

Kellukekone kaatuu

Teksti: Aki Suokas

Sanonnan mukaan kellukekoneita (ja vesilentäjiä) löytyy kahta eri tyyppiä. On niitä, jotka ovat jo kaatuneet ja niitä, jotka eivät ole vielä sitä tehneet.

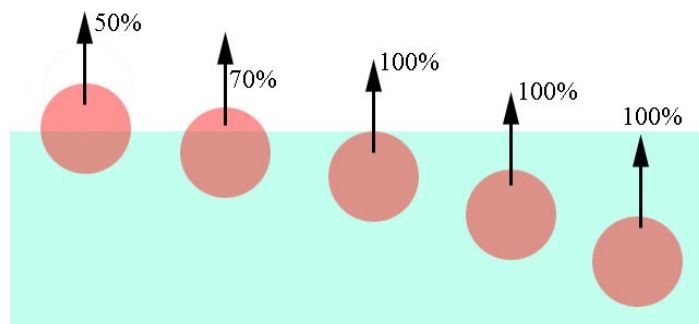
Suurella nopeudella ja virheellisellä ohjaamisella minkä tahansa kellukekoneen saa kaatumaan. Tällöin syy on ohjaajan. Seuraavassa kerrotaan siitä, miten kellukekone voi kaatua vaikka ohjaaja tekisi kaiken aivan oikein. Tällöin kaatuminen johtuu suunnitteluvirheestä, eli siitä, kun kellukkeet on valittu väärin.

Seuraavassa keskitytään kahdella kellukkeella varustettuun lentokoneeseen, ei siis lentoveneisiin tai muihin normaalista kellukevarustuksesta poikkeaviin ratkaisuihin.



Kellutus

Kun kelluke on vedessä, sitä nostaa veden noste. Noste on sen vesimäärän massa suuruinen, minkä kelluke syrjäyttää vettä. Kun kelluke painuu syvemmälle, sen syrjäyttämä vesimäärä kasvaa ja noste suurenee. Kellukekoneen pystyssä pysyminen perustuu tähän perusilmiöön, eli syvemmälle painuminen lisää nostetta.

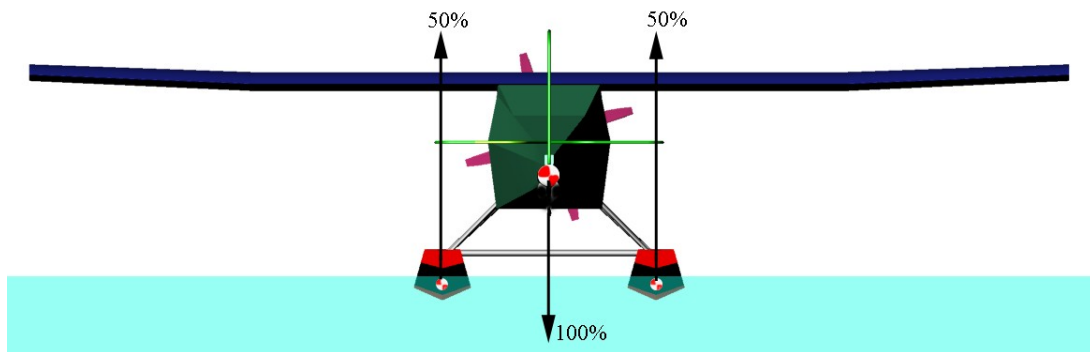


Kun kappale on kokonaan veden alla, noste pysyy samana vaikka se painuisi syvemmälle. Kellukkeen painuessa pinnan alle, peli on yleensä menetetty, koska nostovoima ei enää kasva. Kyse onkin sen jälkeen vain siitä, miten nopeasti kaatuminen tapahtuu. Pystyyn ei enää ole paluuta.

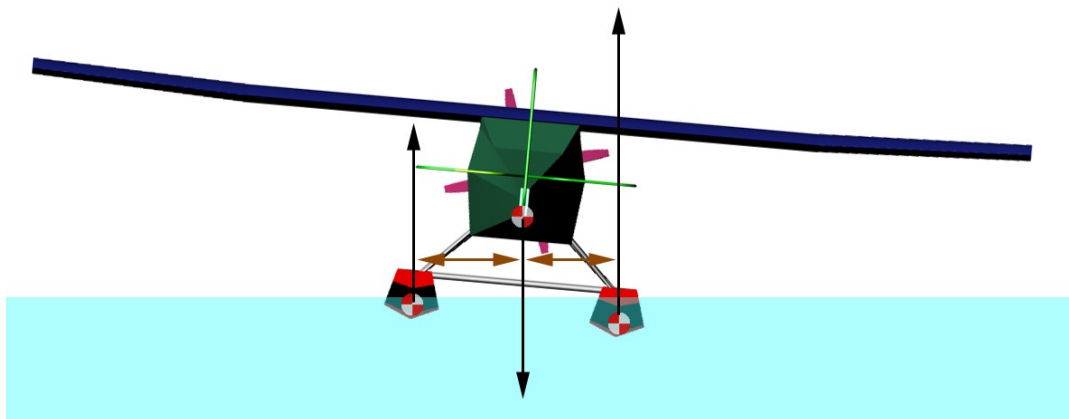
Kone paikallaan

Tässä esityksessä koneen kokonaismassan arvona on 100%, ellei erikseen puhuta kiloista. Kellukekoneen painopiste sijaitsee heti ohjaamon alla, rungon sisällä. Kaksipaikkaisessa koneessa on kolme suurta massakeskittymää; moottori ja kumpikin ihminen. Nämä kolme ovat noin puolet kokonaismassasta.

