

Moottori lentokoneen punnitus

Ohje
pvm

HTO-007M/21A
6.5.2021

Lähteet:

- FAA-H-8083-1, 2016
- Safety Sense leaflet 9, CAA January 2013
- Weight and Balance, GAP, Civil aviation authority of New Zealand, November 2014
- Airframe&Powerplant Mechanics General handbook, AC65-9A chg 1 3/31/99
- Airframe & Powerplant Mechanics Airframe handbook, AC65-15A, 01-01-1976
- Aircraft Maintenance Technician Handbook, FAA-H-8083-30

MuutosHistoria:

HTO-007M/18, 15.11.2018, ensijulkaisu

HTO-007M/20, 14.4.2020 numerovirhe esimerkissä korjattu

HTO-007M/21, mittaväline asiaa täydennetty

HTO-007M/21A, pientä tarkennusta

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](#)

Taustaa

Punnituksen perussyy on turvallisuuden takaaminen. Oikea tyhjämassa ja painopisteen paikka on perusta sille että päällikkö pystyy suorittamaan lentoa edeltävän kuormauslaskennan oikein.

Kaikkien lentolaitteiden paino muuttuu ikääntyessä. Huollot, korjaukset, muutokset ja asiakirjat muuttavat konetta ja koneeseen voi kerääntyä likaa yms. Näiden jatkuva seuraaminen (mitä määräys edellyttäisi) on työlästä.

Punnitustarve on määritelty koneen huolto-ohjelmassa. Mutta sen lisäksi huoltajan on suhtauduttava näihin kriittisesti ja jos on syytä epäillä että massa tai painopiste on muuttunut, kone on punnittava huolto-ohjelman jaksosta riippumatta. Punnitus on myös erinomainen tarkastuskeino koneen muuttumisen (ja piilomuutosten) seuraamisessa. Jos massa tai painopiste on muuttunut punnituksessa, etkä pysty selittämään sitä, on syytä suorittaa koneen tarkempi tutkiminen sen selvittämiseen miksi näin on tapahtunut. Selvitys voi tuoda esiin asioita, jotka muuten jäisivät huomaamatta.

Tämä ohje on yksi kolmesta punnitusohjeesta. Muut kaksi ovat ultrakeveille lentokoneille (UL) ja purjekoneille (G). Tämä M ohje ei puutu pelkästään noiden kahden muun koneluokan asioihin. Yhteiset asiat ovat tässäkin.

Punnituspaikka

Punnitustilassa ei saa tuulla, jo pienikin tuuli vaikuttaa. Jo 1 m/s tuulenhenkäys nostaa konetta puolen kilon voimalla, mutta sen vaikutus painopisteeseen on suurempi. Käytännössä punnitus pitää tehdä aina sisätiloissa.

Paikka pitää olla tasainen, jotta vaa'at toimisivat oikein. Tarvitset lisäksi täytepaloja vaakojen alle/päälle, jotta saat koneen oikeaan asentoon. Varustaudu siis sopivilla levyn, laudan palasilla. Kannuskoneen ollessa kysessä kannuksen nostaminen riittävän kokealle edellyttää jakkaran korkuista pallia.

Pinnoitettu alusta helpottaa punnitusta, koska voit tehdä merkintöjä lattiaan (teipillä). Maapohjainen paikka asettaa lisähaasteita.

Ja muista kiilapalat pyörien eteen/taakse, koneen ei ole terveellistä liikkua punnituksen aikana, eikä ainakaan tipahtaa vaoilta!

Tutustu lentokoneen tietoihin

Ennenkuin aloitat mitään punnitusta, tutustu punnittavan lentokoneen tietoihin. Tietolähteet ovat koneen lentokäsikirja, huoltokäsikirja, tyyppitodistuksen tietolomake ja myöskin edelliset punnitukset.

Tyyppihyväksytyillä lentokonekoneilla löytyy jostain Type Certificate Data Sheet niminen dokumentti, joka on koneen virallinen tietolähde. Jos koneesi perustuu johonkin tällaiseen, painopisterajat ovat tuskin muuttuneet näistä.

