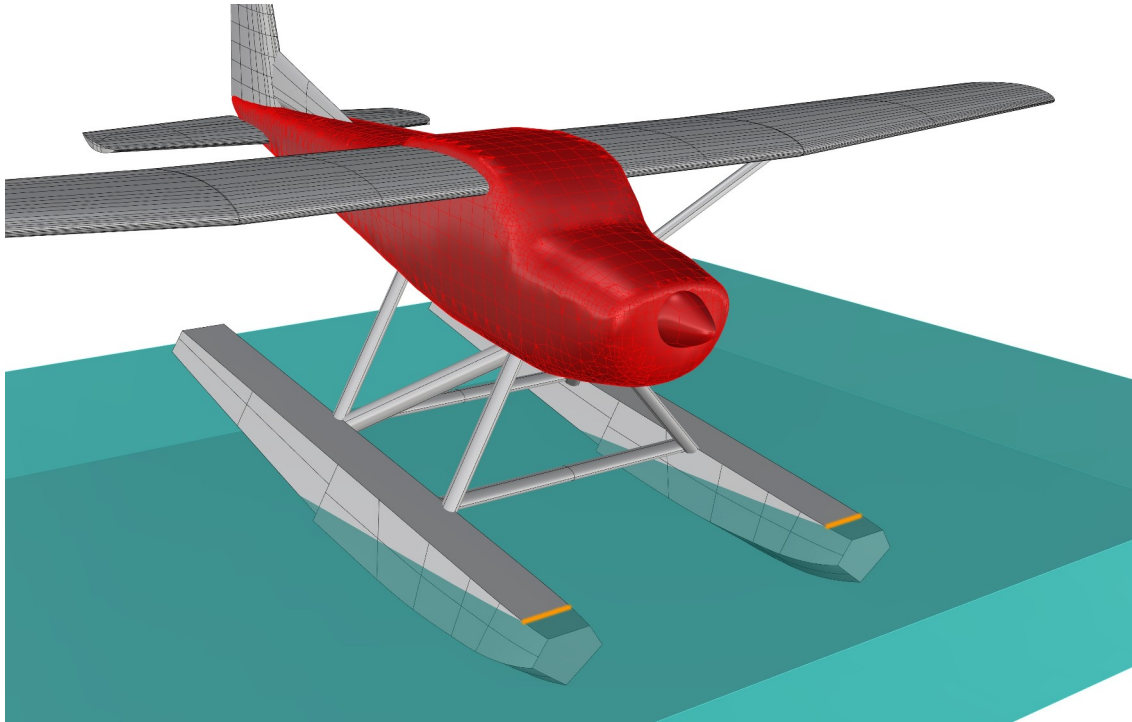
Taulukossa on pituuskallistuman (vaaka-akseli) muuttuessa nosteen paikan siirtyminen. Eri käyrät ovat erilaisella poikittaiskallistumalla. Eli ”kallistus 0°” tarkoittaa siivet vaakatasossa.