Kun kone kelluu paikallaan vaaka-asennossa kumpikin kelluke kannattaa 50% suuruisen massan. Noste sijaitsee kellukkeiden vedessä olevassa osassa painopisteen sijaitessa jonkin matkaa korkeammalla. Kone pysyy pystyssä, mutta tilanne ei ole vakaa. Tällöin puhutaan metastabiilista tilasta.

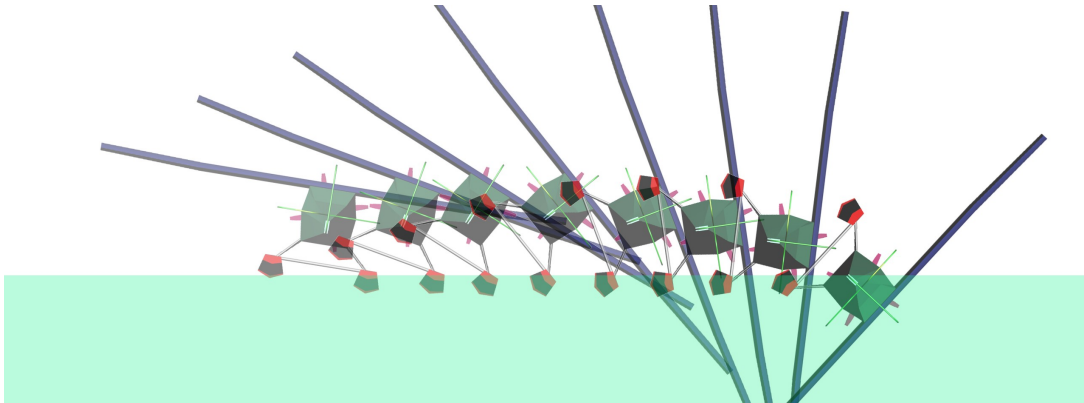


Kun kone kallistuu (esimerkissä oikealle), oikea kelluke painuu syvemälle ja sen noste suurenee. Vasen taas nousee ylöspäin ja sen noste pienenee. Kallistumasta johtuen oikean kellukkeen noste siirtyy lähemmäksi koneen painon vaikutuspistettä. Oikean kellukkeen noste pyrkii oikaisemaan konetta takaisin vaaka-asentoon ja vastaavasti vasemman kellukkeen noste pyrkii lisäämään kallistumista (eli kaatamaan konetta). Kuten kuvasta voi havaita (päätellä), oikaisevan kellukkeen momenttivarsi pienenee (koska painopiste siirtyy lähemmäksi) ja kallistusta lisäävän kellukkeen momenttivarsi suurenee (koska painopiste siirtyy kauemmaksi).



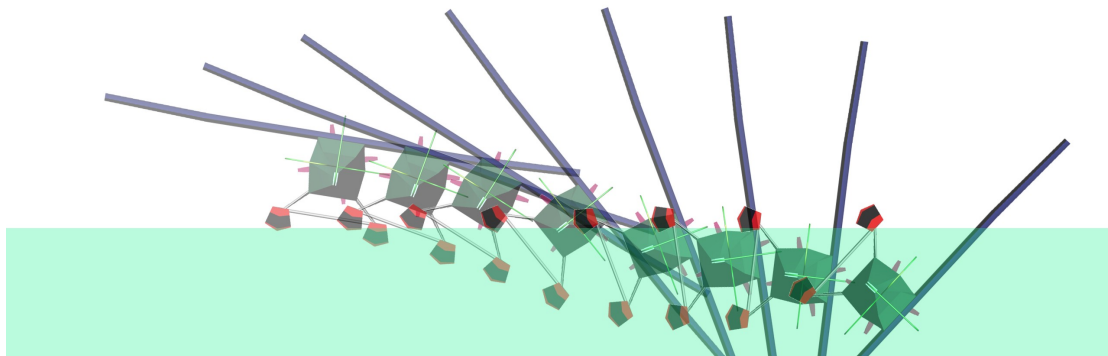
Kun kallistus on niin suuri, että oikea kelluke on suoraan painopisteen alla, oikaiseva momentti on pienentynyt nolleen, eikä kone enää palaa itsestään vaaka-asentoon. Normaalikoneen geometrialla tämä tarkoittaa aina siivenkärjen oloa vedessä. Tällöin oikean kellukkeen noste on koneen massan suuruisen, eli tasan 100% (olettaen että sen max noste on suurempi). Kallistuskulmaan vaikuttaa myös kellukkeiden asennusleveys. Mitä leveämpi se on, sen jäykempi kone on kallistumaan ja sitä suurempi on kallistuma, josta kone alkaa kaatua.

