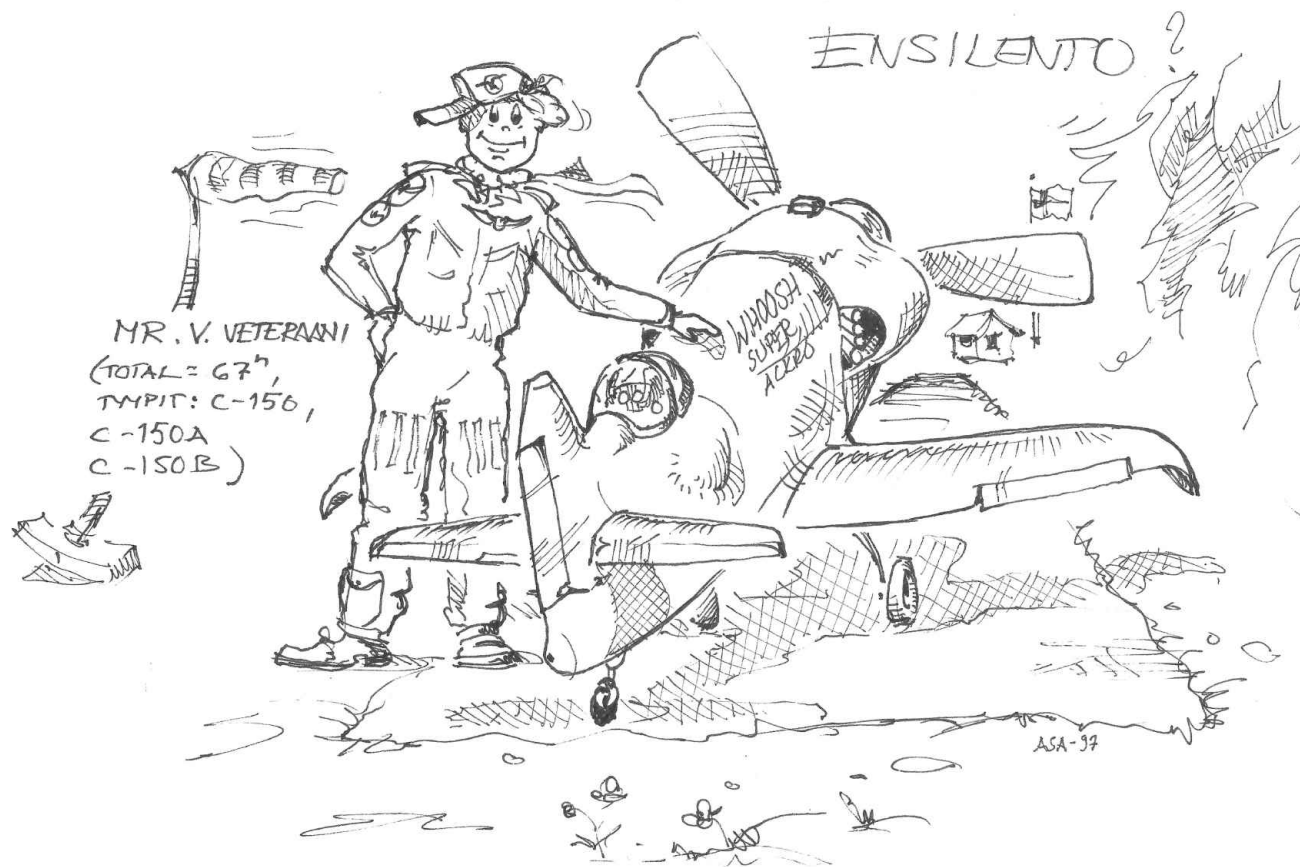


Harrasteilma-alusten koelentäminen



Lähteet:

- 2002 Jyrki Laukkanen & Aki Suokas teksti
- Ari Saarinen
- Flight Test Guide (FTG) for Certification of CS-23 Aeroplanes (CS-23 amd 4)
- FAA Flight Test Guide (AC 25-7C)
- FAA Flight test guide for certification of part 23 airplanes 23-8C
- Amateur-Built Aircraft and Ultralight Flight Testing Handbook (FAA-AC No 90-89C)
https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/1041650
- Additional Pilot Program for Phase I Flight Test (FAA AC 90-116)
www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_90-116.pdf
- "Qualified Pilots" Under FAA AC 90-116
<https://www.lancairowners.com/qualified-pilots-under-faa-ac-90-116>
- Airmen Transition to Experimental or Unfamiliar Airplanes (FAA AC 90-109)
https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/1027806

Muutoshistoria:

HTO-016/23, 19.8.2023, ensijulkaisu

Käyttölisenssi

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



[ok HTH](#)

Sisällysluettelo

1	MIHIN TÄTÄ TARVITAAN?	5
2	KOELENTÄMISESTÄ.....	5
2.1	KOELENTÄJÄN VAATIMUKSIA	5
2.2	KOELENTOTOIMINNAN JAKO.....	6
	Huoltokoelentäminen.....	6
	Tuotantokoelentäminen.....	6
	Tutkimuskoelentäminen	6
2.3	HUOLTOKOELENTÄMINEN.....	7
2.4	TUOTANTOKOELENTÄMINEN	7
2.5	TUTKIMUSKOELENTÄMINEN	8
2.6	VINKKEJÄ KOELENTÄJÄLLE.....	9
2.7	LENTOTURVALLISUUS	9
2.8	LENTOA EDELTÄVÄT TARKASTUKSET.....	10
3	TEORIAA.....	11
3.1	Esipuhe.....	11
3.2	Mittausvirheet	12
3.3	Ilmakehä	13
	SÄÄ	15
4	MAAKOKEILUT	15
4.1	KOEKÄYTÖT JA RULLAUSKOEET	15
5	KOELENTOJEN SUORITUS.....	16
5.1	HUOLTOKOELENTOJEN SUORITUS KÄYTÄNNÖSSÄ	16
5.2	TUOTANTOKOELENTOJEN SUORITUS KÄYTÄNNÖSSÄ.....	16
5.3	SÄÄTÖLENNOT	17
5.4	TUTKIMUSKOELENNOT	17
5.5	JÄRJESTELMÄKOELENNOT	18
5.6	LENTO-OMINAISUUSVAATIMUKSET	18
5.7	OMINAISUUKSIEN ARVIOIMINEN	20
6	ENSILENTO	21
6.1	Valmistelut.....	21
6.2	ENSILENTO	21
7	LENTO-OMINAISUUKSIEN KOELENTÄMINEN.....	23
7.1	LENTOONLÄHTÖ	23
7.2	STAATTINEN PITUUSVAKAVUUS.....	23
	PITUUSVAKAVUUS JA -OHJAUS	24
7.3	DYNAAMINEN PITUUSVAKAVUUS	25
7.4	SIVULUISUN PITUUSVAIKUTUKSET	25
7.5	PITUUSOHJATTAVUUS - SAUVAVOIMA / G	26
7.6	SUUNTA- ELI TUULIVIIRIVAKAVUUS.....	26

7.7	KALLISTUS- ELI V- KULMAVAKAVUUS	27
	Suuntavakavuus	27
	V-kulmavakavuus eli kallistusvakavuus	27
	Dynaaminen poikittaisvakavuus	28
7.8	DYNAAMINEN POIKITTAISVAKAVUUS	29
	DUTCH ROLL - SUUNTA-KALLISTUSHEILAHTELU	29
7.9	SAKKAUSOMINAISUUDET	29
	HIDASLENTO JA SAKKAUKSET	29
	Saukkauksesta oikaisu	29
7.10	LIIKEHTIMINEN JA TAITOLENTO	31
7.11	SYÖKSYKIERRE	31
	KIERTEESEEN JOUTUMINEN	31
	OIKAISU JOUDUTTAESSA TAHATTOMAAN KIERTEESEEN	32
	OIKAISU JO VAKAUTUNEESTA SYÖKSYKIERTEESTÄ	32
	OIKAISU SPIRAALISYÖKSYSTÄ	32
	VAATIMUKSET CS 23 / VLA	32
7.12	LENTOALUE, RAJANOPEUDET JA -KUORMITUSKERTOIMET	33
8	SUORITUSARVOT	33
8.1	Sakkaus	33
	Suoritustekniikka	36
8.2	LENTOONLAHTÖ ja LASKUMATKA	36
	Lentoönlähtömatka	37
8.3	NOUSUKYKY	43
8.4	Kohoamisnopeus	43
8.5	Lakikorkeus	44
8.6	VAAKALENTOSUORITUSARVOT	44
	Moottoriteho	45
	Vaakalentonopeus	45
8.7	LIUKU	46
8.8	PAKKOLASKUKUVIO	47
9	JÄRJESTELMÄ KOKEET	48
9.1	Moottori	48
	Jäähdytys	48
9.2	Staattinen työntövoima	50
9.3	Polttoainejärjestelmän virtaus	51
9.4	Nopeusmittarin kalibrointi	52
	Kalibrointi erillisellä järjestelmällä	53
	Kalibroinnin suoritus rata-ajolla	53
	GPS käyttö	54
9.5	Näkyvyys ohjaamosta	56
10	Erilaisille nopeuksille käytettäviä symboleja	58
11	Yksiköiden muunnoskertoimia	59

1 MIHIN TÄTÄ TARVITAAN?

Tässä keskitytään sellaiseen tilanteeseen, että olet rakentanut itse lentokoneen ja sillä pitäisi alkaa lentämään.

Tai olet ostamassa lentokonetta, ja haluat selvittää onko se kelvollinen ja miten koneella oikeasti voi lentää. Tietenkin samat opit pätevät tyyppihyväksytyyn lentokoneeseen, mutta experimental koneissa (sekä harrastajan rakentamat että tehdasvalmisteiset; sarjat tai ultrat) ominaisuudet voivat olla mitä sattuu. Yleensä siihen huonompaan suuntaan.

Tässä on esitelty myös suorituskyvyn osalta myös numeroarvojen mittaamista ja niiden käsitteilyä. Ilman niitäkin pärjää, mutta jos haluat että tuloksissasi on enemmän tarkkuutta, menetelmät ovat käytettävissä.

2 KOELENTÄMISESTÄ

2.1 KOELENTÄJÄN VAATIMUKSIA

Lähtökohtaisesti lentotaito pitää olla sellainen, että lentäjän ei tarvitse peruslentämisessä miettiä itse perussuoritusta. Ohjaamista ja miten eri asiat (pitäisi) vaikuttaa.

Uuden ja mahdollisesti itse rakennetun koneen lentäminen ei ole oikea aika harjoitella peruslentämistä.

Mutta mitään virallista kelpuutusta ei tarvita! Lupa-kirja määräyksessä kohdassa FCL.820 oleva koelentäjän kelpuutusta ei tarvitse. Se on tarpeen vasta kun koneen lentoonlähde massa on 2000 kg tai enemmän ja silloin kun on tarkoitus tyyppihyväksyä kyseinen lentokone.



Miten itse tehdyn koneen lentämiseen suhtaudutaan USA:ssa? Katso AC 90-89 ja AC 90-109, jotka löytyvät noilla hakusanoilla.

Varsinaisia koelentäjäkursseja pidetään Suomessa vain Ilmavoimissa. Samoin on useissa muissa maissa. Tunnetuimmat koelentokoulut ovat Englannissa (Empire Test Pilot School, ETPS), Ranskassa (EPNER) ja U.S.A:ssa (USAF Test Pilot School ja USN Test Pilot School). Lisäksi yksityisiä siviililentäjille tarkoitettuja koelentokursseja on järjestetty ainakin U.S.A:ssa ja Englannissa.

Tutkimuskoelentäjäksi voi myös kouliintua riittävällä lentokokemuksella ja lentoteorian koulutuksella varustettuna joko työpaikkaopetuksena tai kovalla itseopiskelulla ja asioihin syventymisellä.

Koelentäjän pitää osata erotella eri ominaisuudet ja kertoa mistä ne johtuvat. Eli paino teknisellä koulutuksella ja kokemuksella. Muuten kyse on vain tiimankeräämis lentelemisestä, ilman että siitä on mitään turvallisuushyötyä.

Tällöin saadaan perusteet, joille on helppo rakentaa. Koelentäjä pätevöityy kuitenkin vasta käytännön koelentämisessä saadun riittävän kokemuksen jälkeen.

Tutkimuskoelentäminen voi olla hyvinkin vaihtelevaa. Lento-ominaisuuksien ja suoritusarvojen koelentämisen lisäksi on tekniikan kehittyessä yhä tärkeämmäksi lajiksi tullut järjestelmäkoelentäminen.

Harrasterakenteisten koneiden yhteydessä on tutkimuskoelentämisen pääpaino edelleen lento-ominaisuuksissa ja suoritusarvoissa. Sekä järjestelmien korjaaminen toimiviksi.



2.2 KOELENTOTOIMINNAN JAKO

Huoltokoelentäminen

Tehdään määräaikaishuoltojen, pienten korjausten ja pienten laitevaihtojen jälkeen. Huoltokoelennosta katso myös part-ML GM1 ML.A.301(f) ja NCO.SPEC.MCF.100-.140. Nuo NCO vaatimukset ovat myös Liite 1 koneita koskevia määräyksiä.

- Huoltokoelennolla varmistetaan että kone on huollon jälkeen lentokelpoinen ja että kone toimii samalla tavalla kuin se yleensä pitäisi toimia.
- Huoltokoelento voi olla myös vianetsinnän väline. Joskus kun vika esiintyy vain lennolla!
- Huoltokoelentäjän tulee olla hyvin perehtynyt koneen ominaisuuksiin ja järjestelmiin, jotta voi varmistua niiden normaalista toiminnasta.

Tuotantokoelentäminen

Sarjatuotannossa olevien koneiden lentokelpoisuuden tarkastaminen Suurten korjausten tai suurten modifikaatioiden jälkeiset koelennot

- Ensimmäiset lennot sarjavalmisteisella koneella.
- Ensimmäiset lennot rakennussarjasta tai piirustuksista rakennetulla koneella.
- Ensimmäiset lennot suuremman muutostyön jälkeen.
- Tuotantokoelentäjän tulee olla hyvin perehtynyt kyseiseen konetyyppiin ja sen järjestelmiin.

Hänen tulee myös tuntea koneelle asetetut vaatimukset. Oikeastaan itsestään selvä asia. Ja vaadittavat asia pitää selvittää etukäteen.

Tuotantokoelentäjä tarvitsee myös jonkin verran tietoa koelentämisestä ja lentokoneiden ominaisuuksista yleensäkin.

Lentokokemus samalla tai ainakin samantapaisilla lentokoneilla on ehdoton välttämättömyys turvallisuuden kannalta. Turhan monta lentäjää ja konetta on menetetty kun koneen innokas rakentaja on vähäisellä kokemuksella menettänyt koneen hallinnan heti ensimmäisellä lennolla puuttuvan taidon vuoksi.

Tutkimuskoelentäminen

- Lento-ominaisuuksien, suoritusarvojen ja järjestelmien tutkiminen, kehittäminen ja hyväksyminen sekä evaluointikoelennot.
- Kehitetään ja tutkitaan täysin uutta konetyyppiä.
- Kehitetään uusia järjestelmiä ja huomattavia modifikaatioita.
- Arvioidaan koneen ominaisuuksia tiettyjä tehtäviä varten.

- Tutkitaan ja mitataan koneen ominaisuuksia ja suoritusarvoja ohjekirjoja varten tavallisesti koneen tyyppihyväksyntään liittyen.

Tutkimuskoelentäjälle asetettavat vaatimukset taidon ja tiedon osalta ovat edellisiä laajemmat.

Varsinainen lentokoneen kehitystyö vaatii perusteellista lentoteorian ja koelentomenetelmien tuntemusta.

2.3 HUOLTOKOELENTÄMINEN

Huoltokoelennot suoritetaan eräiden määräaikaishuoltojen jälkeen. Varsinkin jos huollossa on suoritettu laitevaihtoja tai lisäyksiä, on tarpeen varmistaa koelennolla että ne toimivat oikein. Pienissä huolloissa ei koelento ole tarpeen, huoltaja (se joka ottaa vastuun huollon lopullisesta kuittauksesta) määrittelee huoltokoelennon tarpeen. Suuremmissa huolloissa, joissa koneen osia ja laitteita on asennettu/irrotettu, koelento on ehdottoman tarpeellinen.



Huoltokoelento ei kuitenkaan ole vain hurulentämistä sentakia että huoltaja niin edellyttää. Ihan merkittävä määrä vikoja syntyy huollossa! Koelento suoritetaan aina harkituissa olosuhteissa ja varautuneena siihen että häiriöitä ilmaantuu. Lennolla varmistutaan siitä, että kone on huollon jälkeen täysin turvallinen jokapäiväisessä lentotoiminnassa.

Huoltokoelentoista on kaikkia koneita (myös experimental koneita) koskevia määräyksiä. Nämä ovat kokonaisuudessa NCO.SPEC.MCF . Kannattaa myös katsoa mallia huoltokuittauksista part-ML GM1 ML.A.301(f), vaikkei se ole pakollista experimental koneilla.

Lento-ohjelma määräytyy konetyypin vaativuusasteen ja huollon suuruuden mukaan. Jokaiselle koneelle olisi hyvä olla olemassa etukäteen harkittu huoltokoe-lentopöytäkirja, joka samalla toimii ohjeena koelentoa varten. Malli tähän löytyy huolto-ohjelmanpaketista (HTO-003). Tällöin kaikki oleelliset asiat tulisi tarkastettua. Pienissä huolloissa voi esimerkiksi perusteellinen maa-koekäyttö ja laitteiden toimintakokeet olla riittävä toimenpide. Pienten korjausten ja laitevaihtojen jälkeen on aina erikseen syytä harkita koelennon tarvetta. Jos kyseessä ei ole lentoturvallisuuteen vaikuttava asia, voi laitteen toiminnan tarkastaa seuraavan muun lennon yhteydessä.

HUOLTOKOELENTÄJÄN tulee olla hyvin perehtynyt koneen ominaisuuksiin, järjestelmiin ja laitteisiin, jotta voisi luotettavasti varmistua niiden normaalista toiminnasta. Tähän ei varsinaista koelentokoulutusta tarvita vaan hyvä koneen tuntemus, oikea asenne ja riittävä lentotaito ovat pätevyysvaatimukset.

2.4 TUOTANTOKOELENTÄMINEN

Tuotantokoelentämisestä on kyse, kun suoritetaan lentokoneen ensimmäiset lennot

- sarjavalmisteisella koneella
- sarjasta tai valmiista piirustuksista ilman muutoksia rakennetuilla koneilla
- Kun koneeseen on tehty suuren luokan korjaus, joka joltakin osalta vastaa lähes uuden rakentamista
- Kun koneeseen on tehty huomattava muutostyö eli modifikaatio, joka selvästi vaikuttaa koneen ominaisuuksiin, joko lento-ominaisuuksiin tai laitteiden ja järjestelmien toimintaan.

Tuotantokoelento on aina suoritettava. Tyypillisesti tarvitaan jopa useampia kuin yksi lento turvallisen ja halutun toiminnan varmistamiseksi. Olosuhteet on huolellisesti harkittava mahdollisimman turvallisiksi.

TUOTANTOKOELENTÄJÄLLE asetetaan suuremmat vaatimukset kuin huoltokoelentäjälle. Hänen tulee olla myös varsin hyvin perehtynyt kyseiseen konetyyppiin, sen ominaisuuksiin ja järjestelmiin.

Tuotantokoelentäjän tulee myös tuntea konetyypille asetetut vaatimukset ja modifikaatiotapauksissa tulee perehtyä tehtyihin muutostöihin sekä niiden odotettuihin muutoksiin koneen käytössä ja käyttäytymisessä. Jos muutostöiden vaikutus ei ole tiedossa etukäteen, siirrytäänkin tutkimuskoelentämiseen.

Tuotantokoelentäjä tarvitsee jo jonkinmoista tietoa koelentämisestä ja lentokoneiden ominaisuuksista yleensä. Tämän vuoksi myös lentokokemusvaatimus on suurempi kuin huoltokoelentäjälle. Aina ei harrasterakenteisia koneita ensi kertaa lennettäessä ole mahdollista saada koelentäjää, joka on ko. tyyppillä lentänyt aikaisemmin, vaikka se olisikin toivottavaa. Kuitenkin lentokokemus samantapaisilla koneilla on ehdoton välttämättömyys turvallisuuden kannalta.

Turhan monta konetta ja lentäjää on menetetty kun koneen rakentaja on vähäisellä kokemuksella menettänyt koneen hallinnan heti ensimmäisellä koelennolla puuttuvan taidon vuoksi.



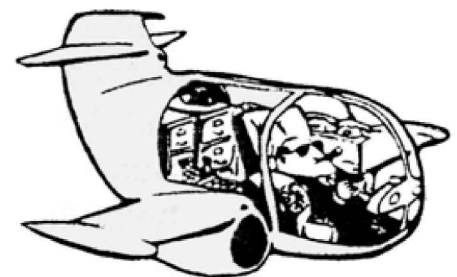
2.5 TUTKIMUSKOELENTÄMINEN

Tutkimuskoelentämisestä on kysymys kun

- Kehitetään täysin uutta lentokonetta
- Kehitetään uusia laitteita ja järjestelmiä
- Tutkitaan uusien modifikaatioiden eli muutostöiden vaikutus koneeseen
- Suoritetaan koneiden ja järjestelmien tyyppihyväksyntää
- Arvioidaan koneiden ominaisuuksia tiettyä tarkoitusta varten eli evaluoidaan konetta
- Tutkitaan ja mitataan uusien koneiden lento-ominaisuuksia ja suoritusarvoja ohjekirjoja varten. Tämä liittyy tavallisesti koneen tyyppihyväksyntään.