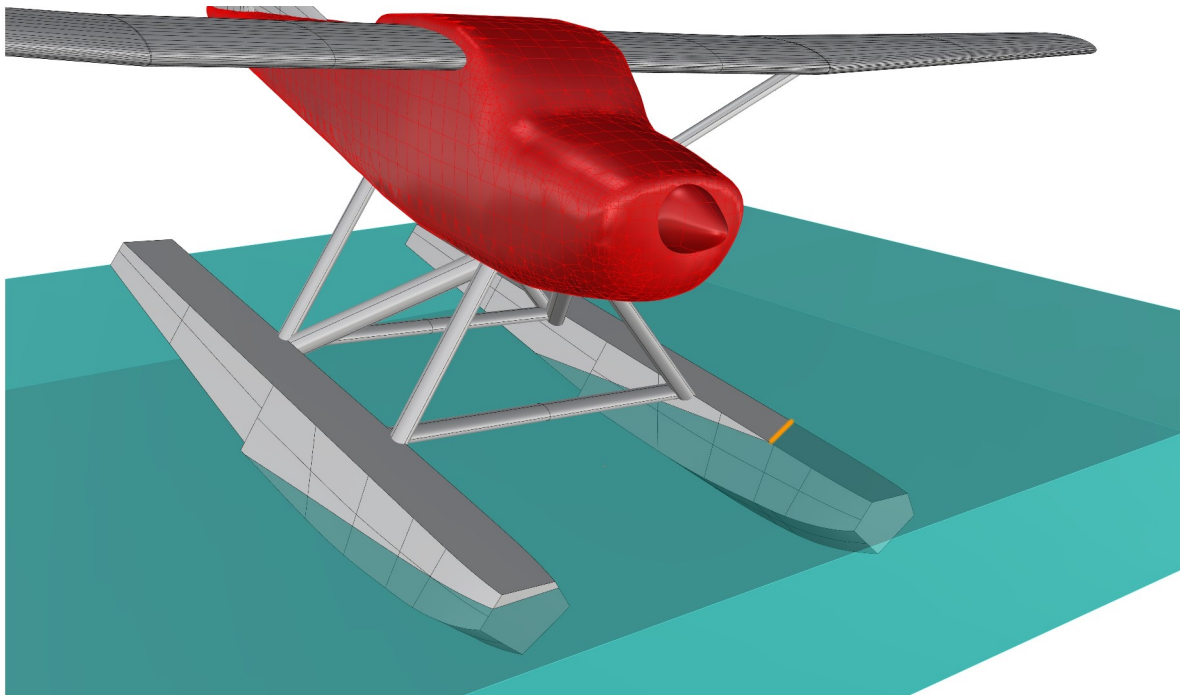
Kellukkeet ovat siis tasapainossa nokan ollessa 4 astetta ylöspäin.

Havaintona on että noin 4 asteen nokka alas pituuskallistuma on kohta jossa kellukkeen etupää on veden alla, eikä pysty enää lisäämään oikaisevaa momentti. Kun nostekeskipiste alkaa siitä suuremmilla kallistumilla siirtymään taaksepäin.

Neljän asteen pituuskallistumalla siivet vaakasuorassa vesiraja on kellukkeiden etupäässä näkyvästi jo yläpinnalla. (Keltainen viiva kuvassa)



Pienessä kallistuksessa (4 astetta) alemman kellukkeen vesiraja on ohittanut keulan ja etutuen puolivälin.



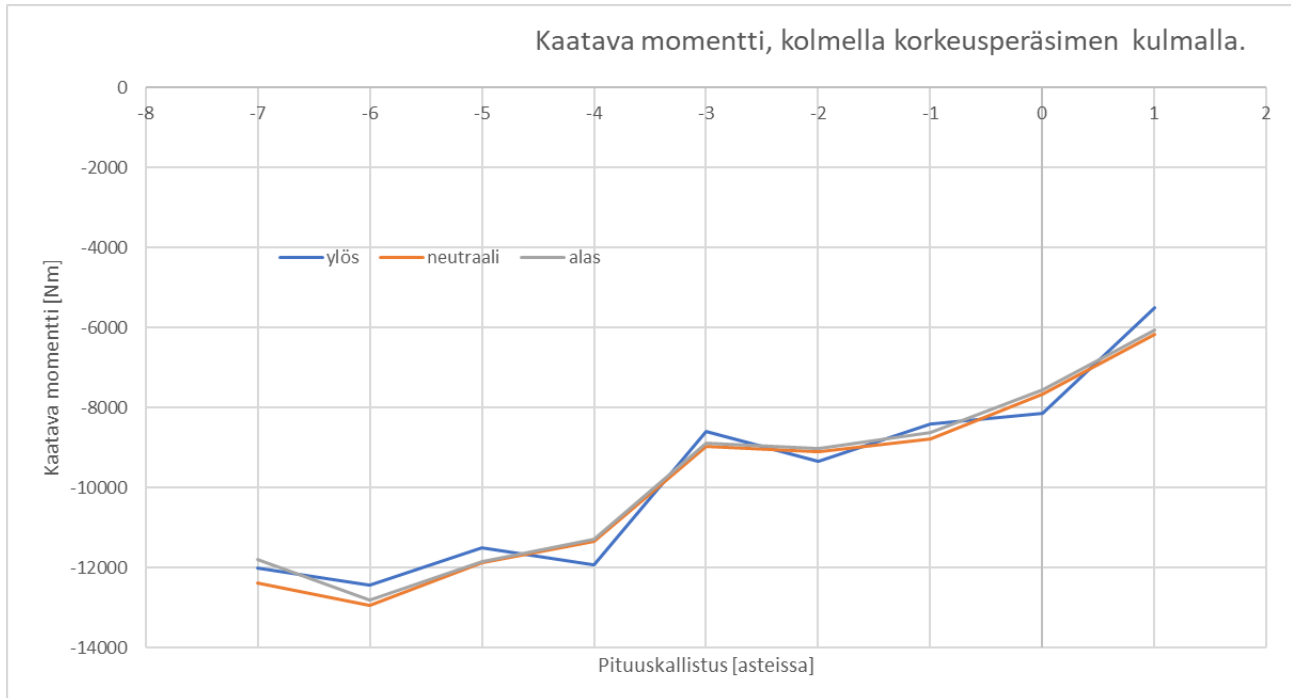
Tämä kellukkeiden oikaiseva vaikutus ei riipu tuulesta.