Jos kallistus suurenee tämän yli, niin kone ”kipppaa” selälleen siten, että oikea kelluke pysyy pinnalla (seuraava kuva). Tämä siis koneella, jolla yhden kellukkeen kantavuus on $>100\%$.



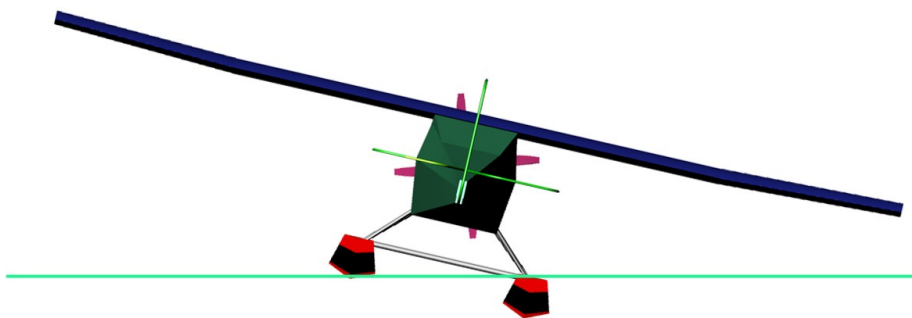
Jos yksittäisen kellukkeen nostokyky ei ole vähintään koneen kokonaismassan suuruinen (eli $<100\%$), oikea kelluke menee upoksiin ennen tätä tasapainoasemaa.

Jos kellukkeesta ei olisi yhtään pinnan päällä, ei painuminen syvemmälle suurentaisi sen nostovoimaa. Mikään ei siis estäisi kallistuman suurenemista ja kone ”kippaisi” oikean kautta ympäri. Tässä tapauksessa vasen kelluke pysyisi pinnalla.

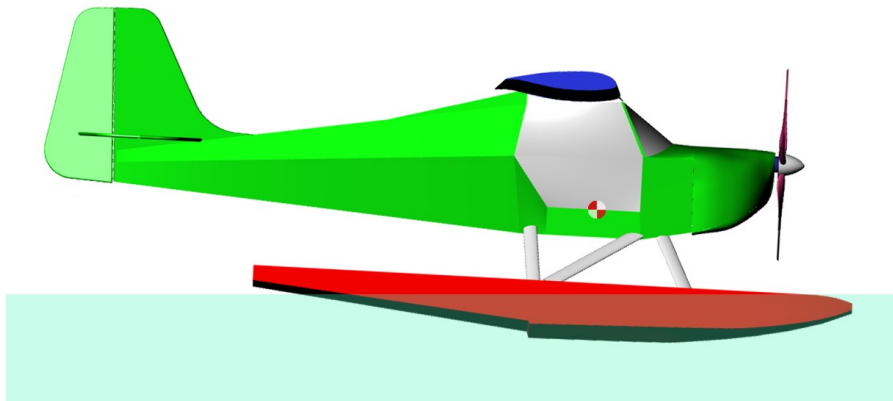


Yllä olevassa kahdessa kuvassa molemmissa on sama kallistus samassa kaatumisen vaiheessa. Yläkautta kaadossa koneen painopiste joutuu ensin nousemaan. Alakautta kaadossa painopiste liikkuu koko ajan alaspäin. Painopisteen liike ylöspäin edellyttää energiaa, jota saadaan painopisteen liikkeestä alaspäin. Eli alemman kuvan tilanne edellyttää vähäisempää energiaa.

Kulma, jolla oikeaseva momentti on suurimmillaan, on suunnilleen kulma, jossa toisen kellukkeen yläpinta ja toisen alin kohta ovat vaakasuorassa. Tämän kulman määrää asennuksen geometria ja kellukkeiden muoto.