Tutkimuskoelentäminen on tarpeen edellä mainituissa tapauksissa. Huolellisesta suunnittelusta ja maakokeista huolimatta lentokone vaatii aina varsinaisia lentokokeita kehitystyössä ja tyyppihyväksynnässä. Kehityskoelentoissa on syytä varautua täysin yllättäväänkin käyttäytymiseen. Kehittyneistä suunnittelumenetelmistä huolimatta saadaan lentokone ominaisuuksiltaan halutuksi vain lentokokeiden perusteella tehdyn kehitystyön tuloksena.

TUTKIMUSKOELENTÄJÄLLE asetettavat vaatimukset ovat yleensä korkeat. Pienimuotoisessa laitteiden kehittämisessä voidaan pärjätä pienelläkin lentokokemuksella, kun vain ko. laitteen ominaisuuksiin ja kehitystyön yksityiskohtiin on hyvin paneuduttu. Varsinainen uuden lentokoneen kehitystyö vaatii koelentäjältä kuitenkin jo melko



perusteellista lentokokemusta, koelentokoulutusta, tekniikan ja lentoteorian tuntemusta. Ilman lento-ominaisuuksien koelentomenetelmien tuntemista voi havaintojen tekeminen luotettavasti ja keskustelu kehitystyötä tekevien insinöörien kanssa olla mahdotonta.

2.6 VINKKEJÄ KOELENTÄJÄLLE

Koelennolla et tee mitään sellaista, mitä et ole muilla koneilla opiskellut tekemään!

- Valmistaudu hyvin lentotehtävään tutustumalla asiaan ja koneeseen
- Uudella (Oudolla) tyypillä lentäessäsi (näitäkin tilanteita tulee), muista koneluokkien aiheuttamat erot
 - nokkapyörä / kannuspyörä
 - kevyt/ raskas kone
 - yksimoottorikone / monimoottorikone
 - hidas/ nopea kone

Hanki riittävästi kokemusta ainakin saman luokan koneelle jos ao tyypillä ei ole mahdollisuutta ennakkolta lentää.

- LENNÄ VAIN KAIKIN PUOLIN HYVISSÄ ULKOISISSA OLOSUHTEISSA
- VARAUDU AINA PAHIMMAN MAHDOLLISEN HÄIRIÖN VARALLE PAHIMMASSA MAHDOLLISESSA PAIKASSA JA PAHIMMASSA HETKELLÄ (Murphy)

2.7 LENTOTURVALLISUUS

Kaikessa koelentotoiminnassa on muistettava perussääntö:

EI KAKSINKERTAISIA RISKEJÄ

Koelennolla on aina normaaliin lentämiseen verrattuna sen luonteesta johtuva riskitekijä.

Turhia eli kaksinkertaisia riskejä aiheuttaa mikä tahansa seuraavista tekijöistä jo yksinään:

- Tehtäväänsä pätemätön henkilöstö suorittanut huolto- ja/tai kokoonpanotyöt
- Lentoa edeltävä tarkastus suoritettu huolimattomasti tai epäpätevän henkilöstön toimesta
- Koelentäjä ei ole tehtävään tarpeeksi pätevä eikä suoritukseen paneutunut
- Koelentäjän psyykinen ja fyysinen kunto ei ole hyvä
- Sää on koelentotehtävään sopimaton, tuuli on kova ja sivusta, näkyvyys huono (ei horisonttia) ja pilvikorkeus matalalla
- Lentokenttä on liian pieni häiriötilanteita varten
- Minkäänlaista seurantaa tai valvontaa ei ole maassa hätätilanteita varten
- Mahdollisiin hätätilanteisiin ei ole lainkaan varauduttu , esim. mahdollisuus koneesta poistumiseen laskuvarjolla
- Turhana pidettyjä lupa- ja paperisotaa ei ole hoidettu

Koelentoriskien kuvaamiseksi seuraava vertailu:

- + Lentämistä sinänsä ei voi pitää pahempana riskinä kuin autoilua.
- ⊙ Koelento tavallisesti edustaa samantapaista riskiä kuin tuntevan suurella ylinopeudella autoilu.
- ☞ Tällaisessa tilanteessa tyypillistä tuplariskiä edustaa lujaa ajaminen vesisateella.
- ☞☞ kolminkertaista riskiä edustaa lujaa ajaminen vesisateella sileillä renkailla. jne.



ÄLÄ KOSKAAN OTA KAKSINKERTAISTA RISKIÄ

For safe flight:

- KOELENNOLE EI OLE MITÄÄN KIIRETTÄ
- LOPPUTARKASTUS JA LENTOA EDELTÄVÄ TARKASTUS ON SUORITETTU HUOLELLISESTI
- KOELENTÄJÄ ON TEHTÄVÄÄN PÄTEVÄ JA HYVÄSSÄ VIREESSÄ
- SÄÄ ON ERINOMAINEN JA TUULI HEIKKO
- KENTTÄ ON ERINOMAISEN SUURI KONEELLE
- HÄIRIÖIHIN ON HYVIN VARAUDUTTU JA VALVOJAAN ON JOPA RADIOYHTEYS



2.8 LENTOA EDELTÄVÄT TARKASTUKSET

Erityisesti korostetaan valmistelevien töiden tärkeyttä:

Lentoa edeltävä huolellinen maataarkastus, maakoikeilu ja koekäyttö paljastaa erinomaisen monta vikaa jo ennen ilmaan nousua. Maakoikeiden merkitystä ei voi yliarvioida.

Tee selvä ja harkittu koelentosuunnitelma tehtävistä kokeista, kutakin lentoa varten. Noudata sitä. Improvisointi voi johtaa harkitsemattomiin tekoihin ja huonoon lopputulokseen.

Jokaista koelentoa tulee edeltää riittävän perinpohjainen tarkastus, jonka laajuus riippuu huollon, korjaustyön, muutostyön tai rakennusvaiheen suuruudesta.

Tarkastuksessa on oleellista, että sen suorittaa tehtävänsä varmasti perehtynyt henkilö.

Hänen tulee tuntea kone niin hyvin, että käytettävien tarkastusmenetelmien puitteissa kykenee varmistumaan siitä, että kone tältä osin on täysin lentokelpoinen. Pieniä puutteita, jotka eivät vaikuta lentämisen turvallisuuteen, voidaan kuitenkin hyväksyä. Esimerkkejä tällaisista ovat laitteet, jotka eivät turvallisuuden kannalta ole tarpeellisia, vaan ovat tyypillisesti lisävarustusta.



Ennen koelentoa tulee tarkastuksista vastuussa olevan henkilön kuitata kone lentokelpoiseksi koelentoa varten. Edellä mainitut puutteet tulee kirjata tarkastuspöytäkirjaan.

Jotta tarkastukset tulisi varmasti tehdyksi kaikilta osin, on hyvä käytäntö käyttää varta vasten tehtyjä tarkastuslistoja, joihin tehty toimenpide voidaan kuitata ja koko paperi sitten kuitata.

Koneen tarkastuspöytäkirja on tarpeen nimenomaan huolto- ja tuotantokoelentämisessä, jossa kone on ollut ennen lentoja enemmän tai vähemmän alkutekijöissään.

Tutkimuskoelennot suoritetaan yleensä jo lentotoiminnassa olevalla koneella, johon tavallisesti riittää normaali lentoa edeltävä tarkastus.

Kaikissa tapauksissa tulee koelentäjän suorittaa normaali ohjekirjan mukainen tarkastus ennen lentoa ja koelentotoiminnassa AINA ENNEN JOKAISTA LENTOA. Lentoa edeltävä ohjaajan tarkastus kattaa koneen ulkoisen tarkastamisen ja tarkastukset ohjaamossa ennen käynnistystä.

Huolto- ja tuotantokoelentämisessä tulee koneen tekniikkaan perehtyneen tarkastuksista vastaavan tarkastaa seuraavat kohteet koneesta:

- Rakenne
- Ohjausjärjestelmät
- Voimalaite
- Polttoainejärjestelmä
- Sähköjärjestelmä ja radiolaitteet
- Mittarit ja pitotstaattinen järjestelmä
- Laskuteline ja jarrut
- Koneen rajoituskilvet ja mittarimerkinnot
- Punnitus ja painopiste
- Luvat

Voimalaitteen ja useimpien järjestelmien tarkastaminen ennen koelennolle lähtöä edellyttää virtojen kytkemistä koneeseen ja koekäyttöä.

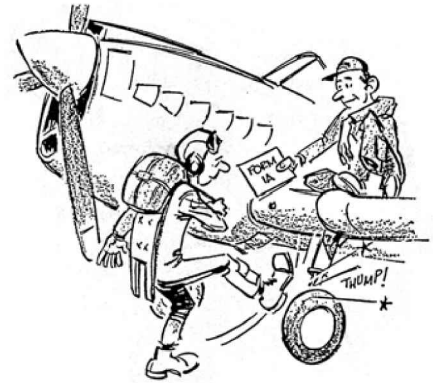
3 TEORIAA

3.1 Esipuhe

Ennemmin tai myöhemmin uuden lentokoneen elämässä omistajalla syntyy halu tietää miten kone toimii. Syntyy epäsuora tarve, esimerkiksi riittääkö toimintamatka johonkin lentoon. Tai toiminnan turvallisuus voi vaatia tietoa, esimerkiksi mikä on oikea syöksykierteen oikaisutapa tai mikä on turvallisin lähestymisnopeus laskua varten. Perustarve koelentoihin on tietenkin uuden experimentalkoneen pakolliset koelennot tai muutostyön jälkeiset koelennot.

Vaikka sinulla olisi tehdasvalmisteinen lentokone, se on (usein) vanha ja kulunut. Suoritusarvot eivät enään vastaa sitä mitä käsikirja sanoo. Voi olla mielenkiintoista, ja hyödyllistä, selvittää todelliset suoritusarvot koneen nykytilanteessa.

Tarvitaan koelentämistä. Koelunnoilla tutkitaan koneen ominaisuuksia, joko ohjaus ominaisuuksia, järjestelmiä tai suoritusarvoja. Tämän kirjoituksen aihe on vain ja ainoastaan suoritusarvot.



Lähestymistapa aiheeseen yrittää huomioida tavallisen harrastajan mahdollisuudet ja käytössä olevat välineet.

3.2 Mittausvirheet

Kun mitä tahansa reaalimaailman asiaa mitataan, tulokset eivät ole tarkkaan oikeita vaan niissä on aina jonkin suuruinen virhe. Virheen aiheuttaa mittausjärjestelyn epätarkkuus tai mitattavan asian vaihtelut. Esimerkiksi lentonopeutta mitattaessa mittarin sisäiset virheet (kalibrointi) aiheuttavat suoria lukuvirheitä mittarin näyttöön, staattisen paineen aukon huono sijainti aiheuttaa mittarijärjestelmälle paikkavirhettä jne. Ja vaikka lentäjä yrittää lentää vakionopeudella ei lentokorkeus pysy vakiona, kone liikkuu tai nousee, ilmakehän liikkeet aiheuttavat vastaavan ilmiön, moottorin tehoon vaikuttavat monet asiat, esimerkiksi polttoaineen lämpötila jne. Lentonopeuteen vaikuttaa miten tätä vakionopeutta on lähestytty, suuremmasta nopeudesta vai pienemmästä.

Kaikki lentomittaukset ovat luonteeltaan hyvin suuressa määrin tilastollisia mittaustapahtumia. Todella harvoin päästään edes mittaamaan halutuissa ulkoisissa olosuhteissa. Lentokoneen liike ilmassa on hyvin monimutkainen asia, eikä kaikkia asioita pystytä vakioimaan.

Pitää siten lähteä siitä, että mittauksissa on aina virheitä. Nämä virheet voidaan tavallaan hävittää suorittamalla sama mittaus useampaan kertaan (muutenkin suositeltava tapa) ja soveltaa tuloksiin tilastollisia menetelmiä. Asiasta on eduksi, jos tuntee miten sen pitäisi muuttua eri tilanteissa. Esimerkiksi jos teoriassa vaakalentonopeus suurenee kun moottoritehoa kasvatetaan, niin sama trendi pitäisi näkyä myös mitatessa vaakalentonopeutta. Jos mittaus näyttää että tehon kasvaessa nopeus laskee, silloin on helppo tiedostaa, että mittaukseen on jokin muu asia vaikuttanut enemmän kuin pelkkä tehon kasvaminen.

Kun ymmärtää, miten tuloksen pitäisi muuttua, pystyy mittauksen järjestämään siten, että tarvittavan muuttujan mittaus onnistuu.

On asioita, jotka pystytään mittaamaan suoraan (muuttujia vain yksi) ja sitten asioita, jotka saadaan jonkun toisen muuttuvan tekijän kautta selville.

Esimerkiksi painopisteen mittaus mittaa vain yhtä asiaa. Tai on siinäkin useampi mitattava asia, jotka vaikuttaa tulokseen.

Ja sitten asioita, joihin pääsee vain toista asiaa muuntelemalla käsiksi. Esimerkiksi paras kohoamisnopeus, jonka selvittäminen on helpoin mittaamalla kohoaminen useammalla lentonopeudella. Ja selvittämällä näistä tuloksista, ensin mikä on parhaan kohoamisnopeuden lentonopeus ja siitä sitten paras kohoamisnopeus.

Yhden asian mittauksissa matemaattinen menetelmä on keskiarvon laskeminen. Keskiarvoa EI saa pitää asian oikeana arvona, vaan arviona oikeasta arvosta jolla on tietty todennäköisyys.

Keskiarvon oikeellisuudesta antaa arvion keskihajonta. Termit ovat:

keskiarvo = mean value, average

keskihajonta = standard deviation

Taulukkolaskimella (MS Excel, LibreOffice Calc) ne löytyvät samoilla nimillä. Keskihajonta antaa vaihteluvälin, jolla todellinen tulos on tietyllä todennäköisyydellä.

Esimerkiksi mittaukset jostain asiasta. Sarakkeessa vasemmalla on mitatut arvot, keskellä on keskiarvo ja oikeassa sarakkeessa keskihajonta.

Mitatut arvot	keskiarvo	keskihajonta
90, 110	100	14,14

90, 100, 110	100	10,00
90 95 100 105 110	100	7,91
90 99 100 101 110	100	7,11
90 92 100 108 110	100	9,06
70 99 100 101 102	94,4	13,69
99 100 101 102	100,5	1,29

Toiseksi alimmassa sarjassa ensimmäinen mittaus (70) on 24,4 yksikköä pienempi kuin keskiarvo. Ja kun mittaussarjan keskihajonta on 13,69, on ilmeistä että siinä on jokin satunnainen virhe. Kaikki muut arvot ovat suurempia kuin keskiarvo! Mikä on sekin huono merkki.

Kun se jätetään pois (alin sarja), niin keskihajonta laskee oleellisesti, ja tulokset ovat noin keskihajonnan sisällä.

Sopiva mittausmäärä keskiarvon mittaamiseen on vähintään viisi (5) mittausta samasta asiasta. Selvät munaukset näiden päälle. Mittaustuloksista pitää aina tarkistaa ja poistaa selvästi poikkeavat arvot (enemmän kuin kaksi-kolme keskihajontaa keskiarvosta), koska näissä on todennäköisesti tehty jotain hassusti tai jokin ulkoinen satunnainen tekijä on ollut vaikuttamassa.

Kun on saatu vähintään viisi kunnollista arvoa on oikea arvo alueella keskiarvo mittaustuloksista $\pm$ keskihajonta 95% todennäköisyydellä. Jos tästä mittauksesta kirjataan jokin käsikirja-arvo voi näitä raja-arvoja käyttää ohjeellisina arvoina sen mukaan miten asia vaikuttaa. Esimerkiksi;

Polttoaineen kulutus = keskiarvo + keskihajonta

Tehoa vastaava nopeus = keskiarvo - keskihajonta

Lentoonlähtömatka = keskiarvo + keskihajonta

Lakikorkeus = keskiarvo - keskihajonta

ja siihentyyliin, aina sen mukaan mikä on turvalliseen suuntaan.

3.3 Ilmakehä

Lentokoneen omien ominaisuuksien lisäksi ilmakehän ominaisuudet vaikuttavat paljon lentokoneen suoritusarvoihin. Siis muutama sananen ilmakehästä. Sääopissa kerrottiin eri ilmakehän osista. Pienkoneilla kaikki operointi tapahtuu ilmakehän alimmassa osassa, troposfäärissä, siis käsittelemme vain sitä.

Ilmakehän ominaisuuksista helposti mitattavia suureita ovat lämpötila ja paine. Lentokoneen ominaisuuksiin vaikuttaa kuitenkin lähinnä ilman tiheys. Ilman tiheyttä ei voi kovin helposti suoraan mitata. Se on kuitenkin helppo laskea paineesta ja lämpötilasta.

Standardi-ilmakehäksi kutsutaan erästä sovittua mallia ilmakehästä, joka ei koskaan sellaisenaan esiinny luonnossa. Useimmat lentokoneen mittarit on kuitenkin pyritty kalibroimaan näyttämään oikein tässä standardi-ilmakehässä.

Kerrataan vielä standardi-ilmakehän ominaisuudet;

Merenpinnan tasalla (korkeudella 0):

- lämpötila 15 astetta C
- paine 1013,25 hPa
- tiheys 1,225 kg/m³

- lämpötila pienenee 0,0065 astetta per metri ylöspäin mentäessä
- Ilma on täysin kuivaa.

Standardi-ilmakehän tärkeimmät ominaisuudet on seuraavassa laskettu alakorkeuksiin liitteen ohjelmalla.

Korkeus	Lämpötila [°C]	Tiheys [kg/m³]	Tiheyssuhde	Paine [Pa]
-300.0 m	+17.0	1.2607	1.02912	104981.2
-200.0 m	+16.3	1.2487	1.01934	103750.8
-100.0 m	+15.7	1.2368	1.00964	102532.1
0.0 m	+15.0	1.2250	1.00000	101325.0
+100.0 m	+14.3	1.2133	0.99043	100129.4
+200.0 m	+13.7	1.2017	0.98094	98945.3
+300.0 m	+13.0	1.1901	0.97151	97772.6
+400.0 m	+12.4	1.1786	0.96216	96611.1
+500.0 m	+11.7	1.1673	0.95287	95460.8
+600.0 m	+11.1	1.1560	0.94365	94321.7
+800.0 m	+9.8	1.1336	0.92542	92076.4
+1000.0 m	+8.5	1.1116	0.90746	89874.6
+1200.0 m	+7.2	1.0900	0.88977	87715.6
+1300.0 m	+6.5	1.0793	0.88102	86651.9

Tiheyden määrittäminen käy seuraavasti; määritetään ilman paine ja lämpötila, näistä saadaan laskettua tiheyskorkeus (ja tiheys).

Koska korkeusmittarikin on sellainen, että se on säädetty näyttämään 'oikein' standardi-ilmakehässä voidaan siitä lukea ns painekorkeus, kun mittarin asetus on 1013,25 hPa. Paine korkeus on sellainen korkeus (standardi-ilmakehässä) jossa paine olisi sama kuin senhetkessä todellisessa korkeudessa. Korkeusmittari mittaa painetta koneen staattisessa järjestelmässä, eli sen näyttämä on väärä, jos staattinen järjestelmä on huono. Korkeuden muutos paineen muuttuessa on onneksi varsin epäherkkä. Yksi millibaari on merenpinnan tasalla noin 8 metriä korkeudessa. Siis jos staattisen paineen järjestelmän virhe on 1 millibaari, näyttää korkeusmittari 8 metriä väärin (aika vähän), nopeusmittarissa vastaava staattisen paineen virhe vastaa jo esimerkiksi 120 km/h nopeudella 9 km/h virhettä (aika paljon).

Lämpötilan mittaus on suoritettava patopisteestä. Jos mittari on sellainen tavallinen lentokone lämpömittari on tämä ehto varsin hyvin täytetty. Muunlaista mittaria käytettäessä on huolehdittava siitä, että ilma ei virtaa liian suurella nopeudella anturin yli. Anturilla on oltava kuitenkin riittävästi tuuletusta. Nopeus vaikuttaa patopisteen lämpötilaan, mutta sen vaikutus on olematon alle 300 km/h nopeuksilla.

Tarkkaan laskettaessa voidaan mittarilukema korjata seuraavasti;

$$\frac{T_{ic}}{T_a} = 1 + k \times \frac{Ma^2}{5}$$

jossa

T_{ic} on mittarilämpötila korjattuna mittarin sisäisellä virheellä

T_a on ympäröivän ilman staattinen lämpötila

Ma on Machin luku
k on lämpötila-anturin kerroin

Kertoimen k arvo riippuu asennuksesta ollen välillä 0,6 .. 1,0. Ihanteellinen arvo olisi 1. Jeppe-
senin kakkarassa tämä kerroin esiintyy tosinopeutta laskettaessa. Näin saaduista painekorkeudesta
ja ilman lämpötilasta voidaan tiheyskorkeus laskea kakkaralla, taulukosta tai laskimella. Kakara
on koelentotarkoituksiin turhan epätarkka, asteikko on minimaalisen pieni, parempi on käyttää
taulukkoa taikka laskinta. Taulukko löytyy usean tyyppihyväksytyn lentokoneen lentokäsikirjasta.
Laskimen käyttö (ohjelmoitavan tai ns ilmailulaskimen) on kuitenkin mielekkäintä. Tämän prujun
liitteessä on tähän tarvittava ohjelma / laskentakaava.