Jos poikittaiskallistuma on suuri (eli kelluke kokonaan veden alla), pituussuuntainen oikaiseva momentti häviää kokonaan.

## 8 Kaatavat aerodynaamiset voimat

Aerodynaamiset voimat laskettu koko lentokoneelle eri korkeusperäsimen asennoilla (alas, neutraali, ylös) ja eri pituuskallistumilla.

Tulokset ovat momenttina, miinusmerkkinen tarkoittaa että momentti kääntää nokkaa alaspäin.

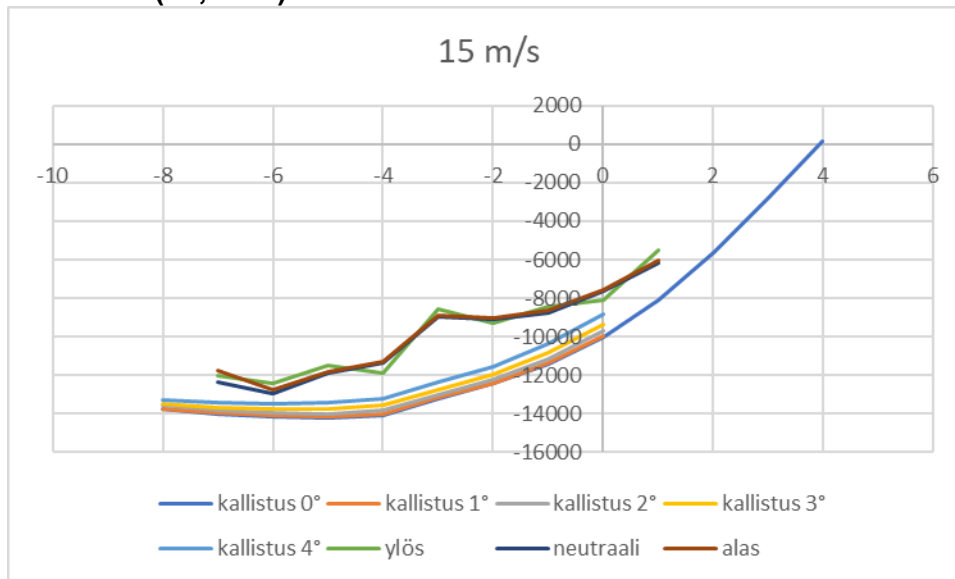


Havaintona että on jokseenkin samantekevää, missä asennossa korkeusperäsintä pidetään!