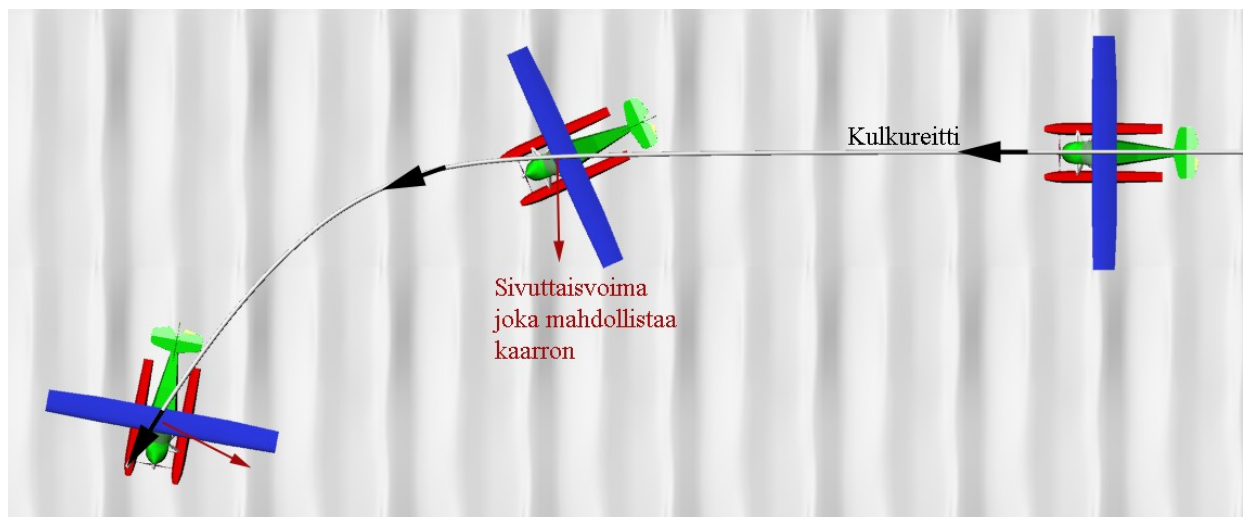


Tilanne on sama pitkittäin, eli metastabiili. Vaikka kellukkeet ovat selvästi pidemmät kuin ne ovat leveät, suurimman oikaisevan momentin pituuskallistuma on aika pieni. Suurin oikaiseva momentti kun syntyy sillä hetkellä, kun kellukkeen nokan yläpinta on juuri veden pinnalla. Heti kun nokan yläpinta alkaa vajota veden alle, kaikki lisänosteet syntyvät koko ajan lähempänä painopistettä.



Kelluntarullaus

Kun kelluntarullauksen aikana kaarretaan, tarvitaan sivuttaispitoa. Tämä syntyy vettä vasten silloin, kun kone liikkuu pienessä sortokulmassa. Vasemmalle kaarrettaessa sortovoima vaikuttaa oikean kellukkeen ulkosyrjään. Pienellä nopeudella veden vastus vaikuttaa myös vasemman kellukkeen ulkosyrjään, mutta tämä vähenee kallistuksen suuretessa merkityksettömän pieneksi. Tarkastelussa ei synny mitään käytännössä merkittävää virhettä, vaikka puhutaankin vain ulommasta kellukkeesta.

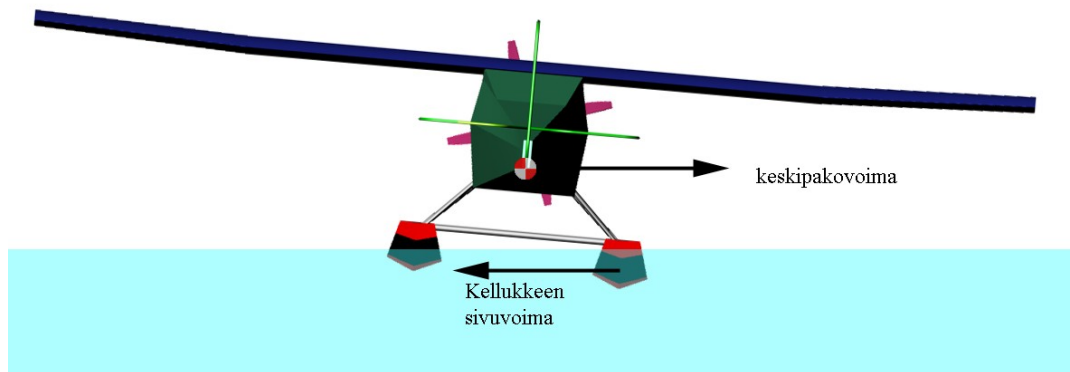


Miten suuri tämä sortokulma on, riippuu kellukkeen pohjasta. Selkeä kölimuoto vaatii pienen kulman, kun taas vähäisemmällä tarvitaan suurempaa sortokulmaa. Tehon käytöllä ei ole suurta merkitystä, koska potkurivirta suuntautuu koneen pituusakselin suuntaan (pois lukien erittäin suuret sortokulmat).

Sivuttaisvoimaa tarvitaan koneen poikittaissuuntaan ja sitä ei tästä synny. Potkurivirralla on

merkitystä perärinten tehoon, joten sillä on merkitystä myös ohjaamiseen. Koneen kulkiessa ”kylkimyyryä” myös koneen runko kulkee sivuttain, mutta koska vesi on noin 800 kertaa tiheämpää kuin ilma, ei ilman aikaansaavilla voimilla ole merkitystä.

Kun kelluntarullauksessa kaarretaan vasemmalle, koneen massa vaikuttaa keskipakovoima oikealle. Se vaikuttaa koneen painopisteessä, joka sijaitsee rungon sisällä, eli puolisen metriä korkeammalla kuin vedestä syntyvä voima, joka tarvitaan kaartamiseen. Nämä voimat (sorto- ja keskipakovoima) aiheuttavat siten momentin, joka kallistaa konetta (kaarrossa) ulospäin.



Kaartaminen tuulessa

Kellukekoneen kaataminen tapahtuu helpoiten rullaamalla ensin myötätuuleen ja kaartamalla siitä vastatuuleen.