SÄÄ

Koelentotoiminnassa sään pitää olla hyvä. Ja hyvä sää ei ole vain VFR-minimit täyttävä, vaan;

- Tuulen nopeus ei saa olla suuri (paitsi lennoilla, jossa katsotaan miten tuulisella säällä lennetään)
- Pystysuuntaista virtausta ei saa olla häiritsevästi.

Useimmat mittaukset vaativat lentotilan ylläpitoa pitkähkön ajan. Tämä ei onnistu, jos ilma-
kehässä esiintyy liikehdintää. Joko tuulen aiheuttamaa turbulentsuutta tai konvektiovirtauksia
(siis cumuluspilviin liittyvää). Toiset mittaukset onnistuvat vain, jos lennon aikana korkeutta
päästään muuttamaan (paljon). Siis pilvien alarajan on oltava riittävä.

Sopiva sää on siis kunnolla CAVOKia plus termiikkiä ei saisi olla. Ja tuulen ei saisi olla yli 10
solmua. Paras hetki mittauksiin on yleensä aamulla varhain, ennenkuin aurinko lämmittää maan
tai myöhään illalla auringon ollessa matalalla. Jos suuri korkeus ei haittaa mittauksia, voi termiik-
kipäivänä pilvien päällä olla sopivan rauhallista.

4 MAAKOEILUT

4.1 KOEKÄYTÖT JA RULLAUSKOEKEET

Maatarkastusten jälkeen ja vastaavan henkilön kuitattua
koneen valmiiksi koelentoja varten, tulee suorittaa lopulliset
koekäytöt sekä rullauskokeet.

Nämä suorittaa koneen koelentäjä ennen varsinaista ensi-
lentoa. Samalla hän tutustuu koneeseen ja sen järjestelmien
käyttöön, mikäli lentäjä ei ole ko tyypillä ennen lentänyt.
Kuten aiemmin mainittiin olisi toivottavaa, että koelentäjä
tuotantokoelennolla olisi jo aikaisemmin lentänyt koneella.
Vielä mitä enemmän sen parempi.

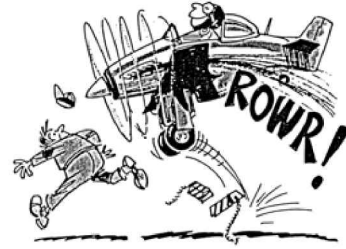
Hyvä koelentäjä pystyy kyllä lentämään oudolla/uudellakin tyypillä riittävän valmistautumisen
ja varovaisuuden kanssa.



Samantapaisella koneella saatu lentokokemus on kuitenkin vähintäänkin suositeltavaa. Tarkoitushan ei ole oppia lentämään koneella vaan tutkia, onko kone kunnossa ja sellainen, kuin sen tulisi olla.

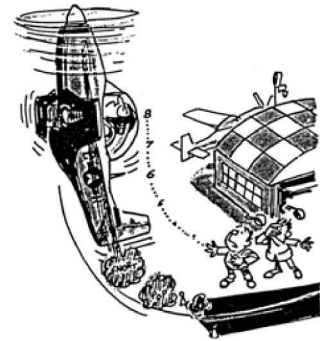
Koekäytöissä ja rullauskokeissa tutkitaan:

- MOOTTORIN TOIMINTA
- POLTTOAINEJÄRJESTELMÄN TOIMINTA
- SÄHKÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA
- MITTARIEN TOIMINTA
- HÄKÄMITTAUS TARPEEN MUKAAN



Rullauskokeet tulee suorittaa hyvissä olosuhteissa. Jo näiden aikana tulisi käyttää kokeita seuraavaa valvojaa, joka antaa apua tarvittaessa.

- OHJAUS MAASSA
- JARRUJEN TOIMINTA
- KÄYTTÄYTYMINEN RULLAUKSESSA
- TEHON KÄYTTÖ
- MAAKIITOJA AINA IRTOAMISNOPEUDELLE ASTI, MIKÄLI KONE OSOITTAUTUU KAIKIN PUOLIN HALLITTAVAKSI



5 KOELENTOJEN SUORITUS

5.1 HUOLTOKOELENTOJEN SUORITUS KÄYTÄNNÖSSÄ

Ainoa järkevä tapa suorittaa huoltokoelento, on lentää se ennalta konetyypin varten suunnitellun ja tehdyn koelento-ohjeen mukaan. Koelento-ohjeena käytetään yksinkertaisissa koneissa koelentopöytä

Lennolla edetään koelentopöytäkirjan kohtien mukaan, jotka on suunniteltu siten, että lento on profiililtaan joustavasti lennettävissä. Koelentopöytäkirjaan on syytä merkitä tärkeimmät numeroarvoja koskevat vaatimukset. Niiden ulkoa muistaminen on vaikeata ilman kovaa rutiinia.

HTH huolto-ohjelmapaketissa on malli huoltokoelentopöytäkirjasta.

Lennolla pöytäkirjaan merkitään joko x tai numero-arvo, milloin se katsotaan tarpeelliseksi. Vian ilmetessä ao kohtaan merkitään huomautuksen numero ja huomautukset kirjoitetaan lennon jälkeen pöytäkirjan kääntöpuolelle, josta ne voidaan korjauksen jälkeen myös kuitata poistetuiksi.



5.2 TUOTANTOKOELENTOJEN SUORITUS KÄYTÄNNÖSSÄ

Uuden valmistuneen harrasterakenteisen ilma-aluksen ensi lennot vastaavat joka suhteessa tehtaissa sarjavalmistettujen koneiden lentoja. Mittakaava vain on yleensä pienempi riippuen koneen monimutkaisuudesta.

Tehtailla on aina valmis tuotantokoelento-ohje ja sitä vastaavat pöytäkirjat, joiden mukaan tuotantokoelennot lennetään. Harrasterakenteista ilma-alusta varten on syytä tehdä myös etukäteen suunniteltu koelento-ohjeena toimiva pöytäkirja. Tähän voidaan numeeriset vaatimukset kirjata valmiiksi arvojen muistamisen helpottamiseksi samaan tapaan kuin huoltokoelennolla tehdään. Paljon rakennetuista koneista saattaa olla jo valmis koelento-ohje ja -pöytäkirja saatavissa. Jos ei ole, sen laatiminen on hyödyllistä, koska silloin tulee harkituksi mitä lennetään ja mitkä ovat vaatimukset.

5.3 SÄÄTÖLENNOT

Ensilennon jälkeen tehtyjen säätöjen, muutosten ja korjausten jälkeen jatketaan koelentoja ohjelman mukaan, kunnes koneen normaalista toiminnasta on varmistuttu. Sarjasta tehdyllä koneella on vaatimukset saatavilla ja koelento-ohjelman tulee kattaa näiden tarkastaminen.

Jos kyseessä on sarjavalmisteen ja sarjasta rakennettu kone, se on säätölennojen jälkeen valmis lentokäyttöön.

Jatkolennoilla voi tietenkin vielä varmistaa, että kone vastaa suoritusarvoiltaan ja lento-ominaisuuksiltaan ohjekirjan arvoja. Kun kyseessä on täysin uusi konetyyppi, seuraa ensilennon ja säätölennojen jälkeen sarja tutkimuskoelentoja, joiden aikana konetyypin todennäköisesti joudutaan kehittämään lento-ominaisuuksiltaan ja järjestelmien toiminnan osalta. Lopuksi on selvitettävä täysin sen lento-ominaisuudet ja suoritusarvot tehtävää ohjekirjaa varten. Tällöin siirrytäänkin tutkimuskoelentojen alueelle, jossa vaatimukset lentäjän ammattitaidosta kasvavat tuntuvasti.



*Usealla exp koneella säätöihin kuluu helposti se 45 tunnin minimi.
Mutta se ei tarkoita että ne varsinaiset koelennot voi jättää tekemättä*

5.4 TUTKIMUSKOELENNOT

Uuden konetyypin ollessa kyseessä tutkimuskoelennolla on koneen kehittelyn vuoksi ja ohjekirjassa tarvittavia tietoja varten selvitettävä

- A. JÄRJESTELMIEN TOIMINTA
- B. LENTO-OMINAISUUDET
- C. SUORITUSARVOT

Kaikissa tapauksissa on aina hyvä tehdä koelentosuunnitelma ja valmiit koelentopöytäkirjat, jotka lennolla täytetään, raportoidaan havainnot maahan ja jotka samalla toimivat lennon muistilistoina. Näin tulee aina harkituksi mitä lennolla tehdään ja riskit pienenevät.

5.5 JÄRJESTELMÄKOELENNOT

Mitä monimutkaisempi (sophisticated) kone on sitä tärkeämpi osuus on järjestelmäkoelentämisellä.

Kuitenkin koneella kuin koneella purjelentokoneita lukuun ottamatta on moottorin ja polttoainejärjestelmän kokeilla aina erittäin suuri merkitys nimenomaan lentoturvallisuuden kannalta, joten niihin on kiinnitettävä erityistä huomiota muuten yksinkertaisissakin ilma-aluksissa.

MOOTTORIKOELENNOT

- Nousu
- Vaakalento
- Liikehtiminen
- Liuku
- Käynti
- Lämmöt
- Paineet
- Potkurin toiminta
- Ilmassa käynnistys

PITOTSTAATTINEN JÄRJESTELMÄ

- Nopeus- ja korkeusmittarin paikkavirheet
- Staattisen paineen varajärjestelmä
 - Vertailulentokone
 - Rata-ajo
 - Laahusmittaus

SÄHKÖJÄRJESTELMÄ JA MITTARIT SEKÄ RADIOT

- Virransyöttö
- Radiot
- Suunnistuslaitteet

POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ

- Nousu
- Vaakalento
- Liikehtiminen
- Liuku
- Polttoaineen syöttö
- Määrämittari
- Ylivuoto

LENTO-OMINAISUUDET

5.6 LENTO-OMINAISUUSVAATIMUKSET

Vaatimukset lento-ominaisuuksista on esitetty eri lentokelpoisuusnormeissa. Tunnetuimmat on U.S.A:n FAR Part 23: Airworthiness Standards: Normal, Utility and Acrobatic Category Airplanes ja Eurooppalaiset CS-23. Nämä ovat käytännössä identiset.

ASMT F2245 ja sitä yksinkertaisemmat ultravaatimukset (HTN-001, DS10141E, CAP 482, LTF-UL jne) perustuvat yleensä noihin vaativimpiin. Asioita jätetty pois tai annettu yksinkertaisempia kriteereitä samalla asialle.

Ilmailuhallitus on Suomessa julkaissut tähän perustuvat lento-kelpoisuus-vaatimukset. (24.11.1980) suomeksi. Ne on senaikaisen tason mukaiset, mutta niiden liiteosissa on edelleen hyviä ohjeita. Muun muassa flutterin välttämisestä.

Sotilasviranomaisilla on vielä omat lentokelpoisuusvaatimuksensa, jotka ymmärrettävästi poikkeavat siviilivaatimuksista jo koneiden erilaisen luokituksen (hävittäjät, pommikoneet jne) ja koneiden käyttötarkoituksen vuoksi. Tunnetuin näistä normistoista on U.S.A:n MIL-F-8785C, Military Specification : Flying Qualities of Piloted Aeroplanes.

5.7 OMINAISUUKSIEN ARVIOIMINEN

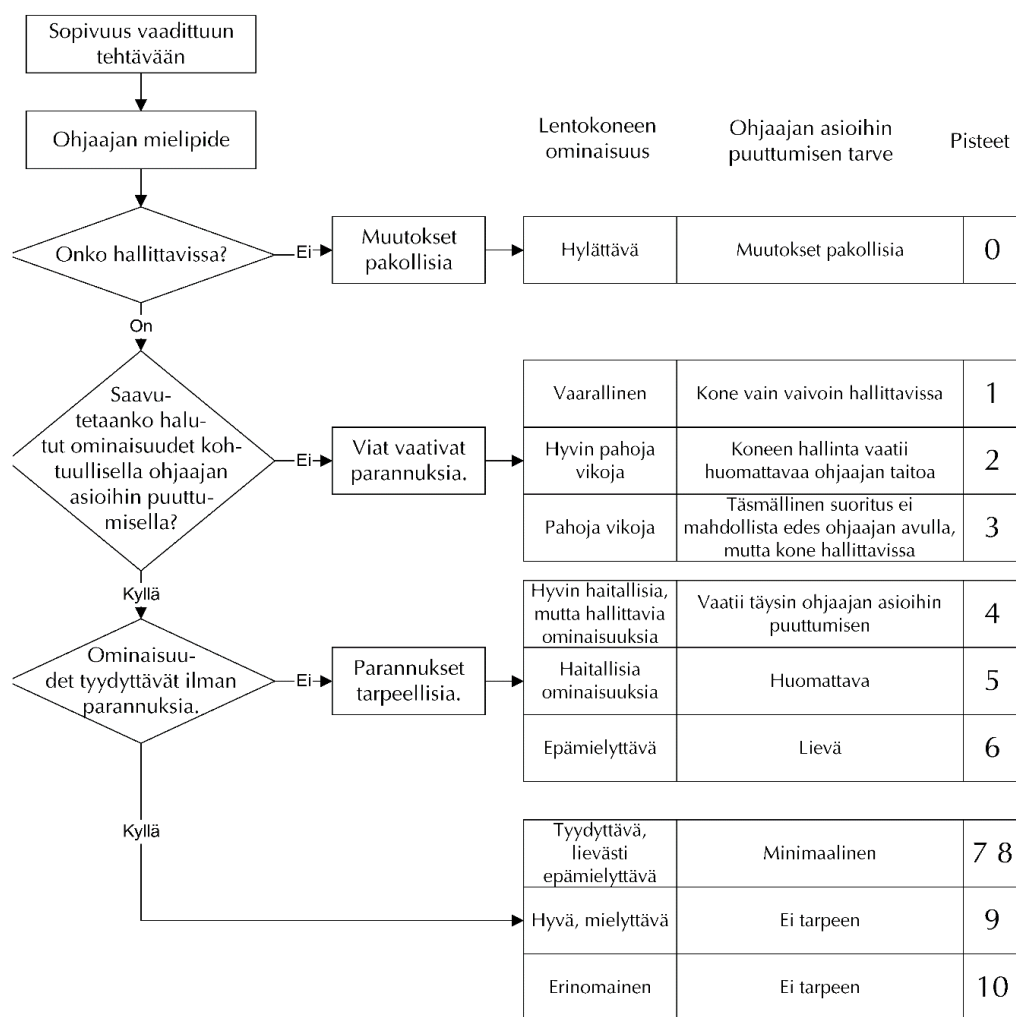
Lento-ominaisuudet voidaan sekä mitata numeerisesti että arvioida ohjaajan tuntojen perusteella.

Normistoissa on vaatimukset esitetty sekä numeerisina että ohjaajan arviointiin perustuvana.

Monessa tapauksessa kokenut koelentäjä voi paremmin määrittää lento-ominaisuuksien miellyttävyyden ja turvallisuuden paremmin koneen käyttäytymistä arvioiden kuin pystytään suoraan numeerisina arvoina esittämään.

Tällaisen ohjaajan arvion perusteella on kehitetty Cooper-Harper arvosteluasteikko, jonka mukaan on arvioille saatu yhtenäinen lähtökohta.

Cooper-Harper -asteikko on esitetty seuraavassa kuviossa.



6 ENSILENTO

6.1 Valmistelut

Ennen kuin lentämään päästää, tietyt asiat on tehtävä ja valmisteltava. Laadi koelento-ohjelma. Tässä voi ja kannattaa haastatella toisia rakentajia. Ohjelma on kuitenkin vain raami, jossa on ne asiat mitkä vähintään pitää käydä kokeilemassa. Mutta älä lähen tavoittelemaan kuuta.

Harrastekoneessa ominaisuudet on yleensä perusmuodossaan tiedossa, ja todennäköisesti melkoinen osa lennoista keskittyy havaittujen järjestelmä ongelmien korjaamiseen. Sellaista mihin kone ei sovellu, tai sitä ei tulla käyttämään, ei tarvitse kokeilla. Jos esimerkiksi koneella ei ole tarkoitus lentää taitolentoa, silmukoiden tekeminen ei kuulu koelentoihin, vaikka se ässä lentäjältä on hauskaa ja turvallista. Tai syöksykierteen kokeilu.

Muutenkin suunnittele lentoalueen (siis nopeus / g-rajat) laajentaminen varovaisuusperiaatteella. Yksi asia kerrallaan.

Muista punnita lentokone ja muuttuvien massojen paikat ennen kuin aloitat edes rullaamiset. Muuttuvia massoja ovat ihmiset, polttoaine. Niiden paikat on varmin selvittää punnitsemalla.

Ennen ensilentoa suoritat rullauskokeilut. Näillä on tärkeä rooli valmistautumisessa. Kun nopeus kasvaa, voit jo maassa tunnustella miten ohjaimet toimivat. Rullauskokeissa saa myös haettua trimmille sopivan asennon. Ja yleensä nopea rullaus, jossa siis kiihdytät melkein irtoamisnopeuteen ja sitten jarrutat, on vaikeampaa kuin sitten varsinainen lentoonlähtö ja laskeutuminen! Näin varsinkin kannuskoneella.

Rullauksissa pääset myös havainnoimaan mittareiden toiminnan.

Valmisteluvaiheessa moottoria pitää käyttää erilaisilla tehoilla, ja riittävän kauan. Se ohjeellinen 3 tuntia varmistaa, että polttoaineessa olevat likahiukkaset ajautuvat pois taikka suodattimiin. Puhdista siis koekäyttöjen jälkeen polttoainejärjestelmän suodattimet.

6.2 ENSILENTO

Ensilenolla ei ole tarkoitus tutkia koko lentoaluetta. Kun laadit ohjelmaa, määrittele:

- Suurin nopeus mitä kokeilet
- Suurin kuormitusmoninkerta tai suurin kallistus
- Maantieteellinen alue missä suoritat ensilennon,
- sääminimit

Ja sitten se tärkein asia: pidät näistä kiinni, ei improvisointia!



Hinun ensilento 27.7.2012.

Turvallisuus

- Ohjaaja valmistautunut
- Kenttä turvallisen suuri. Pakkolaskun tulee olla turvallisesti suoritettavissa kentälle riippumatta siitä, missä lentoonlähdön vaiheessa moottori sammuu.
- Sään tulee olla hyvä ja vähätuulinen
- Lennolla tulee olla valvoja maassa ja mieluummin radioyhteydessä
- Lento tulee suorittaa liitomatkan päässä kentästä
- Varauduttava hätätilanteisiin, koneesta poistuminen (laskuvarjo, mahdollinen kypärän käyttö), tulipalo, hallinnan menetys.

Ensimmäisellä lennolla noudatetaan tehtyä koe-ohjelmaa, jossa havainnoidaan

- ohjattavuus
- käyttäytyminen
- voimalaitteen toiminta
- muiden järjestelmien toiminta
- sakkausnopeus (laskua varten)

Lennon profiili

- Lentoonlähde ja nousu
- Vaakalento eri tehoasetuksilla ja nopeuksilla
- Lentoasun muutoksia
- Hidastus ja sakkaus
- Lentotilan vaihteluita
- Lähestyminen ja lasku

Seurantakoneen käyttö on aina hyvä. Sillä voidaan tarkastaa nopeusmittarin suunnilleen oikea toiminta. Siitä on helpompi havainnoida vuodot ja irtoavat esineet (näinkin voi käydä, jolloin seurantakone osaa kertoa mitä putosi). Seurantakoneesta on hyvä ottaa valokuvia, joista lennon jälkeen nähdään mahdollisia ongelmia.

Mutta jos PR mielessä seurantakoneen valokuvaaja alkaa käskyttää ensilennon tekijää, silloin parempi laittaa radio kiinni, ja käskyttäjälle ikuinen porttikielto kentälle.

Lennon jälkeen suoritetaan koneen tarkka tarkastus ja tarvittavat säädöt ja korjaukset.

7 LENTO-OMINAISUUKSIEN KOELENTÄMINEN



7.1 LENTOONLÄHTÖ

- Lentoonlähdessä huomioidaan:
- Suunnan säilytys lähtökiidossa
- Pituusohjauksen teho ja voimat lentoonlähdessä.
- Laskusiivekkeiden/telineiden sisäänoton vaikutus
- Huomioi lisäksi mahdolliset olosuhteiden vaikutukset; tuuli, kentän pinta, koneen kuormaus.