Kun on arvio kaatavasta aerodynaamisesta voimasta 15 m/s tuulella ja kellukkeiden oikeasevasta momentista, sijoittamalla nämä samaan kaavioon voidaan arvioida koneen kaatumisen todennäköisyyttä.

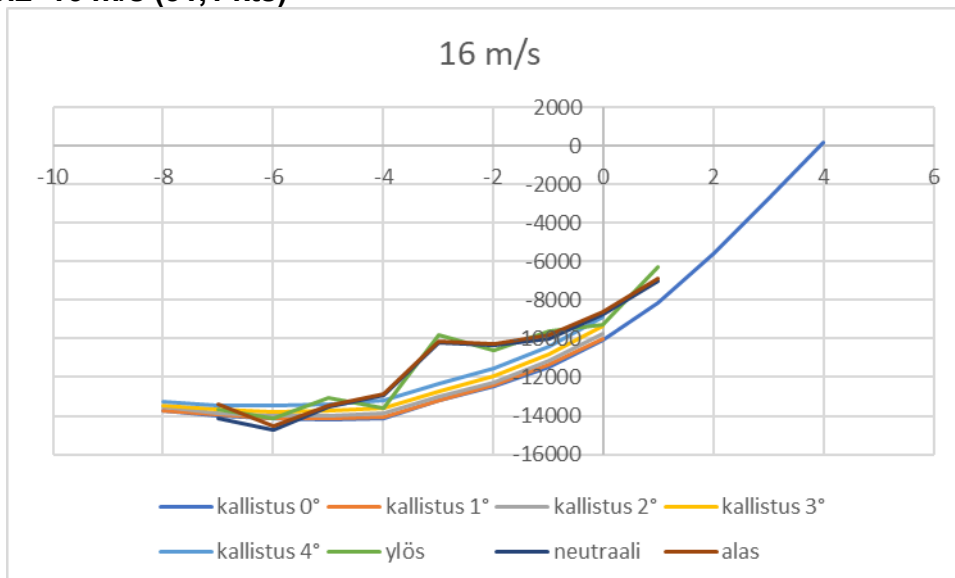
## 9. Loppupäätelmä eri tuulilla

### 9.1 15 m/s (29,2 kts)



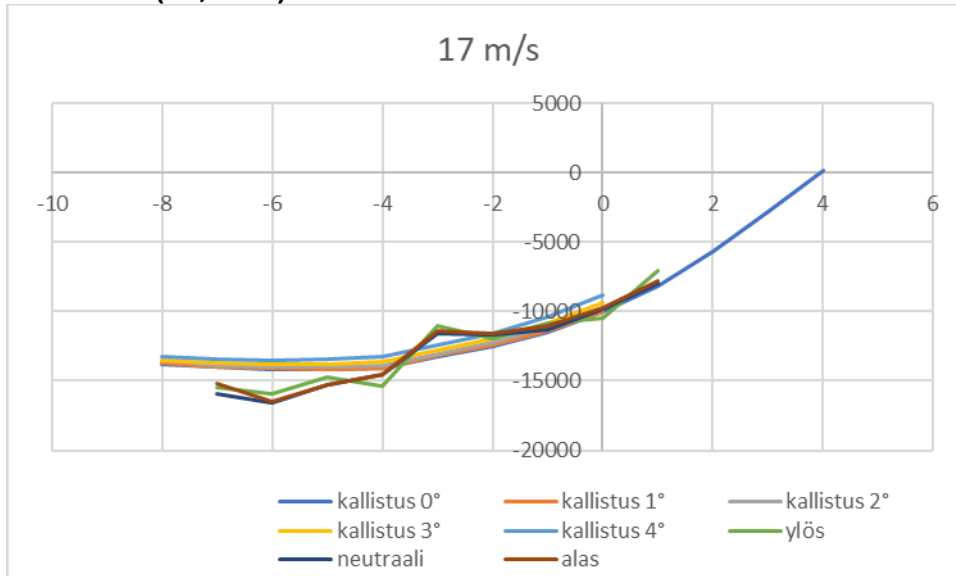
Oikaiseva momentti on kaikilla pituuskallistuksilla suurempi kuin kaatava momentti. Ei paljoa, mutta kuitenkin.