Jotta rullaus myötätuuleen onnistuu, pitää tehoa olla päällä sen verran, että peräsinthoa on riittävän paljon ja suunnanpito ylipäättään mahdollista. Kellukekoneella on luonnostaan taipumus kääntyä vastatuuleen (tuuliviiriefekti), joten rullaus myötätuuleen pienellä nopeudella on vaikeaa, jollei mahdotonta. Rullausvauhti on tehosta johtuen siis hieman suurempi ja mitä kovempi tuuli, sen kovempaa on rullattava, jotta suunta säilyisi.

Kun kaartoa aloitetaan (tässä vasemmalle), kone saatetaan polkimilla sortokulmaan vasemmalle. Tällöin kellukkeen vedenalaisen osan vaikuttaa voima vasemmalle ja kone alkaa muuttaa suuntaa. Tämä sorto lisää vedenalaisen osan vastusta, josta seuraa nokka alas painavaa momenttia. Muistetaan vielä, että tehoa on jonkin verran päällä (ohjattavuuden takia). Tällöin moottori vetää reippaasti ja nokka alas -momenttia syntyy lisää. Niin ikään keskipakovoima vaikuttaa heti koneen kaartaessa kaartosuunnan vastakkaiseen suuntaan.

Oikea kelluke siis painuu väistämättä syvemmälle. Kun kelluke painuu syvemmälle, siitä syntyy enemmän vastusta (ja nokka painuu alas).

Kun vasen siipi nousee, niin takaa puhaltava tuuli tarttuu siihen ja nostaa sitä (enemmän kuin rungon takana olevaa oikeaa siipeä). Eli kone kallistuu lisää oikealle. Koneen kääntyessä sivuperäsin tulee tuulen nähtäväksi ja kääntää koneen nokkaa vasemmalle, josta seuraa sivuvoima oikealle (ja kun se on korkealla, niin tästä tulee oikealle kallistava momentti).

Nokan painuessa syvemmälle kellukkeen sivuttaisvoiman vaikutuspiste siirtyy eteenpäin. Tämä aiheuttaa nokkaa vasemmalle kääntävää momenttia.

Meillä on siis kaikkiaan useita voimia kallistamassa konetta oikealle (kaarroksen ulkopuolelle) ja

joitakin painamassa nokkaa alaspäin. Oikea kelluke on siten syvällä. Kun katsoo useimpien kellukkeiden profiilia, niin kellukkeen ollessa syvällä ja kallellaan oikealle, ja kun sortokulman ansiosta kelluke kulkee sivuttaen, kylki ja mahdollisesti kansi imevät kelluketta alaspäin! Ja kun kelluke on nokka alhaalla, tämä imu lisää nokka alas momenttia. Ainoa voima, joka vastustaa kaatumista on alemman kellukkeen noste (ja siitäkin kellukkeen etupään noste).

Katsotaan tilannetta sivulta (oikealta puolelta). Ulompi kelluke on syvällä ja kone on vähän nokka alaspäin.

Jos kellukkeen noste on 100% suuruinen (eli yhden kellukkeen kantavuus tasan sama kuin koneen kokomassa), tilanne muuttuu mielenkiintoiseksi.

Tuulen puhaltaessa syntyy aallokkoa. Kelluke ui syvällä ja nokka alhaalla. Aallonpituus on jotain, pahimmillaan kellukkeiden välisen etäisyyden kerrannainen siten, että aallon kylki kallistaa konetta kohden seuraavan aallon reunaa.

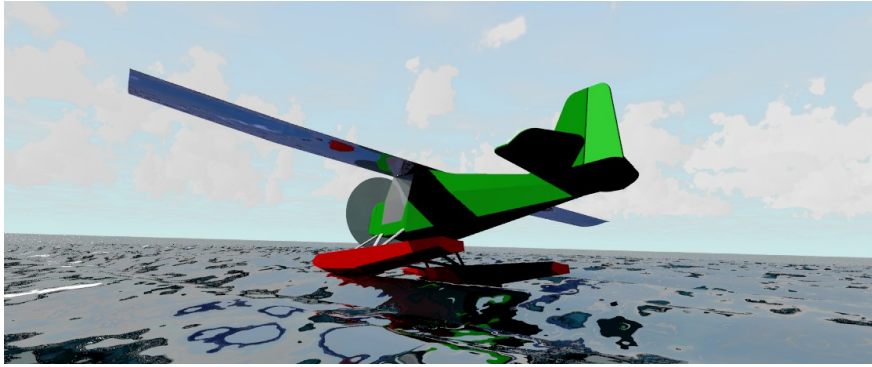
Jos eteen tulee aalto, johon kelluke sukeltaa, se onkin veden alla. Se ei ole enää tilanteessa, jossa sen noste kasvaisi. Mikään ei siis estä kellukkeen painumista vieläkin syvemmälle. Eikä edes koko kellukkeen tarvitse mennä veden alle. Riittää, että sen etupää sukeltaa. Tällöin kellukkeen etupään vakavuus häviää (syvemmälle painuminen ei enää lisää nostetta) ja koneen pitkittäisvakavuus on epämääräinen (ei varsinaisesti enää halua takaisin pystyyn).