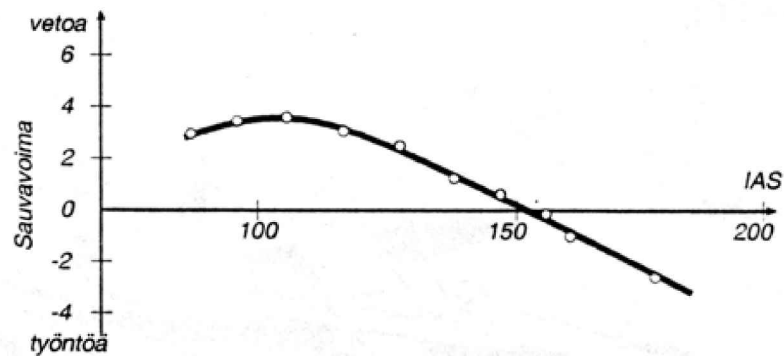
7.2 STAATTINEN PITUUSVAKAVUUS

Staattinen pituusvakavuus on koneen luontaista taipumusta ylläpitää trimmattu nopeus.

Staattinen pituusvakavuus voidaan arvioida:

NOPEUSVAKAVUUTENA =

sauvavoiman muutoksina muutettaessa nopeutta trimminopeudesta kuvan mukaisesti.



Tuo graafi on hyvin hieno tapa asiaan, mutta edellyttää jonkinlaista vaakaa sauvavoiman mittaamiseen.

SUORIN HAVAINNOIN KONEEN REAGOIMISESTA AIHEUTETTUUN HÄIRIÖÖN =

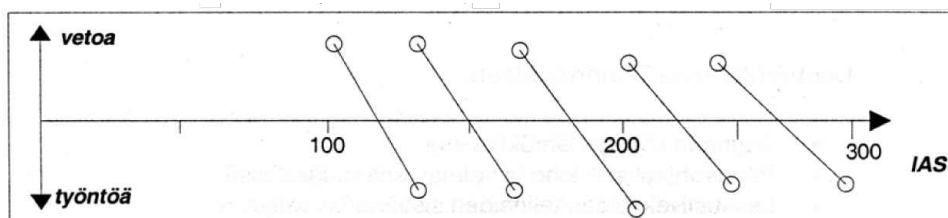
poikkeutetaan konetta tasapainoasemasta lievästi ja havainnoidaan sen pyrkimys palautua alkuperäiseen tilaan.

VAATIMUKSET: Koneen tulee olla staattisesti pituusvakaa. Nopeuden muutosten tulee aiheuttaa ohjaajalle selvästi havaittavat sauvavoimien muutokset.

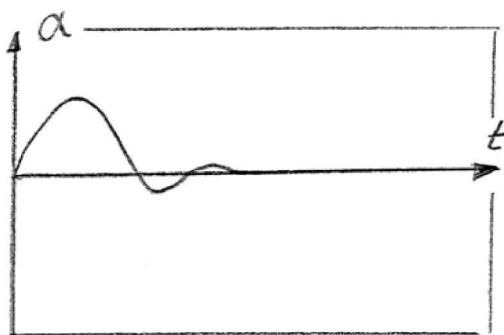
PITUUSVAKAVUUS JA -OHJAUS

Staattinen pituusvakavuus, nopeusvakavuus (speed stability)

- Pituusohjattavuus, sauvavoima/g

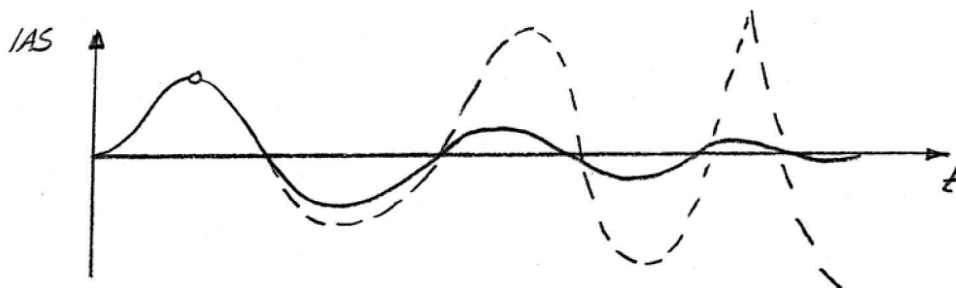


- Dynaaminen pituusvakavuus
 - Kohtauskulmaheilahtelu



Suoritustapa: lentokone trimmissä. Poikkeutat eteen tai taakse sauvaa (nopeasti). Päästät irti ja havainnoit. Värähtely tulee kuoleentua melkein välittömästi. Jos yhden jakson (kuvassa) havainnointi kertoo asian olevan huonolla jamalla.

- Fugoidi eli hidasjaksoinen heilahtelu



Suoritustapa: lentokone trimmissä. Poikkeutat eteen tai taakse sauvaa (hidas liike). Päästät irti ja havainnoit. Värähtely on pitkäjaksoista, jopa minuutti. Saa divergoida.

- Lentoasun muutosten vaikutus
- Pituustrimmi

* tulee riittää normaalille lentoalueelle (nopeudet/lentoasut)

7.3 DYNAAMINEN PITUUSVAKAVUUS

KOHTAUSKULMA HEILAHTELU (shorth periodic oscillation)

- nopea ja lyhytjaksoinen.
- kohtauskulma vaihtuu nopeasti, nopeus ja korkeus eivät muutu.
- suoritetaan tekemällä sauvalla nopea poikkeutus ja seuraamalla koneen käyttäytymistä.

VAATIMUKSET: Kohtauskulmaheilahtelun tulee olla voimakkaasti vaimeneva. Käytännössä värähtelyn pitää vaimentua ensimmäisen heilahduksen aikana. **Tämä on hyvin vaarallinen värähtely.**



Kuvan konetyypillä havaittiin sauva vapaana lyhytjaksoinen kohtauskulmaheilahtelu. Noin 2 Hz +/- 10 asteen laajuudella. Joka alkoi ulkoisesta herätteestä ja vaimeni heti kun sauvasta otti kiinni.

FUGOIDI - PITKÄJAKSOINEN HEILAHTELU

- hidas ja pitkäjaksoinen.
- kohtauskulma on lähes vakio, nopeus ja korkeus muuttuvat.
- suoritetaan muuttamalla nopeutta trimminopeudesta n 10 kt ja annetaan sauvan sitten palautua lähtötilanteeseen (ohjainvoima nolli), havainnoidaan nopeuden vaihtelu.

VAATIMUKSET: vaimenemiselle ei ole vaatimuksia. Vaimenematon heilahtelukaan ei ole vaarallinen, koska liike on niin hidas.

7.4 SIVULUISUN PITUUSVAIKUTUKSET

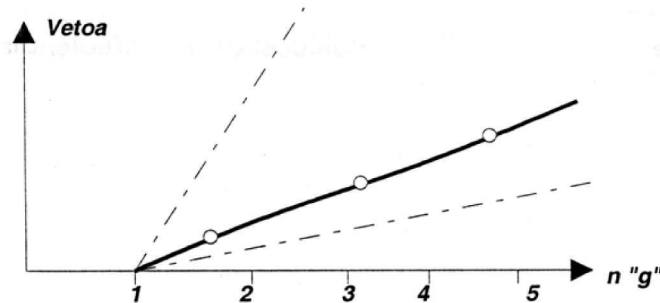
Luisun aiheuttamat pituusvaikutukset tutkitaan saattamalla kone nopeasti sivuluisuun. Jolloin seurataan käytöstä. Hitaalla jalan pohjaan painamisella, kone yleensä siirtyy spiraaliin. Josta koneen pitää jalan vapautuksella tulla ulos itseksien.

Tyypillistä voi olla nokan nopea nousu tai lasku.

VAATIMUKSET: Nopea luisuun meno ei saa aiheuttaa koneen hallinnan menetystä.

7.5 PITUUSOHJATTAVUUS - SAUVAVOIMA / G

Tietyn kuormituskertoimen saavuttamiseen tarvittava sauvavoima. Rajakuormituskertoimen saavuttamiseen tarvittava voima tai yhtä kuormituskerran yksikköä (g) varten tarvittava sauvavoima.



Kone on hyvin trimmattava tutkittavalle nopeudelle. Kokeen aikana nopeus on ehdottomasti pidettävä samana, koska sen muuttaminen vaikuttaa sauvavoimaan.

Kokeen aikana lisätään kaarrossa kuormituskerrointa ja havainnoidaan eri kuormituskerrointa vastaavat sauvavoimat. Näitä ei tarvitse mitata, mutta tuntuman on oltava sellainen, että voima kasvaa ”g”:n kasvaessa.

VAATIMUKSET: Vaatimukset vaihtelevat runsaasti riippuen normistosta ja koneen käyttötarkoituksesta.

Yleisissä lentokelpoisuusvaatimuksissa on rajakuormituskerrointa vastaava sauvavoima välillä 7 - 16 kp/g.

7.6 SUUNTA- ELI TUULIVIIRIVAKAVUUS

Suuntavakaa kone pyrkii korjaamaan koneen itseksensä luisuttomaan lentotilaan.

Tutkitaan tekemällä suoraa sivuluisuja ja vapauttamalla sivuperäsin. Havainnoidaan palaako kone itseksensä takaisin luisuttomaan tilaan. Koe suoritetaan pitämällä siivet vaakasuorassa siivekkeillä.

VAATIMUKSET: Suuntavakavuuden tulee olla positiivinen. Suuntavakavuuteen liittyy ilmiö nimeltään ‘peräsin-lukko’ (rudder lock). Siinä kun jalalla polkaistaan kone sivuluisuun ja jalka vapautetaan, sivuperäsin imeytyy rajoittajaan saakka ja kone jää pysyvästi vastaavaan sivuluisuun. Eli kone vakautuu sivuluisuun, jossa jalka on pohjassa (pitämättä). Ilmiö esiintyy eräillä purjekoneilla ja varsin usealla ultralla. Sinällään ilmiö on sallittu, se vain tekee lentämisestä inhottavan, kun jalkoja ei voi nostaa polkimilta pois koska kone imeytyy jommankumman puoleiseen sivuluisuun.



Kuvan konetyypillä oli reipas sivuperäsinlukko efekti. Jalka vapaana konetta ei saanut muilla ohjaimilla lentämään suoraan, vaan kone jäi pysyvästi kaartamaan. Sivuvakaajan eteen lisätyllä selkävällä ongelma saatiin korjattu siedettäväksi.

7.7 KALLISTUS- ELI V- KULMAVAKAVUUS

Suuntavakavuus

Luisut korjautuvat tehokkaasti itsekseen

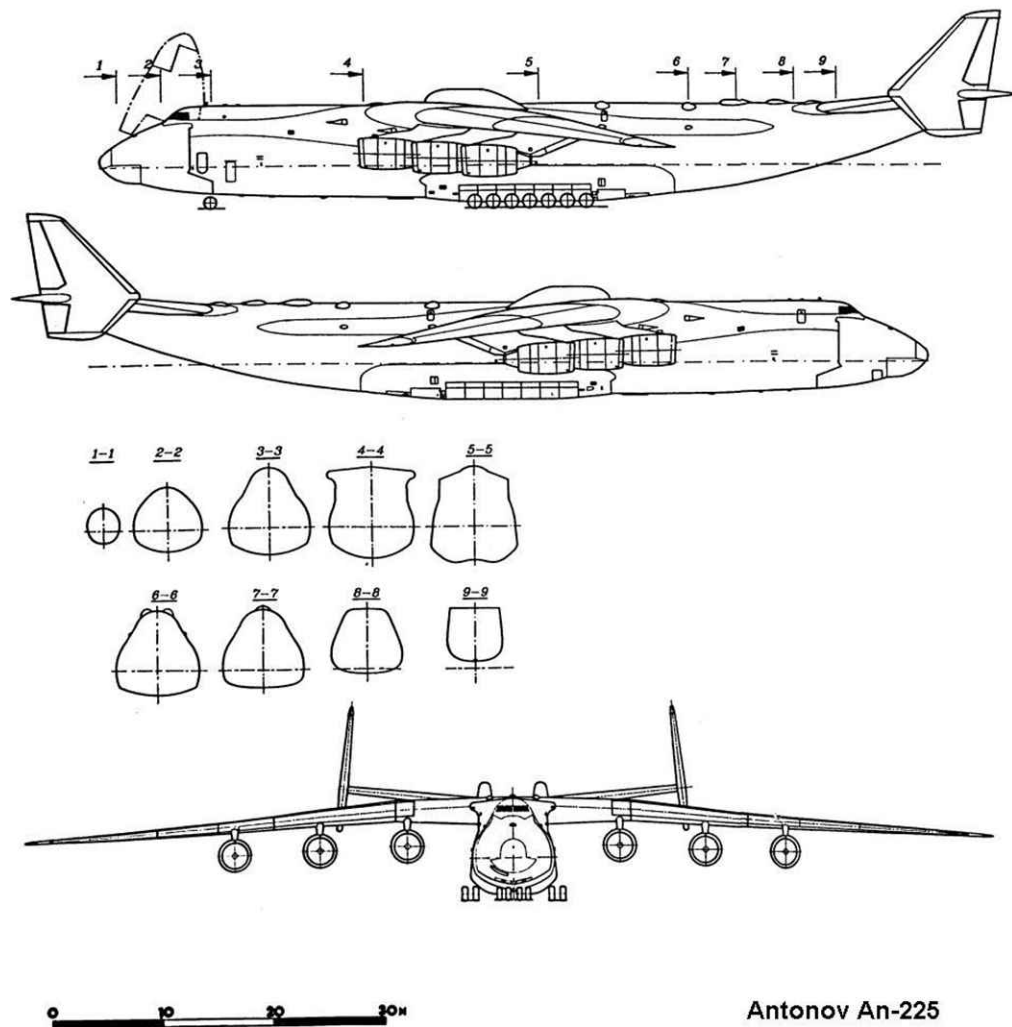
Sivuvakaaja/ evät. Pinta-ala ja etäisyys vaikuttavia tekijöitä. Kellukkeiden lisäys huonontaa yleensä sekä suuntavakavuutta että V-kulmavakavuutta.

Tutkitaan tekemällä sivuluisua ja havainnoimalla korjautuuko luisu itsekseen.

V-kulmavakavuus eli kallistusvakavuus

Positiivinen, kun luisun puoleinen siipi nousee itsekseen ylös. Tutkitaan kallistamalla konetta ja havainnoimalla nouseeko siipi ylös kallistuksen vastakkaista (ylä) jalkaa painamalla.

Riippuu siiven sijainnista sekä voimakkaasti siiven nuolimudosta ja V-kulmasta.



Antonov An-225

Koneessa on yläviipi ja nuolikulmaa. V-kulmavakavuus olisi liian suuri ellei V-kulma olisi alaspäin.

Dynaaminen poikittaisvakavuus.

Suunta-kallistusheilahtelu eli Dutch Roll. Hyvä suuntavakavuus ja ei liian voimakas V-kulmavakavuus ovat edullisia tekijöitä.

Tutkitaan aiheuttamalla jalalla koneelle suuntaheilahtelu.

- Luisun pituusvaikutukset
- Poikittaissäädöt tai -trimmit
 - Trimmien toiminta ja riittävyys
 - Muut säätömahdollisuudet
- Sivuperäsinohjaus.
 - Ohjausvoima
 - Ohjausteho: 2-moottorikoneet, moottorin kierron hallinta, taitolento, sivutuuli laskut
- Siivekeohjaus.

- Ohjausvoima
- Ohjausteho: eri asuilla, taitolento, sivutuulilaskut

V-kulmavakavuus on positiivinen, kun luisun puoleinen siipi nousee itseksensä ylös.

Ominaisuutta tutkitaan:

- a) Vakautetussa sivuluisussa havainnoimalla tarvittava siivekkeen liikesuunta/määrä ja ohjausvoima. Kone on vakaa kun voima ja liike ovat kallistuksen puolelle.
- b) Kallistamalla konetta ja havainnoimalla nouseeko siipi ylös painamalla kallistukselle vastakkaista (ylä-) jalkaa ja pitämällä sauva vapaana.

VAATIMUKSET: V-kulmavakavuuden tulee olla positiivinen. Tietyillä asuilla sallitaan se, että vakavuus ei ole negatiivinen.

7.8 DYNAAMINEN POIKITTAISVAKAVUUS

DUTCH ROLL - SUUNTA-KALLISTUSHEILAHTELU

Suuntaheilahteluun liittyvä kallistusheilahtelu. Kallistelu voi olla pientä tai suurta suuntaheilahteluun verrattuna. Tähän vaikuttaa voimakkaasti koneen V-kulmavakavuus (mm).

Tutkitaan aiheuttamalla jalalla koneelle suuntaheilahtelu.

Havainnoidaan suunnan ja kallistuksen suhteen tapahtuva heilahtelu. Sitä voi seurata nokasta tai siiven kärjestä.

VAATIMUKSET: Nopeajaksoisten heilahtelujen tulee olla voimakkaasti vaimenevia. Dutch Roll'in tulee vaimentua 1/10 amplitudistaan 7 heilahduksen aikana.

7.9 SAKKAUSOMINAISUUDET

Sakkaus tapahtuu kun

- koneen nokka tai siipi lähtee putoamaan tahattomasti
- tai kun sauva on täysin takana

Sakkauksesta oikaisu tapahtuu vetoa löysäämällä, minkä jälkeen korjataan mahdollinen kallistus ja luisu. Sakkausta on lähestyttävä hitaasti, noin 1 km/h/s. Vaakalento ei ole välttämätön, nopeuden hidas hidastaminen on.

On koneita, jotka sauva rajoittajassa eivät saavuta sakkauskohtauskulmaa, mutta vajoavat reippaasti. Näissä voidaan käyttää vajoamisnopeus rajaa sakkausnopeuden määrittämisessä.

VAATIMUKSET: Koneen on oltava ohjattavissa sakkaukseen asti. Oikaisu on kyettävä tekemään ilman että kone kallistuu enempää kuin 15 tai 30 astetta.

HIDASLENTO JA SAKKAUKSET

- Ohjattavuus pienillä nopeuksilla
- Suora sakkaus. Eri asuilla ja tehoilla.
- Kaartosakkaukset.
- Oikaisu sakkauksesta.

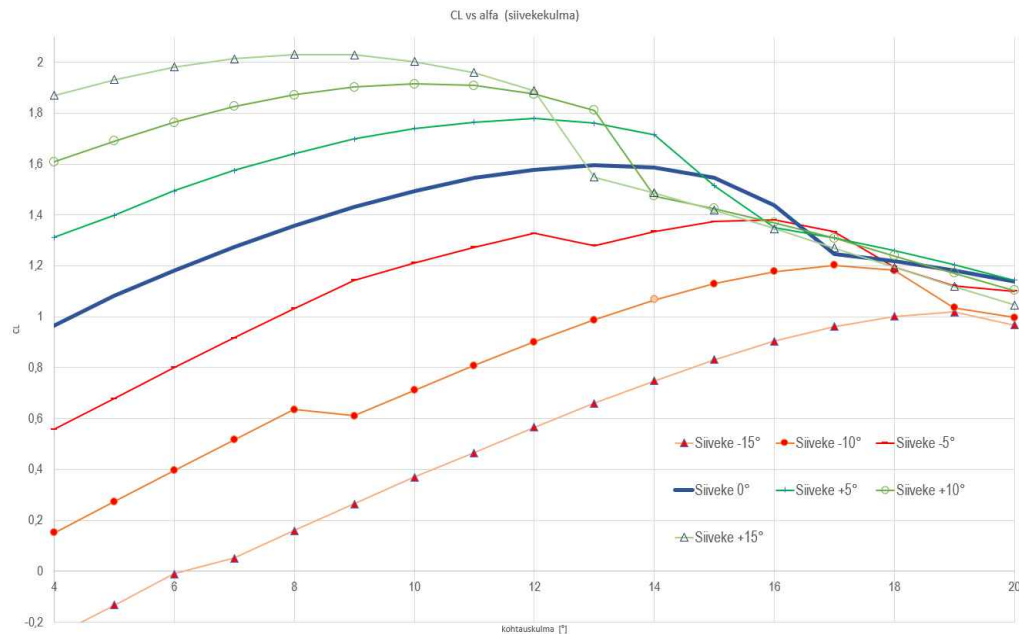
Saukkauksesta oikaisu

Peruseriaate on että sakkauksen pitää oikea kohtauskulmaa pienentämällä.

Mutta jos kone kallistuu sakkauksen aikana, siihen on reagoitava. Se saattaa olla merkki että kone haluaisi siirtyä syöksykierteeseen. Ei kuitenkaan aina, kone voi vain kaatua tai kallistua sakkauksessa.

Kallistuksen oikaisussa normaalilentämien tavat eivät ole oikein. Kun tiedossa ei ole miten kone käyttäytyy. Mutta tämä tapa toimii kaikilla koneilla.

Miksi näin? Oheinen kuva on Cherokeeen siipiprofiilin polaari siivekkeen kohdalla. Vihertävät käyrät ovat siiveke alaspäin poikkeutukset ja punertavat siiveke ylöspäin.



Normaalisti lennettäessä, otetaan tilanne kohtauskulmalla 4 asetta (eli vastaa noin nousussa/liuussa olevaa kohtauskulmaa). Siiveke keskellä molemmissa siivekkeissä nostovoimakerroin 0,97.

Kallistamalla vähän oikealle, ilman differentiaalia vasen siiveke on 5 astetta alaspäin ja oikea 5 astetta ylöspäin. Vasemmalla puolella nostovoimakerroin kasvaa arvoon 1,31 ja oikealla puolen nostovoimakerroin vähenee arvoon 0,56. Eli muutokset aiheuttavat selvän kallistusmomentit oikealle.