### 9.2 16 m/s (31,1 kts)



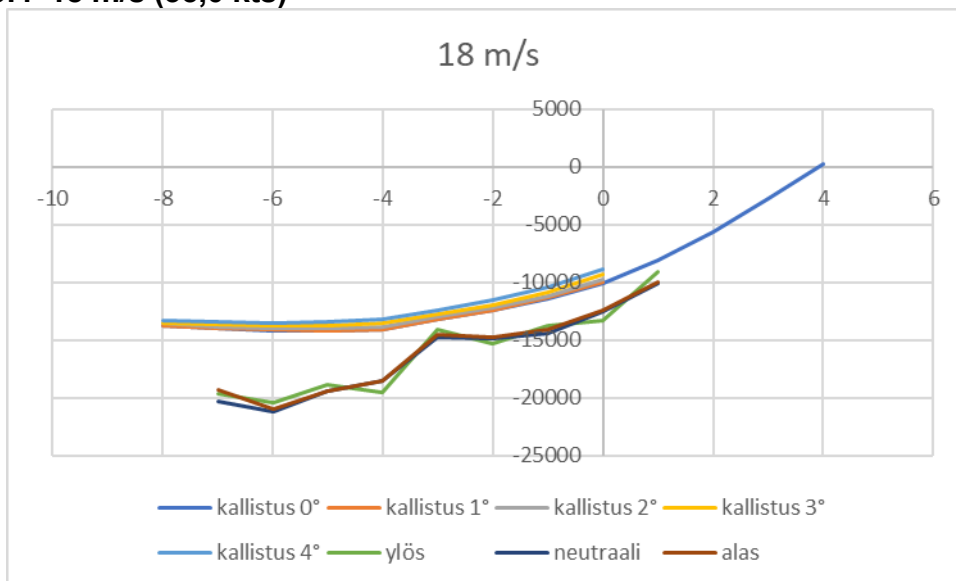
Keulan ollessa -6° alaspäin kaatava momentti on hienokseltaan suurempi kuin oikaisevat momentit.

### 9.3 17 m/s (33,0 kts)



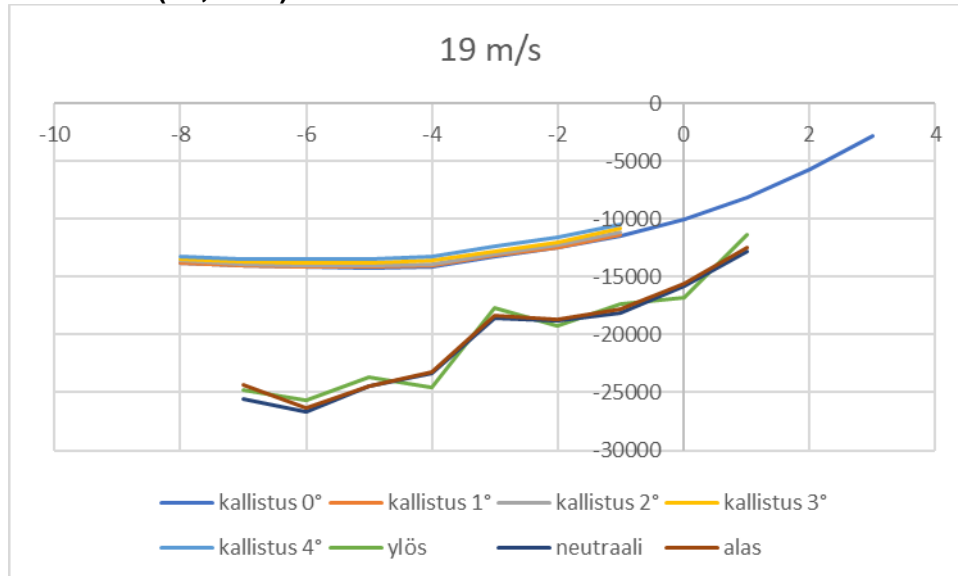
Muistaen että  $-4^\circ$  asteen pituuskallistumalla, kellukkeiden keulat ovat veden alla, tämä on suunnilleen raja, jonka ylittäessä kaatuminen alkaa olla todennäköinen.