Nokan sukeltaminen lisää vasemmalle kääntävää momenttia, jolloin kaartaminen jyrkkenee, ja se taas lisää ulospäin kaatavia momenteja.

Takatuulen pinta-aallokko tulee yleensä takaa, mutta vesillä voi olla aallokkoja eri suunnista ja se vaarallinen maininki voi tulla sivusta (esimerkiksi niemen tai saaren takaa). Tällöin kellukkeen sukellus voi syntyä yllättäen ilman, että pilotin voi ennakoida sitä.

Kone alkaa kaatua, jolloin lentäjän normaali reaktio on vähentää tehoa. Tällöin peräsimiä huuhtova potkurivirta häviää. Meillä on nokka valmiiksi vähän alhaalla, eli pyrstö ylhäällä. Onko sauva vedettynä vai työnnettynä. Useimmilla sen on ainakin vähän vedettynä. Ja jos ei ole, alhaalla oleva nokka saa vetämään sauvasta. Potkurivirta häviää korkealla olevasta korkeusvakaajasta ja vedettyyn korkeusperäsimen alkaakin vaikuttaa takatuuli. Ja se nostaakin pyrstöä! Nokka sukeltaa entistä enemmän.



Katsottuna tuulen suunnasta.

Suurin osa lentokäsikirjoista neuvoo myötätuuleen (maalla) rullatessa työntämään sauvasta. Mutta kun ollaan nokka alhaalla valmiiksi, niin kenen kantti kestää työntää sitä ikään kuin vieläkin alemmaksi?

Jotta tämä dynaaminen kaatuminen ei yllättäisi, pitää kellukkeessa on varalla ylimääräistä nostetta sekä suoraan sivuttain ja että pituussuuntaan. Tämä on sitä oleellisempi mitä pienemmästä koneesta on kyse. Ja mitä vähemmän ohjaajalla on kokemusta.

Yhden kellukkeen nosteen on mieluummin oltava suurempi kuin 100%, jotta tämä yllättävä tilanne ei pääse niin helpolla kaatamaan konetta. Mitä kevyempi kone, sen suurempi prosentuaalisen marginaalin on oltava, koska ympäristön vaikutusten suhteellinen suuruus kasvaa koneen pienentyessä.

Suurilla kellukekoneilla (2000 kg ja yli), eräs määräys edellyttää, että kelluttavuuden on oltava vähintään 80%. Silloin alakautta kaatuminen on kuitenkin mahdollinen tapahtuma.

Ammattimaisilla lentoyrityksillä ei näin pientä kelluketta kuitenkaan käytetä, vaikka lentäjät ovat rautaisia ammattilaisia. Noin 110% - 120% on heidän valinta.

Kellukevalmistajan suositukset isoille yleisilmailukoneille ovat yli 100% kokoiset kellukkeet.

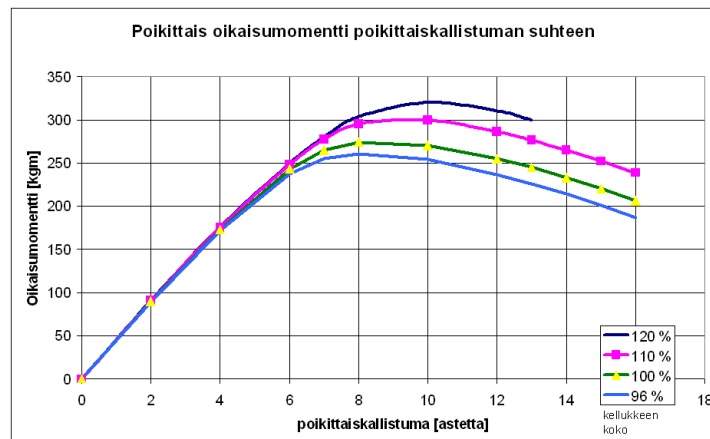
Keveille koneille ei ole omaa ohjeistoa, mutta eräänä ohjearvona 600 kg lentokoneille on 110% noste. Eli yhden kellukkeen kantavuus on 10% suurempi kuin koneen kokonaismassa. Tämäkään ei estä tätä etukulman kautta kaatumista, mutta antaa paremman mahdollisuuden selvitä tilanteesta.

Numeroina

Kallistumista vastustava momentin suuruus muuttuu seuraavasti. Laskelmissa on käytetty kuvissa olevan kellukekoneen mittoja. 100% tarkoittaa, että yksi kelluke kantaa juuri koneen massan. Muut arvot on laskettu samalla kellukkeella, mutta koneen massaa on muutettu siten, että haluttu marginaali on syntynyt.

Ensin poikittaistilanne...

Kone on pystyssä ja sitä kallistetaan.



Pienillä kallistumilla oikaisumomentti on sama riippumatta kellukkeen koosta. Esimerkiksi neljän asteen kallistumalla kellukeiden oikaiseva momentti on noin 175 kpm riippumatta kellukkeen koosta. Vasta sitten, kun toinen kelluke alkaa nousta vedestä, oikaisumomentissa näkyy eroa. Tämä on kuitenkin vain osa totuudesta.