Sakkauskohtauskulma on missä käyrä on ylimmillään. Mutta tämä kallistumisen tilanne on helposti vähän sen yli kohtauskulmassa. Otetaan kohtauskulma 16 astetta.

Siiveke keskellä paikallinen nostovoimakerroin on 1,44.

Kallistamalla vähän oikealle, ilman differentiaalia vasen siiveke on 5 astetta alaspäin ja oikea 5 astetta ylöspäin. Vasemmalla puolella nostovoimakerroin vähenee arvoon 1,35 ja oikealla puolen nostovoimakerroin vähenee vain vähän, arvoon 1,38.

Sauva / ratti siis oikealle mutta siivekkeiden kohdalla oikealla puolen on suurempi nostovoima kuin vasemmalla. Siivekkeet siis aiheuttavat kallistusmomentit vasemmalle.

Oikea tapa sakkauksen aikaiseen kallistuksen korjaamiseen on painaa kallistusta vastakkaista jalkaa. Eli kun esimerkissä vasen siipi on painunut alas, se korjataan painamalla oikeaa jalkaa. Sehän hetkellisesti myös kiihdyttää vasenta siipeä, joka lisää nostovoimaa. Ja jatkossa, jos koneen V-kulmavakavuus on oikean suuntainen, se toimii kuten suuremmilla nopeuksilla, nostaen vasenta siipeä.

Jos tämä tekniikka ei ole tuttu, kokeile ensin suuremmalla nopeudella (eli tee V kulmavakavuus testi).

7.10 LIIKEHTIMINEN JA TAITOLENTO

- Ohjattavuus ja käyttäytyminen
- Ohjenopeudet
- Rajoitukset

Jos konetyypille ei ole tarkoitus määritellä taitolentoa sallituksi, niin ei sitä koelennoillakaan testata. Ei, vaikka kaverit yllyttäisi.

7.11 SYÖKSYKIERRE

Syöksykierre on liike, jossa epäsymmetrisesti sakannut siipi aikaansaa konetta pyörittävän autorotaation. Tasapainoa ylläpitävät hitausvoimat ja aerodynaamiset vaimennusmomentit.

Kierre voi olla oskiloiva suhteessa pituuskallistumaan, poikittaiskallistumaan tai suunnan muutokseen nähden. Kierre ei kaikilla koneilla koskaan vakaannu.

Asioita joita joudut harkitsemaan kierrekokeita varten on ainakin painopisteen paikka, koneen hitausmomentin suuruudet (eli tyhjät siipitankit tai täydet, tai puolitäydet joissa polttoaine pääsee siirtymään kärkeä kohden). Kierrekokeita ei tarvitse tehdä kuin laskusiivekkeet sisällä ja laskutelineet sisällä. Mutta jos olet kierteessä ja mikään muu ei auta, voit kokeilla laskutelineen ulosottoa tai laskusiivekettä tilanteen pelastamiseen.

Liike on dynamiikaltaan erittäin monimutkainen ja vaikeasti tutkittavissa, koska vaikuttavia tekijöitä on runsaasti. Ainoa varma tapa selvittää syöksykierreominaisuudet on laaja koelento-ohjelma.



KIERTEESEEN JOUTUMINEN

Kierteeseen voidaan joutua tahattomasti tai tarkoituksellisesti. Molemmissa tapauksissa alku tai aloitus on samanlainen.

Tarkoituksellisessa kierteen aloituksessa:

- hidastetaan nopeus lähelle sakkausnopeutta
- pitämällä siiveke normaalisti keskellä, painetaan halutun kierteen puoleinen jalka pohjaan
- tämän jälkeen vedetään sauva ripeästi suoraan taakse

Tahaton kierre on yleensä seurausta kun;

- lennetään liian pienellä nopeudella
- annetaan koneen luisua tekemällä esimerkiksi jalkakaartoa kun ei pienen korkeuden takia uskalleta kallistaa
- kun nokka luisun pituusvaikutuksen takia alkaa painua, vedetään sauvasta nokan nostamiseksi
- jne

Tästä sitten joudutaankin kierteeseen. Aloitus onkin oikeastaan täysin sama kuin tarkoituksellisessa kierteessä.

Koelennoilla varauduttava oikenemattomiin kierteisiin

- Aggrevated spin
- Lattakierre

OIKAISU JOUDUTTAESSA TAHATTOMAAN KIERTEESEEN

Kun kone ei vielä ole vakautunut syöksykierteeseen, vaan on "muljahdettu" alkavaan kierteeseen:

- Keskitä kaikki ohjaimet

OIKAISU JO VAKAUTUNEESTA SYÖSKYKIERTEESTÄ

Tämä on vakio-oikaisumenetelmä, jota käytetään ellei koneen lentokäsikirja nimenomaan käske muunlaista menettelyä.

- Pitäen siivekkeet keskellä VASTAJALKA POHJAAN
- Sen jälkeen SAUVA SAURAAN ETEEN. Sauva on vietävä tarvittaessa vaikka täysin eteen
- Kun pyöriminen lakkaa KESKITA JALKA. Pyöriminen lakkaa yleensä noin 1-2 kierroksen kohdalla
- Oikaise syöksy rauhallisesti mutta ripeästi.

OIKAISU SPIRAALISYÖKSYSTÄ

Spiraalisyöksy ei ole kierre. Siinä nopeus ja g kasvavat. oikaisu tapahtuu seuraavasti:

- Löysää veto ja oikaise syöksy.

VAATIMUKSET CS 23 / VLA

Normal ja Utility Category:

- Lentokoneella ei saa olla taipumusta mennä kierteeseen ilman että kone ohjataan siihen.
- Kierteen tulee oieta yhden täyden kierroksen aikana yhden täyden kierroksen jälkeen (tai kolmen sekunnin kuluttua kierteen alkamisesta, kumpi tulee myöhemmin) oikaisun aloittamisesta,

Acrobatic Category:

- Kierteen tulee oieta 1,5 kierroksen aikana oikaisutoimenpiteiden aloittamisesta, kun oikaisu toimenpiteet aloitetaan missä tahansa kohtaa kierrettä. Oikaisua ei tarvitse osoittaa enempää kuin kuuden täyteen kierrokseen asti.

Normaali toiminta

Normaali aloitus

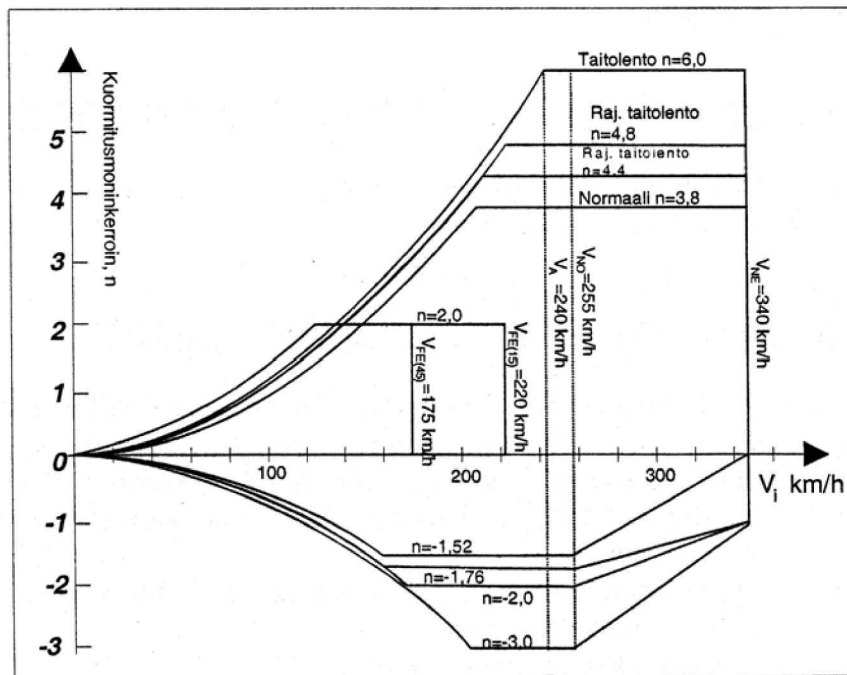
- Hidastus lähelle sakkausnopeutta
- Kierteen puoleinen jalka pohjaan, siiveke keskellä
- Sauva suoraan täysin taakse

Normaali oikaisu

- Vastajalka täysin pohjaan, siiveke keskellä
- Sauvaa eteen keskiasennon etupuolelle
- Kun pyöriminen lakkaa keskitetään jalat
- Oikaisu syöksystä



7.12 LENTOALUE, RAJANOPEUDET JA -KUORMITUSKERTOIMET



8 SUORITUSARVOT

8.1 Sakkaus

Koska useiden (ASTM, ultra, EASA CS-, FAR, yms normien) pykälien tosittaminen tapahtuu jollakin annetulla nopeusvälillä, jonka alarajana on useimmiten joku sakkausnopeuden monikerta, on tärkeää, että sakkausnopeudet määritetään tarkkoina kalibroituina ilmanopeuksina. Koska nopeusmittausjärjestelmän tarkka kalibroiminen on experimental-rakentajalle kohtuuton vaatimus, on tästä vaatimuksesta tingittävä. Huomattakoon kuitenkin, että nopeusmittarin ollessa kalibroimaton lähellä sakkausnopeutta, ei tietty mittarinopeusmarginaali sakkausnopeuden suhteen välttämättä ole läheskään oletetun suuruinen todellisena ilmanopeutena. Tällä on ihan käytännön merkitys; pakkolaskussa suositeltavan lähestymisnopeuden on syytä olla sellainen, että ns normaalit ohjainvaikutukset pätevät. Eli että liukukulmaa korjattaessa vetäminen vähentää liukukulmaa ja vajoamisnopeutta, ja työntäminen jyrkentää liukukulmaa ja suurentaa vajoamista.

Esim. jos lähestymisnopeutena halutaan pitää 1.3 kertaa sakkausnopeus, saattaa pitot-staattisen järjestelmän asemavirhe johtaa tilanteeseen, jossa tuon suosituksen mukainen todellinen nopeus onkin polaarin ”takapuolella” ja ohjaamisen vaikutukset ovatkin käänteiset!

Sakkausnopeuden V_{so} määrittämisessä vallitseva asu ja tehoasetus selviävät pykälän §49 lentokelpoisuusvaatimus tekstistä. Sakkausnopeus tulisi määrittää massa- ja massakeskiöalueen kaikissa nurkkapisteissä.

Koska massan vaikutus on yksinkertaisesti redusoitavissa kaavalla:

$$V_{s2} = V_{s1} \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

riittää, kun sakkausnopeus määritetään etummaisella ja takimmaisella massakeskiöllä ja jollakin massalla, joka on mahdollisimman suuri.

Esimerkiksi; sakkausnopeus massalla 790 kg on 95 km/h. Halutaan tietää sakkausnopeus maksimilentomassalla 870 kg.

$$\begin{aligned} V_{s870} &= V_{s790} * \text{SQR}(870 / 790) \\ &= 95 * \text{SQR}(1,101) \\ &= 96 * 1,049 \\ &= 100,74 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Sakkausnopeus massalla 870 kg on siis 101 km/h.

Yksi jos toinenkin asia määritellään sakkausnopeuden avulla (tai hyväksikäyttäen). Niinpä sen määrittäminen on tärkeäkö alkupään (koelento-ohjelman, yksittäisen mittaustuloksen) toimenpide.

Yleisestä lentokoneen tasapainoehtoista (aerodynamiikkaa) saadaan lentonopeuden kaavaksi;

$$V = \sqrt{\frac{2L}{\rho S C_L}}$$

jossa; L = siiven nostovoima (yhtä kuin koneen massa * g)
 ρ = ilman tiheys
 S = siiven pinta-ala
 CL = siiven nostovoimakerroin

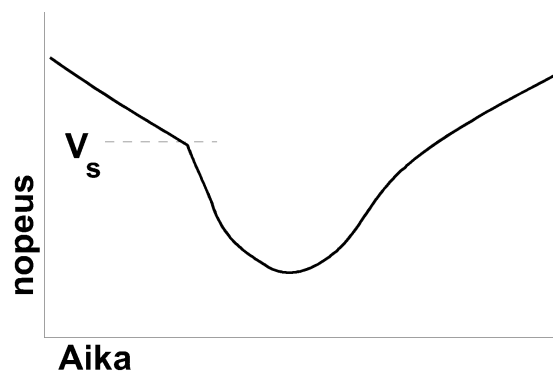
Nostovoima voidaan eritellä seuraavasti;

$$L = nm g$$

jossa; n = kuormitusmoninkerta
 m = koneen massa
 g = 9,81 m/s

Sakkausnopeus on taasen määritelty seuraavasti;

Pienin tasainen nopeus, jolla kone on ohjattavissa.



Nopeuden muutos kun korkeusperästä vedetään tasaisesti suuremmille kulmille.

Sakkausnopeus määritellään joko nopeutena, jossa nokka putoaa alaspäin ohjaamattomasti tai pienin vakaa ohjattavissa oleva nopeus tai, jos tätä ei tapahdu, nopeutena, jossa sauva osuu takarajoittimeensa. (Ks. §201) tai vajoamisnopeus on 4 m/s.

Tapaus, jossa ohjattavuus on rajana on (ehkä) selkeä, mutta muuten paino on asetettava sanalle tasainen. Lisäselvennykseksi voisi ottaa, kuormitusmoninkerralla yksi. Nopeutena on mukavin käyttää mittarinopeutta (IAS), tai kalibroitu sellainen (CAS), jos saatavilla. Mittarinopeus ilmaistuna tosinopeudella (jota kaavassa 1 on käytetty) on

$$V_{IAS} = V_{TAS} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (3)$$

jossa, ρ mittaus korkeuden ilmantiheys
 ρ_0 1,225 kg/m³

kun kootaan (1),(2),(3) ja n=1 samalle riville saadaan siis mittarinopeudelle lauseke;

$$V = \sqrt{\frac{2mg}{\rho S C_L}}$$

Pienin nopeus (sakkausnopeus) on siis vakiomassalla se, jolloin C_L on maksimissaan. Sakkausnopeutta mitattaessa mitaillaan siis suurinta nostovoimakertoimen arvoa. Massan muuttaminen voidaan redusoida tuloksista pois (vrt kaava 4). Jos on mitattu sakkausnopeus (V_{s1}) massalla m_1 ja halutaan sakkausnopeus (V_{s2}) massalla m_2 , niin;

$$V_{s2} = V_{s1} \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

Mitatessa on sitten oltava huolellinen, jotta kuormitusmoninkerta on todella tasan yksi, eikä jokin pienempi tai suurempi arvo.

Jos halutaan todella n=1 tilannetta vastaava sakkausnopeus (katso käytä kuvassa ylhäällä) on arvo otettava niin sanotusta g-break'ista, ei pienimmästä saavutetusta arvosta. Pienin nopeus ei ole tasaisen tilanteen nopeus, vaan tilanteesta jossa $n < 1$. Kaikki edellä oleva koskee sitten vain tilannetta ilman moottoritehoa.

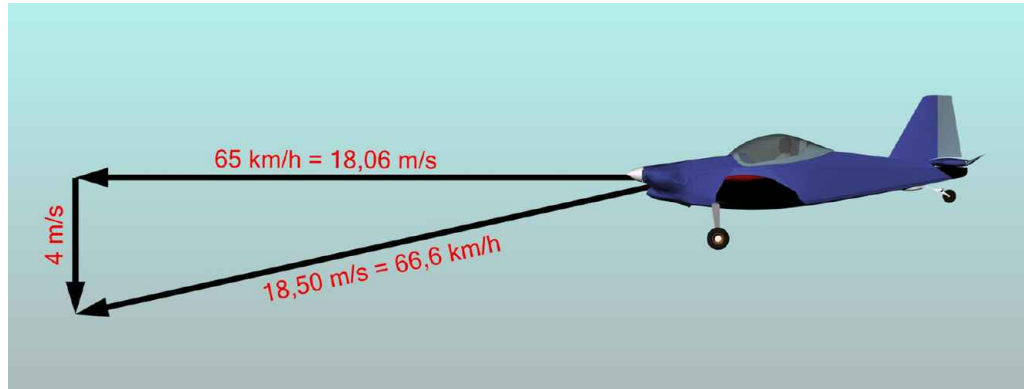
Muutama sananen massakeskiön vaikutuksesta sakkausnopeuteen. Koska sakkaushetkellä kone kehittää suurimman nostovoimansa on vaikutus seuraava. Kun massakeskiö on edessä tarvitaan korkeusvakaajasta suurempi voima alaspäin koneen tasapainottamiseen kuin massakeskiön ollessa takana. Kun painopiste on vaarallisen takana ei korkeusvakaajan tarvitse kehittää ollenkaan voimaa alaspäin (ehkä jopa ylöspäin), kaikki voimat ovat ylöspäin ja sakkausnopeus on vieläkin pienempi. Siis suurin sakkausnopeus saadaan painopisteen ollessa eturajalla ja pienin painopisteen ollessa takarajalla. Myös sakkausominaisuuksissa voi olla suuriakin eroja.

Erot sakkausnopeudessa ovat tyypillisellä noin 500 kg lentokoneella noin 3-5 km/h takareunan eduksi. Esim C152 lentokäsikirjassa on sakkausnopeudet sekä painopisteen eturajalla ja takarajalla.

Osa mittaustekniikoista mittaa maanopeutta, joka on siis vaakasuora nopeuskomponentti, jos kone vajoaa. Tämä antaa virheellisen kuvan nopeudesta ja kun sakkausnopeudesta luodaan suositusnopeus pakkolaskussa käytettävään lähestymisnopeuteen, tämä on huomioitava. Sen

vaikutus on melkoinen, jos koneella ei ole selkää nokan pudotusta, vaan sakkausraja löytyy vajoamisesta.

Kuvan tilanteessa maanopeus (vaakasuuntaan siis) on 65 km/h, joka on ainakin ilmoitettu lähes kaikille ultrille oleva VSO. Jos rajoittava tekijä on vajoaminen, joka kuvassa on 4 m/s, niin lentokoneen todellinen CAS onkin 66,6 km/h. Ja vajoaminen voi olla paljon suurempikin, tuota 4 m/s rajaa ei kaikissa lentokelpoisuusvaatimuksissa ole, vaan pelkästään vakaa hallittava nopeus.



Jos koneen hallittu vajoaminen olisi 5 m/s niin tulos olisikin 67,5 km/h. 6 m/s vajoamisella 70,4 km/h.

Suoritustekniikka

Koelennolla kone trimmataan nopeudelle n. 1.5 Vs1 (tai Vso) tai minimi trimminopeudelle (kumpi on suurempi), josta nopeus pienennetään arvoon Vs1 + 10 kts. Tästä alas-päin nopeutta ei saa pienentää nopeammin kuin 1 kts sekunnissa, jotta stationäärinen sakkaustila voitaisiin määrittää.

Sakkausnopeuden mittaustapa on vastaava kuin lento-ominaisuuspuolella. Kone trimmataan vakiolentotilaan noin 30-50 % sakkausnopeutta suuremmalle nopeudella. Teho ja lentoasu asetetaan halutuksi. Mittaus suoritetaan vähentämällä nopeutta noin 2 km/ h sekunnissa. Kun kone sakkaa, niin sakkaushetkellä kone tipahtaa hieman. Kuormitusmoninkerta siis hetkeksi pienenee siitä, mitä se oli lähestyttäessä sakkausnopeutta. Sakkaushetkellä voi nokka tipahtaa, siipi vajota tms. Jos kone käyttäytyy ns normaalisti, niin nopeus pienenee hetken sakkauksen jälkeen. Tällöin kone on erävakaassa lentotilassa, ja nostovoimakerto on alle maksimin. Koska kuormitusmoninkerta on alle yhden nopeus voi olla alle sakkausnopeuden. Siis näin havaittava miniminopeus ei suinkaan ole sakkausnopeus.

Jos jokin muu syy rajoittaa nopeuden suuremmaksi, niin tämä hallittavuudesta tms syystä johtuva nopeus on sakkausnopeus.

8.2 LENTOONLAHTO ja LASKUMATKA

Tarvitset arvion neljästä mitasta. Muuten lennon suunnittelu voi käydä mahdottomaksi. Tutulla kentällä vielä pärjät, mutta miten sitten kun olet menossa jonnekin muualle.

- Lähtökiito
- Lähtömatka 15 m esteen yli
- Laskukiito
- Laskumatka 15 m esteen yli

Lento-ohjelmointimatka

Lento-ohjelmointi (ja laskumatka) ovat eräitä vaikeimmin mitattavat suureet koko koelentotouhussa.

Eräs syy on se, että lentäjä voi vaikuttaa suuresti tulokseen. Toinen on suorituksen transiientti luonne. Tapahtuma ei ole vakio, vaan kaikki muuttuu koko ajan! Mittaukset on syytä jättää niin myöhäiseen vaiheeseen kuin mahdollista, jotta suoritustekniikka olisi ehtinyt vakiintua.

Matkoja voi mitata muunmuassa seuraavilla periaatteella;

- suora lentokoneen aika/paikka historian mittaus
- epäsuora mittaus, jossa mitataan aika/nopeus historia, ja matka lasketaan näistä.

Teki mittauksen miten tahansa, on syytä tarkkaan miettiä, mikä on mittaustavan menetelmävirhe. Se voi lisäksi koostua useista lähteistä.