TCDS on viranomaisen julkaisema ja ylläpitämä.

Eurooppalaisilla lentokoneilla EASA ylläpitää näitä. Google hakusanat "EASA" ja "TCDS" tuottaa osoitteen.

<https://www.easa.europa.eu/document-library/type-certificates>

Vanhemmilla koneilla kyse voi olla myös Specific Airworthiness Specifications (SASs) nimisestä hyväksynnästä, joten etsi EASA SAS termillä. Osoite on

<https://www.easa.europa.eu/document-library/specific-airworthiness-specifications>

Jos koneesi perustuu amerikkalaiseen lentokoneeseen myös FAA TCDS

https://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgMakeModel.nsf/Frameset?OpenPage

Mutta muussa tapauksessa koneen ohjekirjat/piirustukset tms on ainoa lähde.

Jos ei tärrppää, kysy neuvoa. Etsitään yhdessä.

Punnitus menettely on käsitelty joko lentoohjekirjassa tai huoltokäsikirjoissa. Kaiva siis se esiin. Valitettavasti joissain huoltotiedoissa olevat ohjeet eivät ole virheettömiä!

Etsi näistä virallinen:

- perustaso
- vaakitusmenetelmä
- sallittu painopistealue
- sallitut kokonaispainot.
- kuormausohjetta varten, selvitä ohjaajan paikka, matkatavaran paikka, polttoaineen paikka.
- Punnituspisteet, eivät aina ole laskutelineen pyöriä. Jos muu kuin pyörä, siihen tarvitaan mahdollisesti pukkeja yms apuvälineitä.

Edellisestä punnituksesta saat odotettavat painot eri punnituskohtiin. Tästä on apua välineitä valitessa.

Kirjaa tiedot punnitustodistukseen, samoin konetiedot, paikka, kuka tekee ja tärkeänä tietona myös mitä vaakoja on käytetty.

Kellukekoneilla punnitus vaatii suunnittelua. Niissä kun ei ole selkeitä kohtia punnitukseen. Punnituskohta pitää olla sellainen, josta saadaan tarkka pituuspaikka mitattua. Joten esim FullLotus kellukkeilla kellukkeen alta ei voi punnita. Ja punnitus ei saa rikkoa konetta, kellukekoneen rikin välituki ei yleensä ole suunniteltu kestäämään koneen painoa siten kuin se punnituksessa syntyy. Järkeä käteen!

Valmistele lentokone punnitusta varten

Tässä katso koneen ohjekirjan ohjeet.

Yleensä kaikkia koskevia asioita on.

- Kone pitäisi olla tyhjä, siis siivoa kone
- mutta pakolliset varusteet mukana, näitä ovat asiakirjat
- nestemäärät ohjeen mukaiset, yleensä öljyt maksimissa, hydraulineesteet/jäähdytysneste täynnä, polttoaine tankit **tyhjänä**.
- Kaikki irrotettavat painolastit on irrotettava (jollei tee nimenomaan punnitusta niiden kanssa, muista merkinnät pöytäkirjaan).
- Liikkuville osille normaalisti punnitusasento on lennonaikainen asento, eli laskuteline ylhäällä, laskusiivekkeet ylhäällä, ovet/kuomu kiinni, sisäänvedettävä moottori sisällä jne. Katso käsikirjasta.
- Puhdista koneen ulkopinnat.

Pakollisiin varusteisiin kuuluvat asiat löytyvät koneen varusteluettelosta. Sellainen on hyvä olla, jos sitä ei ole, tee se tässä yhteydessä. Koneessa vaadittava PLB on oltava mukana koneessa.

Polttoaineen käyttämättä jäävä määrä kuuluu punnitus asuun. Se ei ole sama asia kuin mitä tankkiin jää, jos se tyhjennetään tyhjennysventtiilistä! Helpoin on tyhjentää tankki kokonaan ja lisätä käyttämättä jäävä määrä lento-ohjekirjan mukaan laskennallisesti. Paitsi jos koneen käsikirja nimenomaisesti määrää tekemään punnitus tankki täynnä.