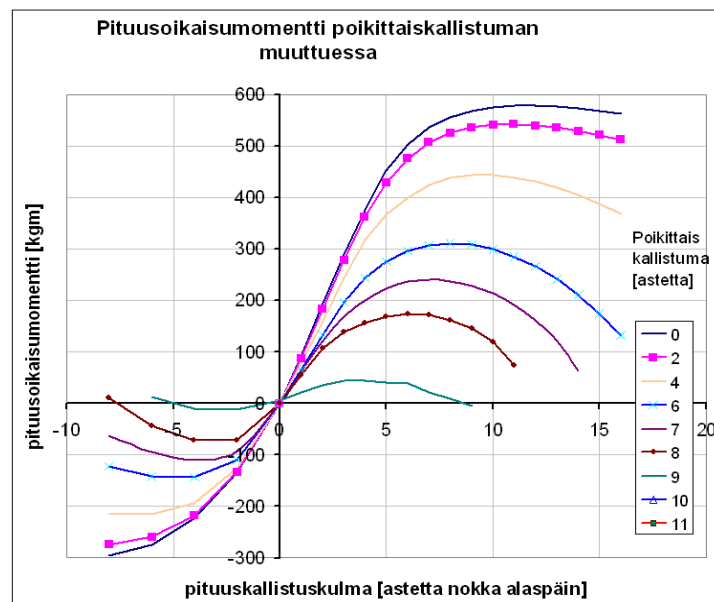
.. ja sitten pitkittäin

Kokemustietona kellukekoneiden kanssa toimineet tietävät, että laiturissa kellukekone kallistuu helpommin poikittain kuin pitkittäin. Seuraavassa kuvassa on 100% kellukkeen pituussuuntainen oikaiseva momentti poikittaiskallistuman muuttuessa.

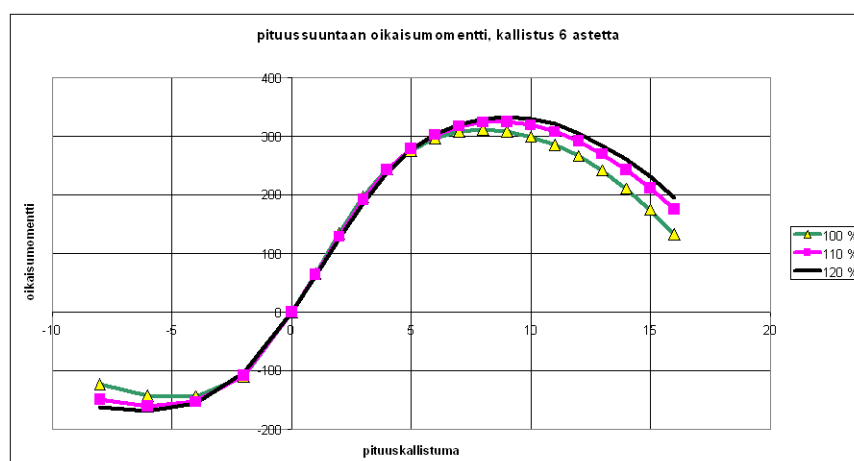
Kun poikittaiskallistuma on nolla, vastaava neljän asteen pituuskallistuman (nokka alas) kehittää noin 400 kpm oikaisevan momentin. Kellukekone on siis reilut kaksi kertaa jäykempi nokka alas kallistuksen suuntaan kuin poikittain.

Tämä ero kuitenkin kaventuu kun koneen poikittaista kallistusta lisätään. Eli tilanne on se, mikä aikaisemmin on kuvailtu kaatotilanteeksi.

Kun poikittaiskallistuma on kuuden asteen paikkeilla, ovat poikittais- ja pituussuuntaiset oikaisumomentit samansuuruiset. Kun poikittainen kallistus edelleen lisääntyy, kone on pituussuuntaan helpommin kallistettavissa.



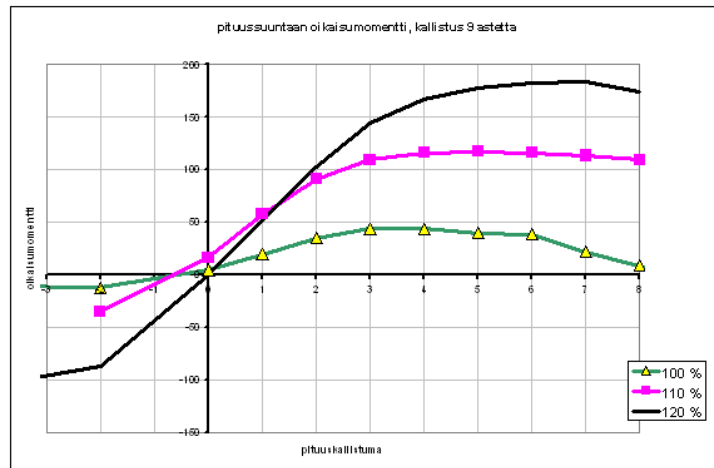
Juuri tässä tilanteessa suurempi kelluke alkaa näyttää kyntensä. Poikittaiskallistuman ollessa (tällä geometrialla) alle kuusi astetta, eri kokoiset kellukkeet käyttäytyvät melkein täsmälleen samalla lailla. Kuvassa näkyy eri pituuskallistumien oikaisumomentti tilanteessa, jossa poikittainen kallistus on 6 astetta. Positiivinen pituuskallistuma on nokka alas -suuntaan. Tästä voi havaita, että oikaiseva momentti on pienempi koneen kallistuessa taaksepäin.