Paikan mittaus

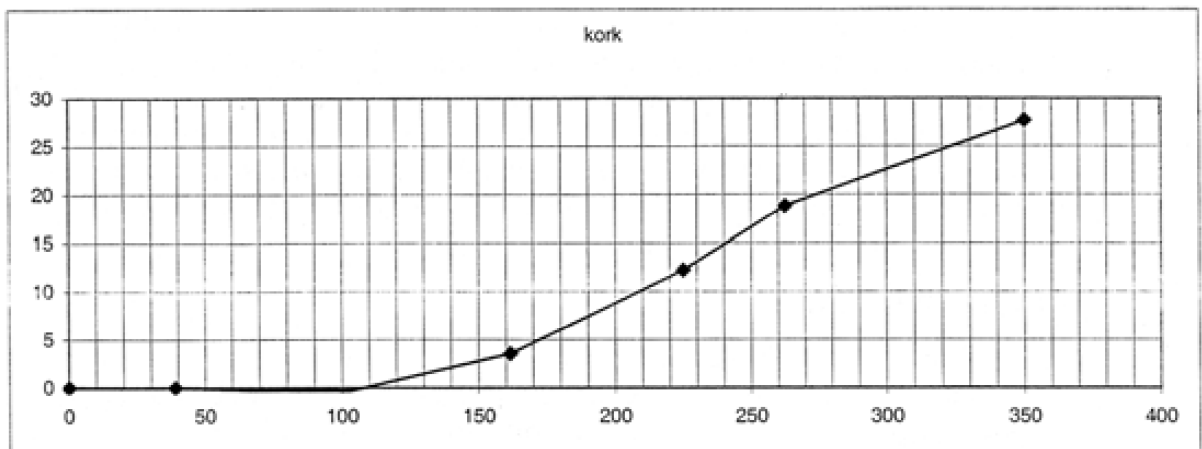
Helppomerkiksi tavaksi on osoittautunut GPS loggerin käyttö.

Tarvitaan siis laite, joka rekisteröi paikan riittävän tiheällä välillä. Tavallisissa GPS laitteissa, jossa yleensä on tallennus, tallennusväliksi pitää valita kerran sekunnissa, joka on yleensä se tihein väli. Tiheämpääkin voi käyttää, mutta se ei varsinaisesti tuo lisäarvoa.

Tehdään siis riittävän monta (vähintään se viisi) lento-ohjelmointia ja laskeutumista samoilla menetelmillä. Tämä on yllättävän vaikeaa, joten onnistuneen tuloksen saaminen koelento-ohjelman alkupuolella ei onnistu. Joten lopullisen tuloksen saamiseen varaa kohta siitä vaiheesta kun osaat koneen metkut hyvin.

Tallenteen käsittelyyn tarvittava ohjelmisto pitää olla sellainen, että siitä saadaan lennon profiili (eli matka ja korkeus) samaan näyttöön tai taulukkoon.

Tähän OziExplorer on käyttökelpoinen, varmaan muitakin.



Esimerkissä startin pisteet graafina, josta voidaan helpohkosti arvioida maakiidon olleen 130 m ja etäisyyden 15 m korkeuteen 240m.

Nopeuden muutoksen mittaus

Tässä tavassa ideana on taltioida koneen nopeus sekunnin kahden välein koko lähdön/ laskun ajalta. Koska, $\text{matka} = \text{aika} \times \text{nopeus}$, voidaan näin saaduista aika/nopeus arvoista joko graafisesti tai numeerisesti integroida matka eri nopeuden arvoilla. Kun irtoamis/ kosketus nopeus on otettu

ylös, saadaan maakiito varsin hyvin laskettua. Ilmamatkan suhteen tämä menettely ei anna mitään käyttökelpoista tietoa. Ilmamatka on määritettävä aikaisemmin saaduista kohoamis/vajoamis nopeuden arvoista lähtien.

Mittaus voidaan suorittaa esimerkiksi kuvaamalla videokameralla nopeusmittaria nousun/laskun aikana. Myös nauhuriin voi nopea pilootti luetella nopeusarvoja, esimerkiksi sanoa 'hep' joka täydellä kymmenellä yksiköllä. Jälkikäteen sitten voi katsella/kuunnella nauhaa ja ottaa sekunttikellolla aikoja eri nopeuksiin.

Tämä mittaustapa on kätevä silloin kun paikan suora mittaus on vaikeahkoa, esimerkiksi vesikoneen startti/laskumatkat on kätevä mitata tällä tavalla. Vesikoneilla tuo edellä oleva GPS menetelmä toimii aina. Tiedoista lähtöpiste pitää arvioida, kun vedessä paikaltaan lähtö on mahdoton tehtävä.

Mitatun matkan redusointi

Lento- ja lähtösuorituskykyyn vaikuttavat tekijät

Eri tekijöiden vaikutusta lento- ja lähtömatkan muuttumiseen voidaan arvioida menetelmillä, joista seuraavassa läpileikkaus. Redusointi kaavat perustuvat osittain teoriaan ja osittain tilastoihin. Käytetyt kaavat eivät tietenkään voi esittää tarkasti jonkin tietyn konetyypin käytöstä. Seuraavissa laskelmissa on kaavoja viritetty vastaamaan C172 koneen lentokäsikirjassa esitettyjä starttimatkan muutoksia ja silloin kun lentokäsikirjassa ei ole tekijää esitetty on käytetty kokemuseräisiä vakioita kaavoissa. Irtoamisnopeutena on käytetty 1043 kg massalla arvoa 31.3889 m/s eli 61 solmua.

Tuulen vaikutus

Kun lentokone tekee starttia kiihdyttää se nopeutta vastaamaan irtoamisen ilmanopeutta.

Kun startti tapahtuu vastatuuleen alkaa kiihdytys tuulta vastaavasta ilmanopeudesta, vastaavasti myötätuulistartissa on koneen kiihdytettävä hetken ennenkuin ilmanopeus on nolla. Seuraavassa taulukossa on lähtökiitomatkoja eri tuulen nopeuksilla.

Tuulen vaikutus voidaan kompensoida seuraavalla kaavalla;

$$s_m = s_n * ((V_I)/(V_I - V_T))^2$$

jossa; s_m on maakiidon pituus tyynessä

s_n on havaittu maakiito

m on koneen massa

V_I on irtoamisnopeus

V_T on vastatuulen nopeus

Seuraavassa taulukossa on laskettu C172:lle tuulen vaikutusta maakiitoon

TUULI			maakiito		
			[m]	prosenttia	
				tyynen	arvosta
myötätuuli	-5.0 m/s	-9.7 kts	256.9 m	135.0 %	+35.0 %
Myötätuuli	-4.5 m/s	-8.7 kts	249.8 m	131.3 %	+31.3 %
Myötätuuli	-4.0 m/s	-7.8 kts	242.8 m	127.6 %	+27.6 %
Myötätuuli	-3.5 m/s	-6.8 kts	235.9 m	124.0 %	+24.0 %
Myötätuuli	-3.0 m/s	-5.8 kts	229.0 m	120.4 %	+20.4 %

Myötätuuli	-2.5 m/s	-4.9 kts	222.3 m	116.9 %	+16.9 %
Myötätuuli	-2.0 m/s	-3.9 kts	215.7 m	113.4 %	+13.4 %
Myötätuuli	-1.5 m/s	-2.9 kts	209.2 m	110.0 %	+10.0 %
Myötätuuli	-1.0 m/s -	-1.9 kts	202.8 m	106.6 %	+6.6 %
myötätuuli	-0.5 m/s	-1.0 kts	196.5 m	103.3 %	+3.3 %
tyyni	+0.0 m/s	+0.0 kts	190.3 m	100.0 %	+0.0 %
vastatuuli	+0.5 m/s	+1.0 kts	184.1 m	96.8 %	-3.2 %
Vastatuuli	+1.0 m/s	+1.9 kts	178.1 m	93.6 %	-6.4 %
Vastatuuli	+1.5 m/s	+2.9 kts	172.2 m	90.5 %	-9.5 %
Vastatuuli	+2.0 m/s	+3.9 kts	166.3 m	87.4 %	-12.6 %
Vastatuuli	+2.5 m/s	+4.9 kts	160.6 m	84.4 %	-15.6 %
Vastatuuli	+3.0 m/s	+5.8 kts	155.0 m	81.5 %	-18.5 %
Vastatuuli	+3.5 m/s	+6.8 kts	149.4 m	78.5 %	-21.5 %
Vastatuuli	+4.0 m/s	+7.8 kts	144.0 m	75.7 %	-24.3 %
Vastatuuli	+4.5 m/s	+8.7 kts	138.7 m	72.9 %	-27.1 %
vastatuuli	+5.0 m/s	+9.7 kts	133.4 m	70.1 %	-29.9 %

Taulukon arvot ovat raakoja laskentatuloksia tuulen vaikutuksesta. Jos et kirjaa tuulitietoja kun mittaat lentoonlähtö (tai laskumatkoja), niin tuonverran tuloksissa on hajontaa pelkästä tuulen vaikutuksesta. Jos tuuli on tasaista, eli tuuli vaihtelee vaikka plus/miinus 2 solmua, niin se näkyy ”täydellisesti” suoritetuissa starteissa plus/miinus 7 % mittaeroina. Kannattaa siis kirjata tuuli joka starttia/laskua tehdessä niin hyvin kuin se on saatavilla.

Lentokäsikirjoissa (ja turvallisessa operoinnissa) tuulen vaikutukseksi otetaan usein puolet vastatuulesta ja kaksi kertaa myötätuuli. Näin otetaan mukaan tuulen puuskien vaikutus.

Myötä/vasta mäki

Myötämäki vaikuttaa lähtökiitoon nopeuttaen sitä. Maan vetovoima aiheuttaa lento-suuntaan voimakomponentin, joka vaikuttaa samaan suuntaan kuin lentokoneen potkurin vetovoima.

Kiitoradan kaltevuus voidaan kompensoida seuraavalla kaavalla;

$$sm = sh * (1/(1+(2*g*sh*\sin(\text{beeta})/V^2)))$$

jossa, **beeta** on kiitoradan kaltevuuskulma, positiivinen on ylämäkeä.

g on maan vetovoiman kiihtyvyys = 9,81 m/s²

Vasta/myötämän vaikutus C172 kokoiselle koneelle on seuraavanlainen;

mäki			maamatka		
Ylämäki	-1.7 deg	-2.9 %	321.2 m	117.9 %	+17.9 %
Ylämäki	-1.5 deg	-2.6 %	315.3 m	115.8 %	+15.8 %
Ylämäki	-1.3 deg	-2.3 %	309.7 m	113.7 %	+13.7 %
Ylämäki	-1.1 deg	-2.0 %	304.3 m	111.7 %	+11.7 %
Ylämäki	-1.0 deg	-1.7 %	299.0 m	109.8 %	+9.8 %
Ylämäki	-0.8 deg	-1.4 %	294.0 m	107.9 %	+7.9 %

Ylämäki	-0.6 deg	-1.1 %	289.1 m	106.1 %	+6.1 %
Ylämäki	-0.5 deg	-0.8 %	284.3 m	104.4 %	+4.4 %
Ylämäki	-0.3 deg	-0.5 %	279.8 m	102.7 %	+2.7 %
Ylämäki	-0.1 deg	-0.2 %	275.3 m	101.1 %	+1.1 %
	0	0	272,3	100 %	0
Alamäki	+0.1 deg	+0.1 %	271.0 m	99.5 %	-0.5 %
Alamäki	+0.2 deg	+0.4 %	266.8 m	97.9 %	-2.1 %
Alamäki	+0.4 deg	+0.7 %	262.8 m	96.5 %	-3.5 %
Alamäki	+0.6 deg	+1.0 %	258.9 m	95.0 %	-5.0 %
Alamäki	+0.7 deg	+1.3 %	255.1 m	93.6 %	-6.4 %
Alamäki	+0.9 deg	+1.6 %	251.4 m	92.3 %	-7.7 %
Alamäki	+1.1 deg	+1.9 %	247.8 m	91.0 %	-9.0 %
Alamäki	+1.3 deg	+2.2 %	244.3 m	89.7 %	-10.3 %
Alamäki	+1.4 deg	+2.5 %	240.9 m	88.4 %	-11.6 %
Alamäki	+1.6 deg	+2.8 %	237.6 m	87.2 %	-12.8 %

Jämijärven yläbaanan kaltevuus on noin 1,2 astetta. Elikä sen vaikutus on noin 10% lähtömatkaan.

Lentomassa vaikutus

Lentoonlähdomassan vaikutus suoritusarvoihin on yleensä esitetty lentokäsikirjan suoritusarvosassa. Tämä on myös helposti ja tarkasti laskettavissa. Massan pieneneminen parantaa koneen kiihtyvyyttä ja pienentää tarvittavaa irtoamisnopeutta.

Massan suora vaikutus voidaan kompensoida seuraavalla kaavalla;

$$sm = sh * (m_m / m_h)^2$$

jossa, m_m on halutun standardimassan arvo

m_h on mittaushetken massa

Tämä ei kuitenkaan kompensoi massan epäsuoria vaikutuksia, joita on esimerkiksi massan vaikutus irtoamisnopeuteen. Katso kappaleen loppupuolen kaavaa.

Cessna 172 koneen arvoilla saadaan maakiidoksi eri massoilla seuraavat arvot;

Lentoon- lähdomassa	maamatka		
1043 kg	299.6 m	100.0 %	+0.0 %
1014 kg	281.8 m	94.1 %	-5.9 %
985 kg	264.6 m	88.3 %	-11.7 %
956 kg	248.0 m	82.8 %	-17.2 %
927 kg	231.9 m	77.4 %	-22.6 %
899 kg	216.5 m	72.3 %	-27.7 %
870 kg	201.7 m	67.3 %	-32.7 %
841 kg	187.4 m	62.6 %	-37.4 %
812 kg	173.7 m	58.0 %	-42.0 %

Pinnan laatu

Lentokoneitten lentokäsikirjoissa olevat lähtökiidot on yleensä ilmoitettu kovalla kestopäällysteellä toimittaessa. Muista pinnoista on harvoin mainintaa.

Kirjallisuudesta on kerätty seuraavanlaisia arvoja kitkakertoimen arvoiksi:

kovan pinta	0,02
sora	0,04
lyhyt kuiva ruoho	0,05
pitkä ruoho	0,10
pehmyt maa	0,10 - 0,30

Kitkakertoimen vaikutus on vaikea kompensoida pois. Johtuu sen suuresta vaikutuksesta ja koska se muuttuu samallakin kiitoradalla paikasta toiseen. Siis mittauksia on tehtävä useita.

Esimerkki kitkakertoimen vaikutuksen on seuraavassa taulukossa, joka on laskettu lähtökiidon teorialla C172 koneelle.

Kitkakerroin	maakiito	ero	kiihtyvyys
0	238,9 m	100 %	0,2951 m/s ²
0,020	259,3 m	108,5 %	0,2924 m/s ²
0,040	283,4 m	118,6 %	0,2891 m/s ²
0,060	312,6 m	130,8 %	0,2851 m/s ²
0,080	348,4 m	145,8 %	0,2801 m/s ²
0,100	393,5 m	164,7 %	0,2739 m/s ²
0,120	452,0 m	189,2 %	0,2657 m/s ²
0,140	531,0 m	222,3 %	0,2545 m/s ²
0,160	643,4 m	269,3 %	0,2382 m/s ²
0,180	816,4 m	341,7 %	0,2126 m/s ²
0,200	1117,1 m	467,6 %	0,1662 m/s ²
0,220	1771,8 m	741,6 %	0,0560 m/s ²

Cessna 172 lentokäsikirja kehottaa kuivalta ruohikkokiitoradalta toimittaessa lisäämään 7% numeroarvosta "Nousu 15 m esteen yli". Koska vaikutus on vain maakiidossa, on tämä asioiden esittämistapa harhaanjohtava. Maakiito lisääntyy todellisuudessa 12,4 % eikä 7 %.

Huuru ja lika siivissä

Siivissä oleva huuru tai jää huonontaa siiven nosto-ominaisuuksia ja lisää vastusta. Jos oletetaan huurun pienentävän irtoamiseen käytettävää nostovoimakeroointia, suurenee irtoamisnopeus vastaavasti. Seuraavassa taulukossa on laskettu maakiidon lisääntyminen kun irtoamisen nostovoimakeroointia pienennetään. Ensimmäisen sarakkeen dCl luku on nostovoimakertoimen suhde 'puhtaan' siiven nostovoimakertoimeen. Siis toisella rivillä on irtoamisen nostovoimakerooin 2% pienempi kuin ensimmäisellä rivillä. Huurun vaikutusta vastukseen on vain lievästi mukana.

dCl	maamatka [m]	ero	lisäys	Irtoaminen
1,00	196,6 m	100,0 %	+0,0 %	113,0 km/h
0,98	204,1 m	103,9 %	+3,9 %	114,1 km/h
0,96	212,3 m	108,0 %	+8,0 %	115,3 km/h

0,92	230,5 m	117,3 %	+17,3 %	117,8 km/h
0,88	251,9 m	128,2 %	+28,2 %	120,5 km/h
0,84	277,4 m	141,2 %	+41,2 %	123,3 km/h
0,80	308,6 m	157,0 %	+57,0 %	126,3 km/h
0,76	347,5 m	176,8 %	+76,8 %	129,6 km/h
0,72	397,9 m	202,5 %	+102,5 %	133,2 km/h

Huurun ja muun lian vaikutus on hyvin voimakas. Huuru, joka aiheuttaa vain 10 solmun (18,52 km/h) lisäyksen sakkausnopeudessa lisää maakiitoa 89 %.

Koottuna kaikki laskennallisesti kompensoivat vaikutukset yhteen saadaan seuraava varsin monimutkaisen näköinen kaava.

$$sm = s1 * (Vlh/Vls)^{1,85} * (VI/(VI - VT))^{1,85} \\ * (ms / mh)^{2,3} * rooh / roos \\ * Fh / Fs$$

jossa, $s1 = vsh / (1 + (2 * g * sh * \sin(\text{beeta}) / Vlh^2))$

nokkapyöräkoneilla

$$Vls = Vlh * (ms / mh)^{0,5} * (rooh / roos)^{0,5}$$

ja kannuspyöräkoneilla

$$Vls = Vlh * (ms / mh)^{0,0,476} * (rooh / roos)^{0,5}$$

Näissä kaavoissa esiintyvät potenssit ovat tilastollista perua. Ne eivät välttämättä päde kovin-kaan hyvin kaikilla koneilla. Mutta jos ei parempaakaan ole voi niitä käyttää.

Esimerkiksi tuulitermin potenssille tuntuu olevan seuraavat arvot oikeita;

kirja-arvo 1.85

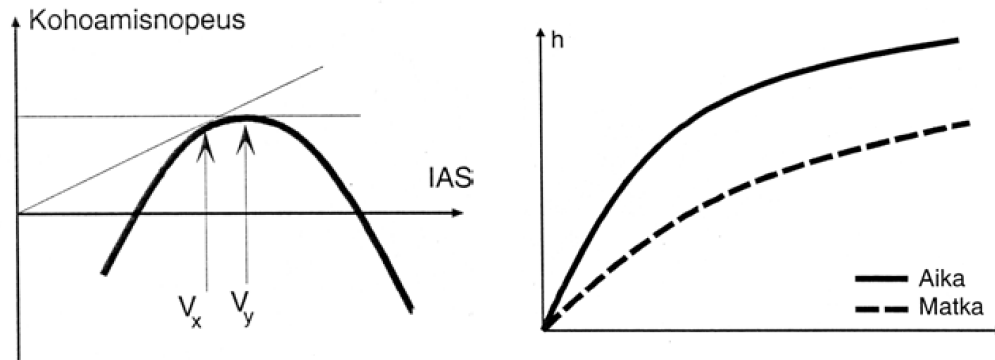
Piper Turbo Dakota 1.2

C172 1.95

Massatermille kirja-arvo on 2,3, Cessna 172:lla arvo 2,15 antaa parempia tuloksia.

8.3 NOUSUKYKY

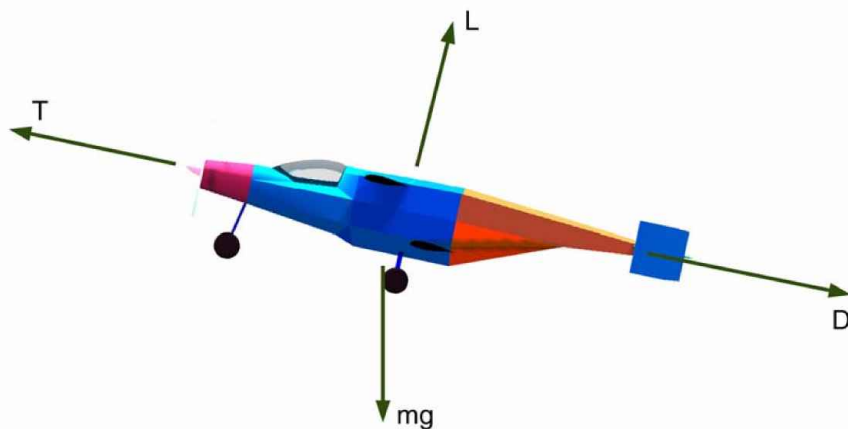
- Optiminousut
- Nousuaika ja -matka



8.4 Kohoamisnopeus

Nousulennossa konetta vetää eteenpäin potkurin vetovoima. Taaksepäin kiskoo koneen vastus ja koneen massan lentoradan suuntainen komponentti. Vastus taas riippuu (osittain) siiven nostovoimasta, joka pienenee, mitä jyrkemmässä kulmassa kone nousee.