Punnitus tehdään sisätiloissa, mutta jos kone on märkä tai luminen (tuotu sisään juuri ennen punnitusta), kone on kuivattava ja puhdistettava ulkopuolelta. Talvella on myös viisasta tuoda kone sisälle lämpiämään muutama tunti etukäteen. Kylmä pinta kerää ilmasta kosteutta joka ottaa aikansa kuivuakseen. Ja jos konees rakenteen sisäpuolella on vettä/lunta/jäät, sen sulaminen ottaa pitkän ajan.

Asiakirjat on oltava mukana punnituksessa. Myös lentoohjekirja!

Ohjaajan henkilökohtaisia varusteita ei oteta mukaan punnitukseen. Näitä on mm pelastusliivit/laskuvarjo. Headsetit ovat usein henkilön omia, mutta koneessa on aina oltava OPS M2-11 (eli varusteiden osalta EASA NCO) edellyttämät varusteet, joihin headsetit voivat kuulua (jos koneessa ei esim ole kovaäänistä ja erillistä mikrofonia). Kirjaa varusteluetteloon mikä headsetit on mukana punnituksessa.

Ja kirjaa yleensäkin, missä varusteissa kone on.

Aseta koneen liikkuvat osat vaakalentoa vastaaviin asentoihin, ovet/kuomu kiinni, laipat ylös asentoon. Laskuteline pidetään ulkona (jollei lentokoneen käsikirja muuta sano). Pyörivä kannus lentoasentoon.

Valmistele punnitusvälineet

Tarkista että punnitusvälineet ovat kunnossa, akut ladattu, patterit uudet. Kalibrointi kunnossa. Kalibrointi on vain virheen toteaminen, tarkkuutuksessa virhe myös korjataan.

Tarkista että punnitusvälineiden mitta-alue on riittävä. Päätelineen odotettavissa oleva massa selviää aiemmista punnitustuloksista tai koneen käsikirjoista.

Juuri ennen punnitusta suorita vielä vaakojen lopputarkastus, vaakojen pitää samalla kuormalla näyttää samaa lukemaa. Punnitse siis oma painosi jokaisella vaa'alla erikseen. Sen pitäisi olla sama lukema kaikilla. Jos ei ole, katso kalibrointitiedoista vastaako ero niiden tietoa. Eroa voi johtua pattereiden jännitteestä, roskista/liasta vaaka levyissä tms. Puhdista vaa'at ja tarkista patterit, suorita tarkistus uudelleen. Jos edelleen eroa, arvioi tilanne.

Tarvitset aina jonkinlaiset vaakitusvälineen, vatupassin tai vastaavan. Luotilanka on joissain koneissa hyvä apuväline. Linjalaser/Ristilaser on myös kätevä. Lisäksi riittävän pitkä metrimitta on välttämätön.

Jos tilanne on onneton ja joudut tekemään punnituksen vain yhdellä vaa'alla, valmistele riittävä määrä täytettä, joilla nostat ei vaa'an alla oleviin kohtiin täsmälleen vaa'an korkuisen täytteen.

Tarvitset myös etäisyysmittausvälineen. Sen tarvitsee olla riittävän tarkka, mutta ei pidä liioitella. Kun mitattavat etäisyydet ovat noin välillä 0,1 m – 5 metriä, niin ei tarvita millia pienempiä mittauksia. Mekaanisissa mitoissa (mittanauha), virhe ei muutu juuri muusta syystä kuin mekaanisesti vahingoittumalla. Se on helppo havaita. Sähköisissä mitoissa (kuten lasermitta) virheen syntymistä ei havaitse mistään. Yleensä sähköisissä laitteissa näytön lukutarkkuus (resoluutio) on pienempi kuin laitteelle luvattu tarkkuus. Eli niillä viimeisillä numeroilla ei ole totuusarvoa. Jos kaksi

mittalaitetta antaa eri tuloksen, se ns ”hienompi laite” ei välttämättä ole se oikeampi tulos. Arvioi kylmästi kumman virhe on todennäköisempi (yleensä sen sähköisen) ja/tai hanki kolmas vertailukohta.