Kallistuman kasvaessa tilanne muuttuu nopeasti. Seuraavassa kuvassa poikittaiskallistuma on yhdeksän astetta. 100%:n kellukkeella pituussuuntainen oikaiseva momentti on lähes hävinnyt. Tämä on juuri siinä rajoilla, joilla tämä kelluke yleensä pystyy oikaisemaan itsensä. Poikittaiskallistuman lisäys 0,1 astetta romahduttaisi tämän kellukkeen oikaisukykyyn kokonaan.

110%:n kelluke on menettänyt (verrattuna kuuden asteen poikittaiskallistumaan) hieman yli puolet pituusoikaisukyvyystään, ja myös 120%:n kelluke on menettänyt oikaisukykyään, mutta maltillisemmin.

Tuolla 120%:n kellukkeella oikaisumomentin maksimi vakiintuu kuvan arvoihin, vaikka poikittaiskallistuma kasvaa tästä. Syynä on se, että ylempi kelluke nousee ilmaan.



Numerot kertovat siis, että paikallaan kellukekone on vakaampi pituussuuntaan (noin tuplasti mitä se on poikittain). Mutta kun kone kallistuu, ero vähenee ja ylemmän kellukkeen ollessa enään hieman vedessä pituussuuntainen vakavuus onkin jo selvästi pienempi kuin poikittainen. Kellukkeen koosta riippuen, pituusvakavuus voi hävitä kokonaan.

Kellukkeen koko?

Vesi on ankara mittari, sillä se ei tunnista mitään standardimassaa henkilöille, eikä muutakaan laskennallista painosuuretta. Vesi tunnistaa vain todellisen massan.

Kun arvioit tarvetta, hae **suurin**, ei keskimääräistä kuormaustilanne. Se mikä on koneen suurin sallittu lentomassa, on erittäin epäoleellinen tieto.

Esimerkiksi kuvitteellinen lentokone.

Koneen tyhjämassa (punnitustodistuksesta)	320 kg
Ohjaaja (oikeasti)	106 kg
Suurin matkustaja (oikeasti)	80 kg
Polttoaine (60 litraa autobensaa á 0,75 kg)	45 kg
varusteita (kartat, kirjat, pelastusliivit, köydet jne)	5 kg
ja matkatavaraa (enintään)	5 kg
vettä kellukkeissa	16 kg

yhteensä	577 kg

Tuo ensimmäinen rivi voi olla vaikein arvata uutta konetta varusteltaessa. Kilauta kaverille, niin vertailemalla pääset ehkä lähelle. Ja arvausvara kannattaa laittaa sen päälle.

Kaikki kellukkeet vuotavat tai keräävät kondenssivettä. Ämpärillinen per kelluke on sellainen varovainen arvio. Ja se kaatumistilanne ei suvaitse selityksiä, että ”kyllä mä aioin tyhjentää...”

Massaa on siis 577 kg, edellä esitetyllä marginaalilla siis yhden kellukkeen kantavuus olisi oltava 635 kg, jolloin oltaisiin +10% marginaalilla liikkeellä.

Jos kellukkeen kantavuus ei ole tuota, niin silloin edellä kuvattu koneen dynaaminen kaataminen on enemmän todennäköistä, vaikka pilotti olisi kuinka taitava tahansa. Paitsi jos rullaa vain vastatuuleen, eikä kaarra vedessä koskaan...

Tuota laskelmaa voi toki tehdä toisinkin päin. Kun tiedossa on kellukkeen kantavuus, siitä voidaan laskea, mikä olisi sallittu maksimimassa (kuorma), jotta +10% turvallisuusmarginaali säilyy.

Yhden kellukkeen kantavuus: 572 kg, (eli 1260 lbs) → max massa 520 kg.

Käytettävissä oleva max massa siis	520 kg
Koneen tyhjämassa (punnitustodistuksesta)	- 320 kg
Polttoaine (60 litraa autobensaa á 0,75 kg)	- 45 kg
vettä kellukkeissa	-16 kg

jää	
Ohjaaja + matkustaja + varusteet + matkatavaraa (enintään)	139 kg

Ja nämä kaikki sitten todellisina massoina!

Täsmälleen sopivan kokoista kelluketta tuskin löytyy, mutta tällä voit arvioida sitä riskiä, minkä haluat ottaa. Mitä pienempään marginaaliin päädyt, sen suuremman kaatumisriskin hyväksyt.

Onko +10% vai +20% marginaali riittävä? Päätä itse.