Katso kuvaa.



Kuva, Koneeseen vaikuttavat voimat nousulennossa.

Kun eri voimia hiukan pyörittelee päädytään seuraavanlaiseen kaavaan nousunopeudelle;

$$w = \frac{\frac{P\eta}{V} - \frac{1}{2}\rho V^2 S \left\{ C_{d0} + K \left(2mg \frac{\cos \beta}{\rho V^2 S} \right)^2 \right\}}{mg}$$

$$\begin{aligned} \text{jossa; } \beta &= \arcsin(w/v) \\ w &= \text{kohoamisnopeus} \end{aligned}$$

Elikä siis, jos nousu suoritetaan vakiomittarinopeudella, vakiona pysyy siipipinta-ala (S), vastusterman vakiot C_{d0} ja K ja maan vetovoiman kiihtyvyys (g). Kaikki muu muuttuu koko ajan!

Tosinopeus (v) suurenee korkeuden kasvaessa, ρ pienenee korkeuden kasvaessa, teho (P) pienenee korkeuden kasvaessa, potkurin hyötysuhde (η) yleensä suurenee tosinopeuden kasvaessa (tällä nopeusalueella), ratakulma (β) pienenee korkeuden kasvaessa ja koneen massa pienenee ajan kuluessa. Mutta antaa muuttua ja unohdetaan koko lauseke.

Yleensä mittauksia tarvitaan käsikirjaa varten, jolloin tarvitaan parhaan kohoamisnopeuden ja parhaan nousukulman antavaa nopeutta. Ja vähäisemmässä määrin kohoamisnopeuden numeroarvoa. Kaavan opetus olkoon se, että saatava tulos on suuressa määrin keskiarvo muuttuvista olosuhteista ja muuttuvat olosuhteet on syytä minimoida. Kun tehdään esimerkiksi sahalaitanousuja parhaan nousunopeuden löytämiseksi, muuttuu koneen massa. Eli sitä kautta samalla lennolla myöhemmin tehdyt nousut käyvät nopeammin kuin alussa tehdyt. Vaikka massan muutos on pieni, eri nousujen välillä luokkaa 1-2 kg, näkyy se kohoamisnopeudessa ja voi viedä arvion parhaasta nopeudesta pielen jollei asiaan varaudu. Massan muutosta voi kiertää esimerkiksi ajamalla ensin nousuja suuremmasta nopeudesta pienempään päin ja sitten heti perään suurempaan nopeuteen päin.

Esimerkiksi ajetaan nousut nopeuksilla 140, 130, 120, 110, 100, 110, 120, 130 ja 140. Massan muutos voidaan kompensoida myös laskennallisesti.

Sahalaitanousujen suoritustekniikka on seuraava. Valitaan jokin korkeusväli. Sopiva väli on sellainen jonka nousemiseen menee noin minuutti. Aloitetaan nousu noin 100 m tätä korkeutta alemmasta, siten, että trimmataa kone ensin haluttuun nousunopeuteen (vaakalentoon), sitten avataan kaasua ja pidetään nopeus vakiona. Kone alkaa kohota ja kello käynnistetään kun alempi valituista korkeuksista läpäistään. Koneen läpäistessä ylemmän valituista korkeuksista kello seis ja asiat paperille. Alaspäin mennessä voi sitten mitata liitoarvoja tyhjäkäynnillä. Näin saadaan eri nopeuksille kohoamisnopeusarvoja jotka sitten siirretään (vaakanopeus-pystynopeus) asteikolle ja suoritetaan tulosten tasoitus.

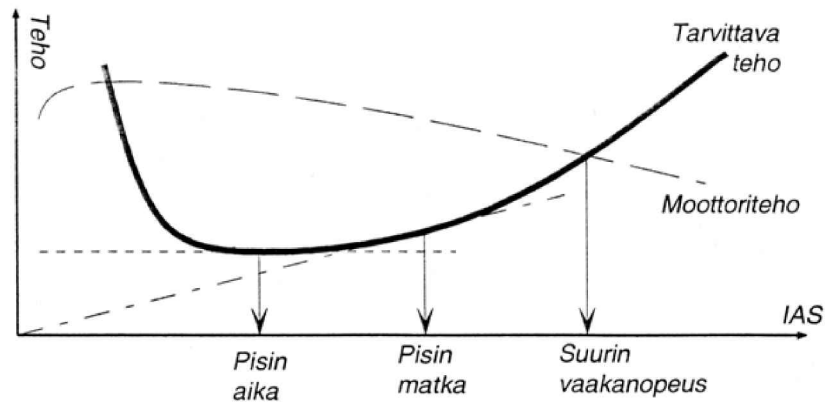
8.5 Lakikorkeus

Kun parhaan nousunopeuden nopeus (VY) on saatu määriteltä, voidaan tehdä jatkuva mittausnousu. Eli lennetään kaasua auki alhaalta niin ylös kuin päästään, ja mitataan ajat eri korkeuksille. Tällä tavalla saadaan myös hetkelliset kohoamisnopeudet paremmin kuin sahalaitanousuilla. Eli otetaan ylös ajat nousun aloittamisesta joillekin korkeuksille (joka 200-300m). Nopeus pidetään oikeana (vastaten esimerkiksi parhaan kohoamisnopeuden nopeutta) ja teho säädetään moottorin mukaan parhaaksi. Ajoista voidaan laskea aika esim välille 1500-1800 m, josta saadaan (keskimääräinen) kohoamisnopeus tälle korkeusvälille. Johtuen kohoamisnopeuden muuttumistavasta korkeuden muuttuessa on edellä saatu arvo hyvä arvio kohoamisnopeudesta korkeudella 1650 m. Kohoamisnopeus kun muuttuu varsin lineaarisesti korkeuden mukaan. Kun arvoja on piirretty (paperille) eri korkeuksille, voidaan piirtää suora (tai käyrä), joka käy (suunnilleen) edellä saatujen pisteiden kautta. Siellä missä suora leikkaa 0,5 m/s kohoamisnopeuden on käytännön lakikorkeus.

Ja suoran leikkauskohdasta 0 m kohdalla saadaan kohoamisnopeus merenpinnan tasalla. Mikä muuten on hankala mitata, koska sahalaitanousu pitäisi aloittaa merenpinnan alapuolelta!

8.6 VAAKALENTOSUORITUSARVOT

- Optiminopeudet lentomatalle ja -ajalle
- Normaalit matkalentonopeudet, lentomatkalla ja -aika
- Polttoaineenkulutus eri nopeuksilla



Moottoriteho

Jotta mitatulla vaakalentonopeudella (paitsi maksiminopeus) olisi jotain käyttöä, esimerkiksi lennonsuunnittelussa, on tiedettävä mikä on käytetty moottorin teho. Tehtäessä teho/nopeus taulukkoa potkurin hyötysuhde voidaan unohtaa. Moottoriteho voidaan arvioida esimerkiksi moottorivalmistajan taulukoista tai käyrästä. Käyrästä voidaan käyttää moottorin pyörimisnopeus, ahtopaine, imuilman lämpötila ja painekorkeus.

Käyrästä virheet eri syistä johtuen ovat aika suuret (virhe alle 5%), mutta yleensä ei muuta mahdollisuuttakaan ole.

Vaakalentonopeus

Kun lentokone lentää vaakalentoa ovat vastus (D) ja työntövoima (T) yhtäsuuret. Kun kone nousee tai liukuu tulee koneen massasta lentoradan suuntainen komponentti mukaan. Samoin jos nopeus suurenee tai pienenee aiheuttaa lentoradan suuntainen kiihtyvyys pienen komponentin.

Työntövoima on

$$T = \frac{P\eta}{V}$$

jossa; P = teho [watteja]
 V = nopeus [m/s]
 η = potkurin hyötysuhde

Vastus on

$$D = 0,5\rho V^2 S (C_{d0} + KC_l^2)$$

jossa; K = kerroin
 Cl = nostovoimakerroin

Vastus on edelläolevassa kaavassa esitetty parabolisessa muodossa, joka riittää useimpiin tarkoituksiin.

Eli vaakalennossa työntövoima vähenee nopeuden kasvaessa ja vastus kasvaa. Tilanne on (nopeuden suhteen) varsin stabiili, eli helppo mitata.

Vakiokorkeudella lentäminen (vakioteho asetuksella) taasen ei ole helpoimpia tehtäviä. Korkeuden muutos voidaan ottaa huomioon kuitenkin tehokorjauksena. Tehokorjaus (dP) on;

$$dP = m g (-dh/dt) 1/\eta$$

jossa; dh/dt on korkeuden muutos

Esimerkiksi; jos kone painaa 770 kg, potkurin hyötysuhde on 0,78 ja korkeus muuttuu 5 metriä minuutissa on vastaava tehokorjaus

$$dP = 770 \cdot 9,81 \cdot 5/60 \cdot 1/0,78 = 807 \text{ W}$$

$$\text{eli noin} = 1,1 \text{ hp}$$

eli tämä varsin pieni korkeuden muutos (83 mm/sekunnissa) vastaa melkoista tehoa. Jos moottori olisi Continental O-200 niin pienellä teholla tämä ero olisi helposti 3%.

Jos kone nousee on dP negatiivinen, jos kone liukuu on dP positiivinen. Asian voi ajatella siten, että koneen liukuessa kone saa korkeudenmuutoksesta energiaa ja koneen noustessa osa tehosta menee korkeuden lisäämisestä. dP on varsin iso, vaikka korkeuden muutos on hyvin pieni. On helpompi antaa korkeuden muuttua, kuin yrittää lentää tasan vakiokorkeutta! Tarkan vaakalentotrimmin löytämiseen menee aikaa, koska nopeuden muuttuminen on ensin tapettava. Kun korkeuden muutos sallitaan, voidaan kone asettaa vakiotrimmiin, ja antaa nopeuden vakiintua, jonka jälkeen suoritetaan varsinainen mittaussajo.

Vaakalentosuorituskyvyn mittaustekniikka

Valitaan mittauskorkeus ja massa. Massa on määritettävä ennen lentoa ja lennon jälkeen. Valitulla korkeudella stabiloidaan kone hieman mittauskorkeutta suuremmalle korkeudelle.

Säädetään haluttu tehoasetus, trimmataa kone. Sitten kone työnnetään loivasti mittauskorkeuteen. Kun nopeus on vakiintunut (suuremmasta nopeudesta) aloitetaan mittaussajo. Merkitään kellonaika, korkeus, teho, ja nopeus. Käynnistetään kello.

Lennetään vakionopeudella. Sopivan ajan kuluttua (minuutti) rekisteröidään korkeuden muutos. Kun mittaussuoritus on pieni (lähellä tai alle parhaan liitoluvun nopeutta) on korkeuden pito lähes mahdotonta vakionopeudella lentäen. Näillä nopeuksilla on kokeiltava useita tehoasetuksia siten, että saadaan sekä kohoavia että vajoavia mittaus ajoja.

Totuus löytyy sitten näistä interpoloiden. Tehokorjaukseen tarvittava massa saadaan interpoloiden lähtö ja loppumassasta, kun mittaussajon kellonaika on tiedossa.

Vaakalentosuoritusarvot kiintopotkurikoneilla

Jos koneessa on kiintopotkuri eikä ahtopainemittaria, vaikeutuu tehon määrittely oleellisesti.

Samaten, kun moottorin tehoa ei voida katsoa taulukoista ei kulutuksesta ole tarkempaa tietoa. Vaakalentonopeus tuki saadaan määriteltä samalla tavalla, korkeuden muutoksen on oltava pieni (noin nolla) koska tehokorjausta ei oikeastaan voida käyttää.

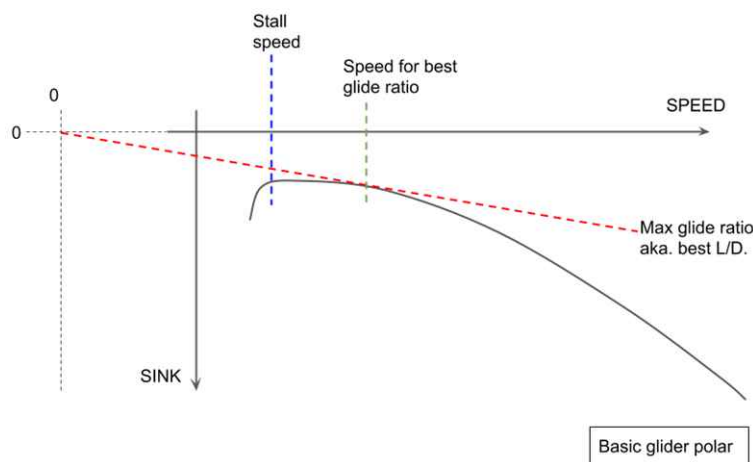
Kulutuksen suhteen ainoa tapa on lentää tietyllä kierrosluvulla ja mitata kuinka paljon polttoainetta kuluu tietyssä aikana (hidasta hommaa).

8.7 LIUKU

On erittäin hyvä tietää miten paljon kone menettää korkeutta minuutissa tai mikä on liukuluku (korkeuden menetys suhteessa edettyyn matkaan) moottori tyhjäkäynnillä tai sammutettuna.

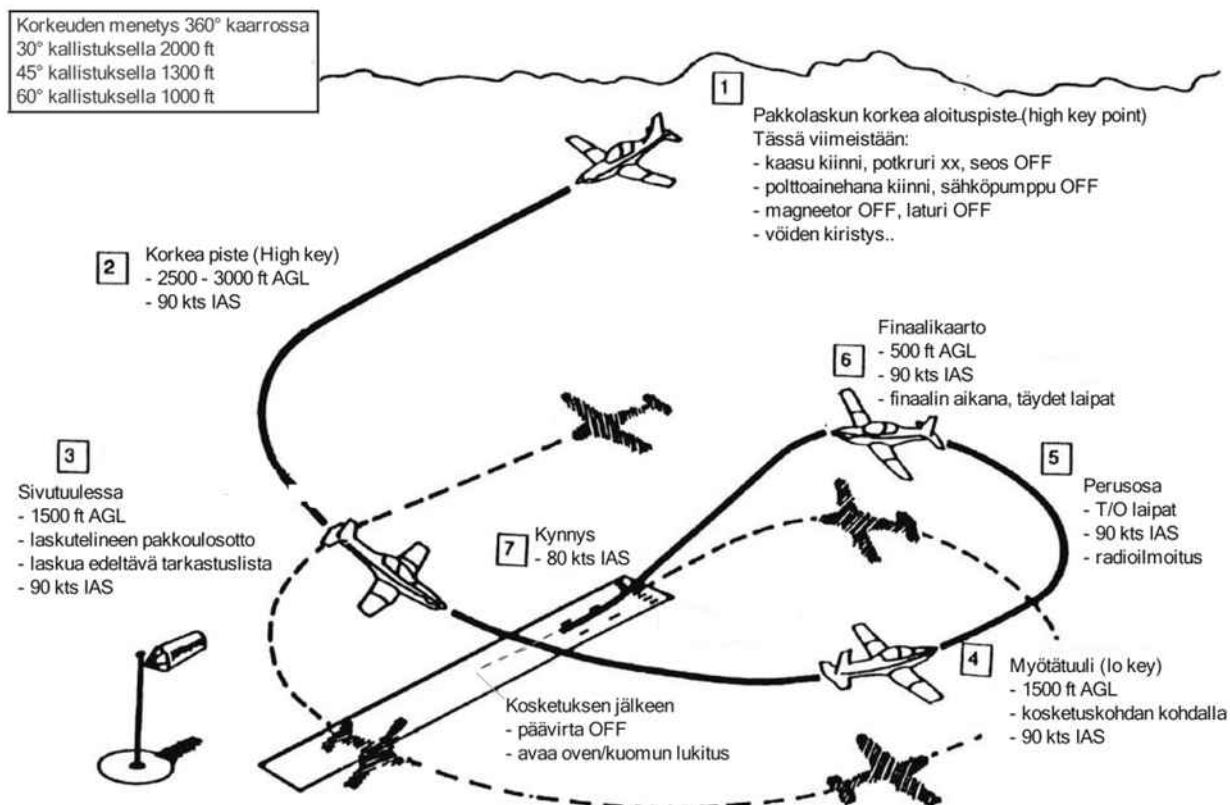
Suoritustekniikka sama kuin nousunopeuden määrittämisessä. Ja kannattaakin tehdä limittäin. Eli mitaten sekä nousu että liuku.

- Liukumatka ja -aika, normaali moottoriliuku / tyhjäkäyntiliuku



8.8 PAKKOLASKUKUVIO

Kokeile ja harjoittele sopiva pakkolaskumenetelmä. Kirjaa suositellut nopeudet, korkeudet lento-ohjekirjaa varten.



9 JÄRJESTELMÄ KOKEET

9.1 Moottori

Moottoriin liittyvistä mittauksista tärkeimmät moottorin hyvinvoinnin kannalta ovat lämpötiloihin liittyvät. Moottorin jäähdytysjärjestelmän on toimittava siten, ettei moottorin lämpötilarajoja ylitetä normaalitoiminnassa. Moottorin käsikirjasta (lentokonemoottori) löytyvät moottorin raja-arvot. Uudella koneella on kuitenkin ensimmäisenä varmistettava, että moottori saa polttoainetta riittävästi ja riittävällä paineella. Varsinkin putouspaineella toimivissa järjestelmissä tässä voi esiintyä ongelmia.

Jäähdytys

Moottorin lämpötila nousee suurella teholla ja pienellä nopeudella lennettäessä. Suora mittaus, esimerkiksi sylinterinpään lämpötilamittarilla kertoo miten lämpötila käyttäytyy (yhdessä?) sylinterissä. Vain jokaisessa sylinterissä olevalla mittarilla voidaan varmistua järjestelmän toiminnasta.

Liiallinen kuumeneminen on saatava rajoihin, moottori ei kestä sitä. Keinot ovat joko jäähdytyksen parantaminen tai lämmöntuoton pienentäminen. Lämmöntuottoon voi vaikuttaa polttoaineen seoksella, tehoasetuksella sekä pakoputkistolla. Pakoputkiston avartaminen laskee useimmiten moottorin lämpötilaa.

Mikäli koneeseen ei ole hankittu jokaisen sylinterin mittaavaa sylinterinpäänmittaria (CHT mittari), voidaan jäähdytyspellistöjen kunto kuitenkin varsin yksinkertaisesti mitata. Mitataan siis järjestelmän mahdollisuutta jäähdyttää sylintereitä.

Ilmajäähdytteisen moottorin jäähdytys perustuu siihen, että sylintereiden eri puolille järjestetään paine-ero. Tämä paine-ero sitten pakottaa jäähdytysilman sylinterin ripojen läpi. Mikäli paine-ero on riittävä ja ohjauspellit ovat edes vähän sinnepäin, moottori jäähtyy tai jos ei niin polttoaineseoksissa on jotain pahasti pielessä.

Paine-ero järjestetään yleensä siten, että ilma otetaan eteenpäin suuntautuvalla aukolla ja ilma poistetaan taaksepäin suuntautuvalla aukolla.

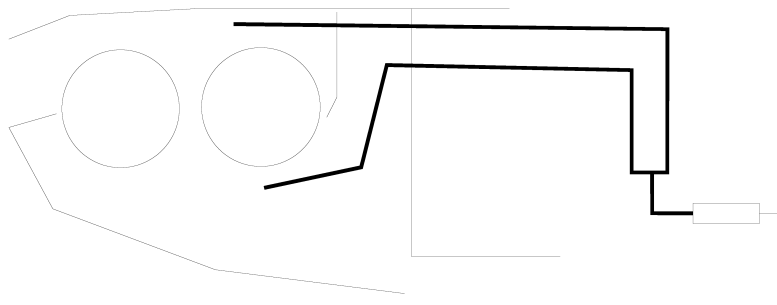
Tarvittavasta paine-erosta esimerkiksi 'Lycoming aircraft engine installation manual' antaa seuraavan taulukon:

Moottori	paine-ero [cm vesipatsas]
O-320	14,0
O-360-A1A	16,5
O-540-B1A	14,0

Nämä arvot riittävät siis tietyillä oletuksilla ilman lämpötiloista, korkeudesta ilmanoton muodoista jne. Mutta jos järjestelmä pystyy kehittämään noin 15 cm vesipatsasta vastaavan paine-eron sen pitäisi pystyä jäähdyttämään ainakin Lycoming moottoreita.

Paine-ero on määritelty seuraavasti; tarkasteltavan sylinterin päällä oleva kokonaispaine miinus saman sylinterin takana oleva staattinen paine. Tämä saadaan mitattua asentamalla sylinterin päälle putki siten, että sen pää osoittaa tulevaan virtaukseen. Mitataan siis pitot paine sylinterin

päällä. Takapaine saadaan asentamalla sylinterin alle putki siten, että saadaan mitattua staattinen paine. Putken pää kun asetetaan poikittain virtaukseen ja tehdään muutamia reikiä putken kylkeen, niin saadaan karkea arvioarvo staattiselle paineelle. Putket johdetaan ohjaamoon ja kytetään toisiinsa T-kappaleella. T-kappaleen varteen kiinnitetään iso injektioruisku joka on täynnä vettä. Molemmat letkut asetetaan pystysuoraan ja taakse liimataan senttimetriasteikko. Injektioruiskulla saadaan säädettyä vesipatsaan alemmaa haaraa niin, että se on senttiasteikon nollakohdassa. Ylemmästä vesitasosta saadaan luettua paine-ero sentteinä vesipatsasta.