Punnituksen aloitus

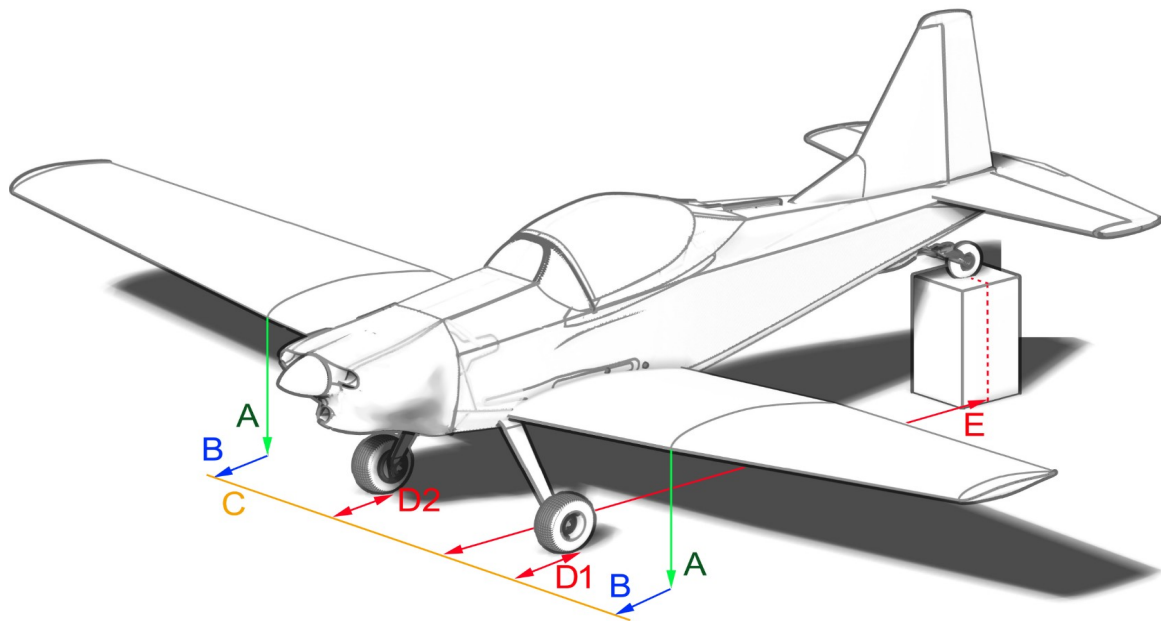
Punnituksen aluksi kone pitää saada vaaoille vaakitusasentoon. Painopisteellä on myös korkeusasema, tämä ei sinällään kiinnosta, mutta sen takia asento vaikuttaa eri tukipisteiden punnitustulokseen. Vaakitus edellyttää yleensä vaakojen korkeuden säätöä. Varustaudu siihen että ensimmäinen yritys ei tuota oikeaa asento, vaan joudut säätämään täytteitä. Säädä täytteitä kunnes vaakitus on haluttu.

Harrastekoneilla ei poikittaiselle painopisteelle ole yleensä rajoja, mutta on hyvä tapa kuitenkin vaakittaa kone myös poikittain suoraan asentoon. Tämä huomioitava jos joudut nostamaan päätelineitä ylöspäin.

Ensimmäiseksi pitää määritellä tukipisteiden (pyörien) etäisyys perustasosta. Etäisyys tarkoittaa koneen pituussuuntaista etäisyyttä. Käytä tässä luotilankaa tai ristilaseria sekä suorakanttista lautaa/rimaa/tms.

Esimerkiksi kone jossa perustaso on siiven etureuna jostain kohtaa siipeä. Luotilangassa merkitse tämä kohta molemmiin puolin konetta lattiaan (teippi, johon tussilla merkki).

Nyt suoralla laudalla voit mitata tukipisteen etäisyyden (joka mitataan koneen pituussuuntaan) oikealla leveydellä keskilinjasta perustasosta.