### 9.4 18 m/s (35,0 kts)

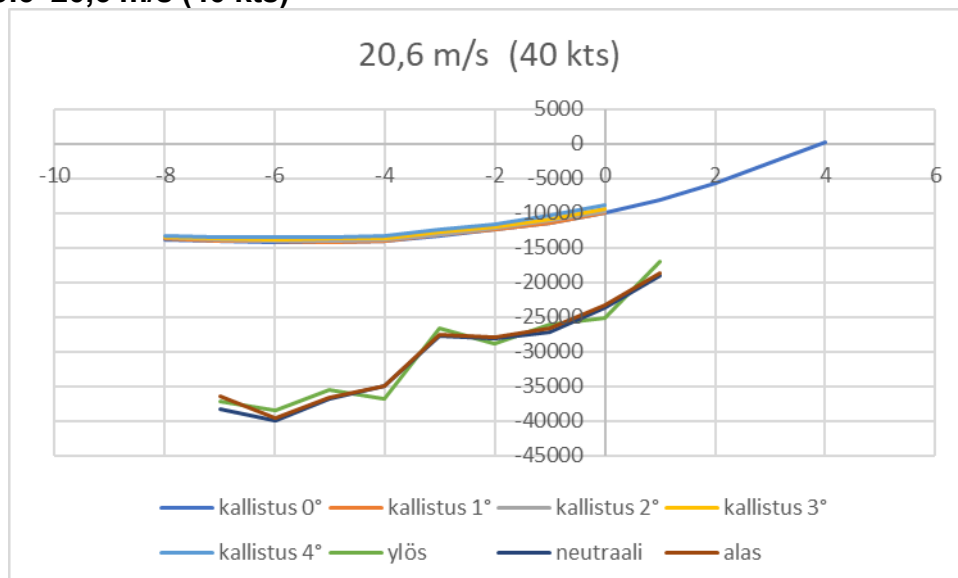


Kaatava momentti on kaikilla kulmilla suurempi kuin oikeiset momentit.

### 9.5 19 m/s (36,9 kts)



### 9.6 20,6 m/s (40 kts)



Tämä tilanne vallitsi siis Lapissa, kun puuska osui kohdalle. Eipä siihen aallokkoa tarvita avittamaan. Nurin menee nokan kautta suorin vartaloin.

## 10. Yhteenveto

Joissain lentokelpoisuusvaatimuksissa on määritelmä, että kahden kellukkeen kokonaisnoste pitää olla vähintään  $1,8 * MTOW$ . Tällä koneella se täyttyi keveästi, ollen  $2,08 * MTOW$ .

Myötätuulen vaikutusta ei mikään vaatimus edellytä tarkasteltavaksi.

Tarkaa tuulihistoriaa paikalta ei ole, mutta tavanomainen käsitys että puuskat ovat kaksi kertaa keskituuli on täysin mahdollinen paikalla ja tilanteessa.

Kone rullasi hitaasti myötätuuleen. Oletettavasti järvellä oli aallokkoa. Joten

aallokon takia kone on nyökkinyt pituussuuntaan.

Jos tuulenpuuska, joka olisi ollut kaksi kertaa keskituulen suuruinen on vaikuttanut. Aerodynaamiset voimat (jotka kaatavat konetta) ovat olleen noin kaksi kertaa suuremmat kuin kellukkeiden oikaiseva voima. Tähän tilanteeseen ei ohjainten asennolla olisi mitään merkittävää vaikutusta.

Koneen kaatuminen on siis ollut todennäköinen.

---

Loppu