Kuvan esimerkissä perustaso on siiven etureuna siiven niksauksen kohdalla (1,7 m keskilinjalta). Kun kone on vaakitettu, merkitse luotilangalla molempien siipien etureunan paikka lattiaan (A). Koska tämä kohta on melkein renkaan kohdalla, näiden väliin ei voi vetää viivaa, vaan mittakohtaa on siirrettävä eteenpäin esim 20 cm (B). Näiden väliin asetetaan suorakylkinen lauta tai muu sellainen (ristilaserin viiva) (C). Tämä viiva on nyt meidän mittaustaso. Mittaat siitä sitten päätelineiden paikat, saattavat olla eri kohdissa joten molemmat erikseen (D). Sekä kannuksen etäisyyden (E). Mitoista D1, D2, E pitää ottaa se siirto (B) pois, jotta saadaan oikeat etäisyydet.

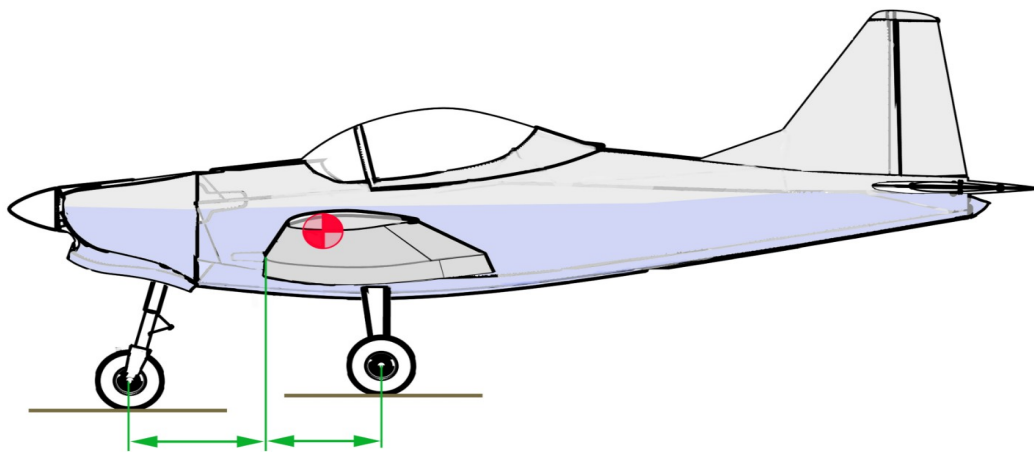
Lopuksi tee arvio mittaus silmällä, näytääkö mitatut arvot ollenkaan järkeviltä?

Nokkapyöräkoneen punnitus

Vaakita kone vaaoille vaakitusasentoon. Tarve voi olla nostaa päätelineitä ylöspäin (kuten kuvassa on). Muista että nosto pitää olla sama molemmiin puolin.

Merkitse perustaso lattiaan. Laudan avulla mittaa päätelineen ja nokkapyörän etäisyys perustasosta.

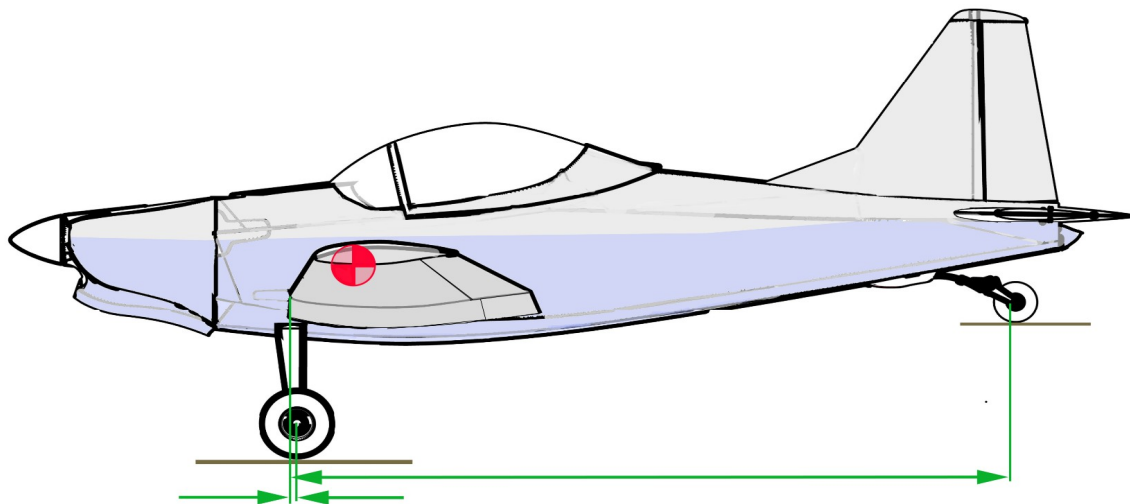
Kirjaa ylös vaakojen lukemat.



Kannuspyöräkoneen punnitus

Vaakita kone vaakille vaakitusasentoon. Kannusta pitää yleensä nostaa aika korkealle. Tähän voit tarvita korkeaa tuolia/pöytää avuksi.

Merkitse perustaso lattiaan. Laudan avulla mittaa päätelineen ja kannuspyörän etäisyys perustasosta. Kirjaa ylös vaakojen lukemat.



Lopuksi

Kun kaikki mitat ja painot on kirjattu ylös, kone otetaan vaaoilta pois. Tarkista vaakojen näyttämät arvot kun niillä ei ole mitään. Jos ei ole nolla, selvitä syy. Tarkoittaa yleensä että joudut punnitsemaan koneen uudestaan. Se on tässä vaiheessa pieni vaiva.

Jos sinulla ei ole oikeita ohjaajan, matkustajan, polttoaineen, matkatavaran momenttivarsia, ne voidaan mitata nyt. Kone pidetään samassa asennossa kuin tyhjän koneen punnituksessa. Yksi kerrallaan haluttu massa jos esim halutaan ohjaajan paikka, ohjaaja astuu koneeseen (ja istuu ihan paikallaan) ja vaakojen lukemat kirjataan. Kone siis punnitaan ohjaajan kanssa. Tuloksista voidaan sitten laskea missä kohtaa ohjaaja oli. Kun ihminen astuu koneeseen on muuten tärkeää että pyörät on tuettu kiiloilla ettei kone liiku. Ja että vaakojen mitta-alueita ei ylitetä.

Punnitse käyttämiesi nostolevyjen massat per tukipiste. Siis ne jotka on mukana mittauksessa. Nämä arvot ovat tukipisteiden ”taaroja”.

Laskelmat

Suorita laskelmat. Esimerkki on nokkapyörätelinekoneelle. Jossa perustaso on siiven niksauksessa etureunassa. Esimerkissä yksiköt ovat kilogramma (kg) ja metri (m). Yksiköt voivat olla mitä vaan, kunhan kaikissa vaiheissa käytetään samoja yksiköitä.

Käytetään merkintöjä:

Vasen pääteline, massa m_v

Oikea pääteline, massa m_o

Nokkatelineen massa m_n

Koneen tyhjämassa (m) on näiden lukemien summa, eli

$$m = m_v + m_o + m_n$$

Yksittäisten tukipisteiden momentit (M) ovat vastaavasti M_o , M_v , M_n .

Etäisyydet (e_v , e_o , e_n) ovat positiivisia perustasosta taaksepäin ja negatiivisia perustasosta eteenpäin. Tässä koneessa on siis myös miinusmerkkisiä etäisyyksiä.

Momentti on massa kertaa etäisyys, eli

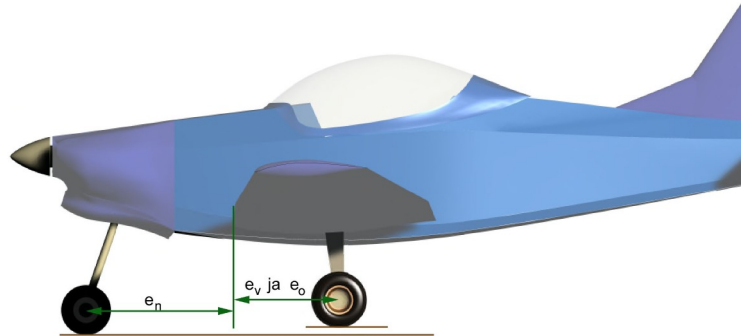
$$M_v = m_v \times e_v$$

$$M_o = m_o \times e_o$$

$$M_n = m_n \times e_n$$

Kokonaismomentti osa kuten massa, osamomenttien summa.

$$M = M_v + M_o + M_n$$



Nyt meillä on kokonaismassa ja kokonaismomentti.

Kokonaismassa paikka on koneen painopiste, ja se saadaan jakamalla momentti massalla

$$e_{pp} = M / m$$

Laskentataulukko tekee nämä silmänräpäyksessä, mutta vaiheittain taulukon tapahtumat menevät seuraavasti. Tässä perussarakkeet ja rivit joita tarvitsen.

tukipiste	Massa tukipisteessä	etäisyys	momentti	painopiste
	[kg]	[m]	[kgm]	[m]
Vasen pääteline				
Oikea pääteline				
nokkapyörä				
yhteensä				

Ensin kirjataan mitatut/luetut arvot taulukkoon.

tukipiste	Massa tukipisteessä	etäisyys	momentti	painopiste
	[kg]	[m]	[kgm]	[m]
Vasen pääteline	108	0,659		
Oikea pääteline	117	0,659		
nokkapyörä	72	-0,949		
yhteensä				

Sitten lasketaan kokonaismassa (eri tukipisteiden osamassa yhteen):

tukipiste	Massa tukipisteessä	etäisyys	momentti	painopiste
	[kg]	[m]	[kgm]	[m]
Vasen pääteline	108	0,659		
Oikea pääteline	117	0,659		
nokkapyörä	72	-0,949		
yhteensä	297			

Sitten lasketaan kunkin osamassan osamomentti (kunkin tukipisteen massa kerrotaan etäisyydellä). Kun positiivinen luku ja negatiivinen luku kerrotaan, tulos on negatiivinen.

tukipiste	Massa tukipisteessä	etäisyys	momentti	painopiste
	[kg]	[m]	[kgm]	[m]
Vasen pääteline	108	× 0,659	= 71,17	
Oikea pääteline	117	× 0,659	= 71,10	
nokkapyörä	72	× -0,949	= -68,33	
yhteensä	297			

Osamomentit lasketaan yhteen.

tukipiste	Massa tukipisteessä	etäisyys	momentti	painopiste
	[kg]	[m]	[kgm]	[m]
Vasen pääteline	108	0,659	71,17	
Oikea pääteline	117	0,659	71,10	
nokkapyörä	72	-0,949	-68,33	
yhteensä	297		79,94	

Kokonaismomentti jaetaan kokonaismassalla, jolloin saadaan painopisteen paikka.

tukipiste	Massa tukipisteessä	etäisyys	momentti	painopiste
	[kg]	[m]	[kgm]	[m]
Vasen pääteline	108	0,659	71,17	
Oikea pääteline	117	0,659	71,10	
nokkapyörä	72	-0,949	-68,33	
yhteensä	297		73,94	0,249

$$\frac{73,94}{297} = 0,249$$

Saadaan kokonaismassa ja sitä vastaava painopiste (etäisyys perustasosta).

Tee silmämääräinen arvio, onko tulokset järkeviä. Jos esim painopiste on kannuskoneella päätelineen etupuoella (nokkapyöräkoneessa päätelineen takapuolella), ja kone ei kippaa nokalleen (kannukselle), tulos ei ole järkevä!

Vertaa lopputulosta edellisen punnituksen tulokseen. Jos tulos muuttunut, sen syy pitäisi olla selviö. Mutta pienet muutokset eivät aiheuta ongelmia. Punnitus ei ole eksaktia tiedettä, kaikissa mittauksissa tulos vaihtelee kerrasta toiseen. Jos saat saman tuloksen kuin edellisellä kerralla, sitä on syytä ihmetellä!

Ohjaajan paikka

Ohjaajan, polttoaineen, matkatavaran yms paikan määrittämiseksi tyhjän koneen punnituksen lisäksi tarvitaan punnitus ko liikkuvan massan kanssa. Esim ohjaajan kanssa.

Tyhjän koneen massa oli siis edellä 297 kg ja momentti 73,94 kgm.

Ohjaajan kanssa tulokseksi oli saatu: kokonaismassa 401 kg ja momentti 160,36 kgm.

Kokonaismassoista saadaan pilootin massa vähennyslaskulla $401 - 297 = 104$ kg.

Kuormatun koneen momentti syntyisi laskemalla (muistele miten kuormauslaskut lentäjänä tehdään) seuraavasti:

$$160,36 = 73,94 + 104 * pp_p$$

joten kaava voidaan järjestellä muotoon

$$160,36 - 73,94 = 104 * pp_p$$

ja edelleen

$$(160,36 - 73,94) / 104 = pp_p$$

joka voidaan laskea ja $pp_p = 0,831$ m.

Samalla tavalla kukin muukin lisämassan sijainti voidaan määrittellä punnitsemalla. Punnitsemalla tulos on aina oikea.

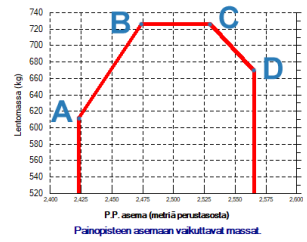
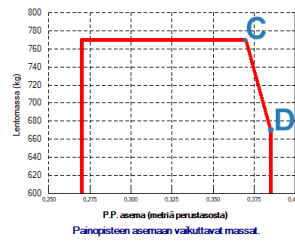
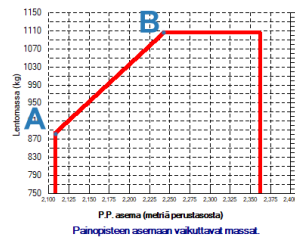
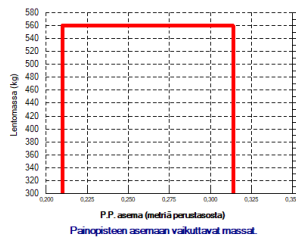
Kuormausohjeet

Moottorikoneilla päällikön on tehtävä kuormauslaskelmat ennen jokaista lentoa, joten minimissään riittää kun tyhjän koneen massa ja painopiste määritellään. Ja kuormattavien massojen momenttivarret on selvillä.

Mutta on useimmiten järkevä määrittellä muutama vakiokuormautapa. Ja jos koneen rajoitukset ovat sellaiset, että raja tulee vastaan, niin määrittele vakiokuormaus tilanne jossa kuormaus hipoo raja-arvoa vaan ei mene yli. Esim että yksin lennettäessä polttoainetta saa olla vain xx litraa.

Periaatteessa koneella kuin koneella, tee jokaisen päällikön peruskoulutuksessa opetettu lentoa edeltävä painolaskelma, ja hae kuormaus, jolla jokin raja-arvo tulee vastaan. Näistä voit sitten koota kuormauslaskun. Erityisesti peräkkäinistuttavassa koneessa tämä on kätevä apu.

HTH sivuilla on painolaskelmatalukot neljälle peruspainopistealueen perusmuodolle. Kantikas, etureunassa vino osa, takareunassa vino osa ja sekä etu- että takarajat vinoilla osilla.



Eksoottisimmalla painopisterajoilla olevan koneen (kuten Piper PA-28-180, Dynamic WT9) laskelmissa on käytettävä enemmän manuaalista tapaa.

Syötä koneen perusmassa, painopisteen paikka, kuormien sijainnit ja max massa yms taulukon keltaisiin soluihin. Sitten eri polttoainekuormilla, kokeilemalla voit hakea kuorman, jolla jokin raja saavutetaan, vaan ei ylitetä. Huomaa että painopisteen pitää pysyä alueella koko lennon ajan, joten myös tankki tyhjänä painopisteen pitää pysyä alueella. Tämä voi olla rajoittava tekijä jos tankki on kaukana painopistealueesta.