Putkeksi käy läpinäkyvä ohut muoviletku parhaiten.

km/h	vesipatsas [cm]	Kohtuullinen järjestelmän paine-ero [cm vesipatsas]
60	1,7	2,6
70	2,4	3,5
80	3,1	4,6
90	3,9	5,9
100	4,8	7,2
110	5,8	8,7
120	6,9	10,4
130	8,1	12,2
140	9,4	14,2
150	10,8	16,3
160	12,3	18,5

Paine-ero mitataan sitten eri nopeuksilla ja täydellä teholla. Kidusten, jos on, teho saadaan helposti todettua.

Mikäli moottori käy kuumana ja paine-ero on pieni, on tämä mittaus tekniikka nopein tapa todeta muutosten vaikutus. Ei tarvitse suorittaa pitkää nousua suurella teholla ja odottaa lämpötilojen tasaantumista. Tarvittava mitta-arvo saadaan, yhdestä vertailunopeudesta, laskukierroksen aikana jo alkunousun aikana.

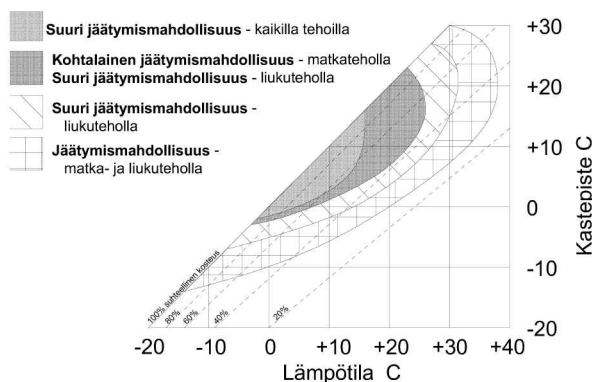
Mutta jos moottori käy kuumana ja paine-ero on suuri (em taulukon mukainen), ilman läpimenoon vaikuttamalla ei ole saatavissa enempää jäähdystystehoa, vaan parannus on saatava jostain muualta.

Ilman otto (painepuoli) toimii yleensä hyvin, se pystyy hyödyntämään noin 80-100% kineettisestä paineesta. Ilman poisto moottorilasta ei ole aivan niin tehokas, kohtuullisen hyvin muotoiltu kidusaukko pystyy kehittämään noin 50% kineettisestä paineesta olevan alipaineen moottorin taakse. Eli kohtuullinen ilmanohjaus saa noin 150% kineettisestä paineesta olevan paine-eron sylinterien ohi.

Imuilman lämpötila

Suomessa moottorin imujärjestelmän jäätyminen on todellinen vaara. Alussa järjestelmän toimintaa voidaan parhaiten seurata seoslämpömittarilla ja ahtopainemittarilla. Seoksen lämpötilalla tutkaillaan jäätyismahdollisuutta (katso kuva). Moottorin imujärjestelmän jäätyminen näkyy ensimmäisenä ahtopaineessa. Jos ahtopaine laskee ilman syytä voi syynä olla jäätyminen. Jäätyminen kuristaa ilmanottoa, joten sen pitääkin alentaa ahtopainetta.

Lämmin imuilma ei ole toivottava tilanne, muuta kuin liuun aikana. Lämmin imuilma pienentää moottorin tehoa.



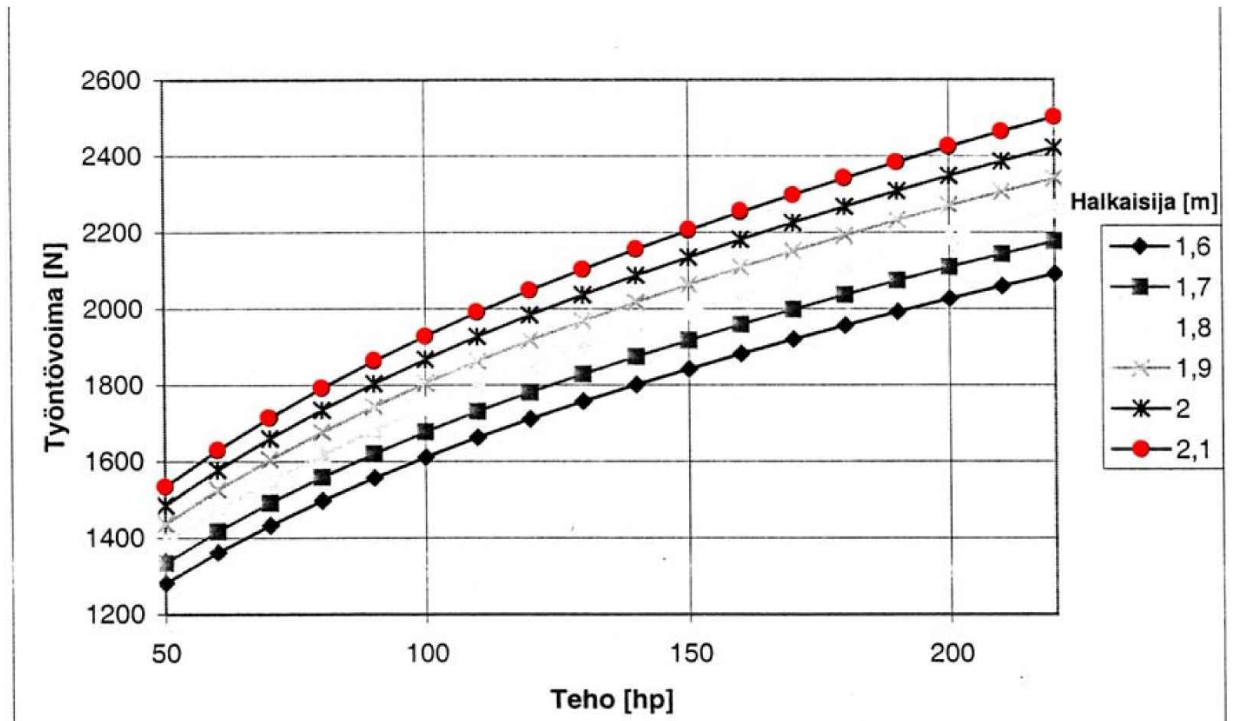
Kun tutkitaan järjestelmän jäätymisherkkyyttä, on vallitseva kosteus otettava huomioon.

Havainnoilla on merkitystä vain silloin kun jäätyismahdollisuus on olemassa. Oheinen kuva kertoo mikä ilman lämpötila/kosteus on oltava jotta jäätymisherkkyydestä voidaan antaa todellinen lausunto. Se että moottori ei osoita jäätymisherkkyyttä olosuhteissa, joissa jäätymisvaara on olematon, ei tarkoita että moottori ei jäädy. Ei pidä tuudittautua väärään turvallisuudentuntemukseen. Vain jos moottori ei tunnu jäätyvän lämpötilan ollessa sopiva ja ilmassa on runsaasti kosteutta eikä moottori tunnu jäätyvän millään tehoasetuksella voi järjestelmä olla sellainen, ettei se jäädy herkästi.

9.2 Staattinen työntövoima

Ennen lentotoiminnan aloittamista moottori / potkuriyhdistelmän staattinen työntövoima pitää mitata. Se on erinomainen turvallisuusvarmistus. Staattinen työntövoima antaa erinomaisen kuvan koko voimalaitekokonaisuuden toiminnasta. Samalla saadaan käsitys lentoonlähdön onnistumismahdollisuudesta.

Moottoritehon ja potkurin halkaisijan avulla voidaan karkeasti arvioida miten paljon työntövoimaa potkurin pitäisi kehittää. Oheinen kaavio antaa oletusarvon mitä työntövoimaa on lupa odottaa mittauksesta. Lopulliseen staattiseen työntövoimaan vaikuttavat lapojen määrä, pyörimisnopeus, lavan geometria jne.



Lento-ohjauksen matkaan ja alkunousuun vaikuttaa myös työntövoima kohoamisnopeudella.

Staattinen työntövoima vaikuttaa siihen miten nopeus kiihtyy lähtökiidon alussa. Se taas vaikuttaa ratkaisevasti lähtökiidon pituuteen.

Sopivana ohjearvona on seuraava:

- Työntövoima >33% suurimmasta lentomassasta; hyvät mahdollisuudet lento-ohjauksen onnistumiseen.
- Työntövoima <25% suurimmasta lentomassasta; lento-ohjauksen tuskasta.
- Mikäli työntövoima on näiden välillä (eli 25% - 33% lentomassasta) muiden tekijöiden vaikutus on arvioitava. Tällöin lentomassan kasvattaminen on suoritettava pienin pykäläin.

Työntövoiman mittaaminen suoritetaan päällystetyllä alustalla, joka on mahdollisimman vaakasuora.

Tuuli tyyni tai jos tuulee nokka tuulta päin. Yksinkertaisin (järjestelyiltään) on mitata vetovoima jousivaalla. Eli köysi johonkin painavaan kiinni, vaaka väliin ja toinen pää koneen pyrstöön.

Köysi suhtkoht vaakasuoraan jottei se vedä konetta vinoon.

Sitten vaan (lämmen moottori) kaasua auki ja lukema ylös. Voima on helppo varsin suuri, joten varmistu että paikat kestää.

Koneella on pieni lepokitka, joka vähentää mitattua arvoa. Sen voit mitata vetämällä (moottori sammuneena) konetta varovasti. Juuri kun kone on liikahtamassa vaaassa näkyy suurin arvo. Se on lepokitka (yleensä noin <0,5 % koneen massasta) jonka voit lisätä staattiseen työntövoimaan.

9.3 Polttoainejärjestelmän virtaus

Polttoainejärjestelmän on pystyttävä tarjoamaan kaasuttajille riittävästi polttoainetta.

Järjestelmän tuoton voit mitata seuraavasti:

Irrota kaasuttajalle (kaasuttajille) menevä polttoaineletku.

Järjestä samalle korkeudelle astia, johon tämä letku lorottaa (lappoa ei saa syntyä).

Avaa hanat ja käynnistä pumpput.

Mittaa kuinka kauan esim 2 litraa kestää lorottaa, tai monta litraa lorottaa kahdessa minuutissa.

Jos mitaat kauanko 2 litraa kestää tulla:

$Tuotto = 2 / (3600 / \text{aika sekunteina})$

Jos mitaat monta litraa tulee kahdessa minuutissa:

$Tuotto = \text{litrat} / (3600/120)$

Moottorin tarpeen saat selville käsikirjasta.

Polttoainevirtauksen verrattuna moottorin suurimpaan kulutukseen on oltava:

(a) putospainejärjestelmässä 1,50-kertainen ja

(b) pumppujärjestelmässä 1,25-kertainen, sekä varsinaiselle että mahdolliselle varapumpulle.

9.4 Nopeusmittarin kalibrointi

Jotta lentokoneella voisi operoida turvallisesti on ilmanopeutta voitava jollain tarkkuudella mitata. Joku voi sanoa, ettei mittarin tarvitse näyttää oikein, koska suurin osa nopeusrajoituksista on tavallaan suhteellisia. Sakkausnopeuden tarkalla arvolla ei sinällään ole merkitystä (paitsi jos koneen pitää sopia koneluokan vaatimuksiin), mutta turvalliseen lento-olähtöön ja laskuun tarvitaan nopeus joka on tyypillisesti 30% suurempi kuin sakkausnopeus (tyhjäkäynnillä). Kuinka tämän voi määritellä jos mittarin virhe esimerkiksi muuttuu nopeasti sakkausnopeuden tienoolla. Tämä on turvallisuustekijä! Paras keino on siis tehdä koneen nopeusmittarijärjestelmästä mahdollisimman hyvä.

Monessa kaupallisessa koneessa syy omituiseen järjestelmään on sen helppo valmistettavuus.

Piper'n koneissa käytetty järjestelmä, jossa pitotpaine ja staattinen paine otetaan samasta anturista siiven alta, on helppo asentaa mutta oli alun perin erittäin vaikea saada toimimaan kunnolla. Kotitekoisilla koneilla näin asennuksessa säästävää 15 minuuttia on tyhmää toimintaa.

Tee järjestelmä alunperin mahdollisimman hyväksi, niin säästät sen moninverroin järjestelmää kalibroitaessa.

Hyvä systeemi on useimmissa koneissa sellainen, jossa staattinen paine otetaan rungon kyljistä (kahtapuolen) siiven ja korkeusperäsimen puolivälistä. Kokonaispainelle tämä on sitten erittäin huono paikka.

Kokonaispaine (se pitot putken eteenpäin osoittava reikä) esimerkiksi siiven alta potkurivirran ulkopuolelta. Kokonaispaineen putken toiminta on herkkä kohtauskulmalle. Johon se siiven alapuolella oleva kohta on hyvä, koska siipi oikaiseen ilmavirtausta. Siiven alla taas staattinen paine muuttuu nopeasti paikan ja lentotilan muuttuessa.

Staattisen paineen järjestelmän asemavirheeseen muuttuu jos koneen kohtauskulma muuttuu (ja Mach'n luvun muuttuessa). Koska kalibrointi muilla kuin kuormitusmoninkerran arvolla 1 on hankala suorittaa, pitäisi erityisesti taitolentokoneiden järjestelmän olla luonnostaan hyvä.

Koneen ensilennolla ei ole turvallisuussyistä viisasta suorittaa oikeaa kalibrointia. Hyvä konsti (muistakin syistä) on käyttää seurantakonetta. Lennetään vierekkäin ja verrataan nopeusmittareiden lukemia. Karkean arvioin nopeusmittarin toiminnasta saa jo rullauskokeissa, jos vario-metrin osoitus on kiidon aikana pieni, on staattinen järjestelmä suhtkoht kunnossa, suuri näyttö nopeuden kiihtyessä/hidastuessa kertoo suuremmasta virheestä staattisessa järjestelmässä.

Järjestelmän asemavirheen määrittäminen edellyttää itse mittarin kalibrointia, eli mittarin sisäisen virheen mittausta. Koska nyt ei ole kyse sarjatuotantoon tulevasta konetyypistä, voidaan asema- ja mittarivirheet niputtaa, ja mitata koko systeemin virheet kokonaisuutena.

Kalibrointi erillisellä järjestelmällä

Tästä on kirjoitettu erillinen ohje, katso sieltä.

HTO-002

Itse laahus on helppo toteuttaa, mutta tähän tarvitset toisen nopeusmittarin.

Tämä laahuksen käyttö on helpoin tapa, ja se on ainut tapa, jolla nopeat tapahtumat, kuten sakkausnopeus ja virhe sen lähellä, pystytään mittaamaan luotettavasti. Ja myöskin ainut tapa, jolla mittarivirhe punaisen viivan tuntumassa pystytään mittaamaan. Kone kuin kone nimittäin vajoo VNE nopeudella, jolloin rata-ajo tai GPS eivät ole oikeastaan mahdollisia. Et halua lentää VNE nopeudella turhaa pitkiä aikoja ja korkeus muuttuu mittauksen aikana ja paljon.

Kalibroinnin suoritus rata-ajolla

Toinen kalibrointiin tapa experimental miehelle/naiselle on niinsanottu rata-ajo. Lentokoneelle tarvitaan kuitenkin lentotunteja ja rata-ajo on mukavan rauhallista lentämistä koelentovaiheen alkuosalle. Lennetään tietty matka ja siihen käytetty aika on kääntäen verrannollinen nopeuteen. Tarvitaan siis tarkkaan mitattu matka maastossa ja sekunttikello. Matkan voi mitata vaikka peruskartasta. Mittamatkan kummassakin päässä on oltava poikittainen (kohtisuorassa reittiä vasten) maastomerkki, esimerkiksi tie on hyvä merkki. Matkan pitäisi olla riittävän pitkä, jottei ajan mittaamisessa tuleva virhe vaikuta liiaksi. Sopiva pituus on ainakin kahden minuutin lentämiseen tarvittava matka. Liian pitkä rata taas lisää olosuhteista (tuulesta) aiheutuvaa virhettä, eikä oleellisesti lisää mittaustarkkuutta.

Radasta mitataan kartalta nimellissuunta, jota (+eranto) käyttäen mittauslennot suoritetaan.

Tuulikorjausta EI saa käyttää.

Rata lennetään tasaisella mittarinopeudella ohjaussuuntaan joka on radan suunta, riippumatta tuulesta. Radan lentämiseen menevä aika mitataan sekunttikellolla. Matka jaetaan ajalla jolloin saadaan tosimaanopeus eri suuntiin.

Näiden keskiarvo on tosi-ilmanopeus tällä mittarinopeudella. Tiheyskorkeuden kautta päästään käsiksi todelliseen kalibroituun mittarinopeuteen. Näin saadaan tavoitteena oleva IAS / CAS taulukko. Mittauslento on tehtävä pienessä lentokorkeudessa.

Tietenkin määräyksiä noudattaen. Pieni lentokorkeus vähentää ajanottovirheitä. Pienestä korkeudesta johtuen olisi turbulenssin syytä olla vähäistä, eli tuulen ja tinttien läsnäoloa ei kaivata. Lento on tehtävä mahdollisimman tasaisella mittarinopeudella, korkeuden muuttumista ei tarvitse varoa, kohtuuden rajoissa toki.

Mittaamalla tosimaanopeus molempiin suuntiin ja ottamalla niiden keskiarvo saadaan koneen tosi-ilmanopeus. Tosi-ilmanopeudesta saadaan kalibroitu mittarinopeus kertomalla se tiheyssuhteen neliöjuurella. Eli:

$$CAS = TAS \sqrt{\frac{\rho}{\rho_s}}$$

jossa, ρ on tiheys lentokorkeudella
 ρ_s on tiheys merenpinnan tasalla (eli 1,225)

Esimerkki: Mittausradan suunta on 090 astetta ja oletetaan eranto nolllaksi. Mittaradan pituus on nimellissuuntaan 6000 metriä. Esimerkin vuoksi oletetaan koneen lentävän tasan 180 km/h tosinopeudella.

Tyynellä radan lentämiseen kuluu kumpaankin suuntaa 120 sekuntia. Tosi-maanopeus (TGS) on molempiin suuntiin siten

$$TGS = 6000 / 120 = 50 \text{ m/s}$$

Yksikönmuunnos nopeudesta m/s yksikköön km/h tapahtuu kertomalla se 3,6:lla (=60*60/1000). Tosi-ilmanopeus (TAS) on tyynellä sama kuin TGS eli $50 \cdot 3,6 = 180 \text{ km/h}$.

Jos vallitsee itätuuli vaikka 10 solmua on maanopeus itäänpäin $180 - 10 \cdot 1,852 = 161,48 \text{ km/h}$ ja länteenpäin $180 + 10 \cdot 1,852 = 198,52 \text{ km/h}$. Lentämällä lentoajat olisivat itäänpäin 133,8 sekuntia ja länteenpäin 108,8 sekuntia. Lentonopeus ilman suhteen saadaan ottamalla keskiarvo nopeuksista eri suuntiin. Eli ilmanopeus ;

$$TAS = (161,48 + 198,52)/2 = 180,0 \text{ km/h}$$

Kun tuuli on sivusta, ohje on siis edelleen lentää ohjaussuuntaan 090 ja 270. Jos otetaan tuulikorjausta käy näin; Oletetaan 10 solmun pohjoistuuli. Tuulikorjaus olisi 5,9 astetta pohjoiseen päin, eli ohjaussuunta joko 84,1 tai 275,9 astetta. Maanopeus kumpaankin suuntaan olisi 179,0 km/h, aikaa kuluu 120,6 sekuntia. Tällöin pitäisi tietää hyvin tarkkaa todellinen tuuli ja lopputulos on väärä!

Mutta kun annetaan tuulen sortaa konetta, koneen maanopeuden komponentti suuntiin 090 ja 270 ei muutu, ollen edelleen 180 km/h. Kone tosin sortuu ja lentosuunta on 95,87 tai 264,13 astetta ja maanopeus on tähän suuntaan 180,95 km/h. Kone siis sortuu radan päähän mennessä 617 metriä etelään päin. Tästäkin syystä on maamerkki radan päässä hyvä olla kohtisuorassa reittiä vasten oleva suora linja. Lentoon radalla kuluu kumpaankin suuntaan tasan 120 sekuntia. Eikä tarvitse välittää tuulesta mitään, kunhan ohjaussuunta on vain radan suunta.

GPS käyttö

Tämä tuntuu helpolta, mutta on oikeasti varsin ongelmallinen. Se on kuin rata-ajo, mutta 20 - 50 m pituisella radalla.

GPS näyttää tosinopeutta, joten kaikki edellä olevat laskennat pätevät tähän. Mutta oikeassa rata-ajossa radan pituus tasoittaa tuulen aiheuttamaa virhettä. GPS näyttää tosinopeuden jokaisen puuskan kohdalla eritavalla, siitä kun ei yleensä saa liukuvaa keskiarvoa.

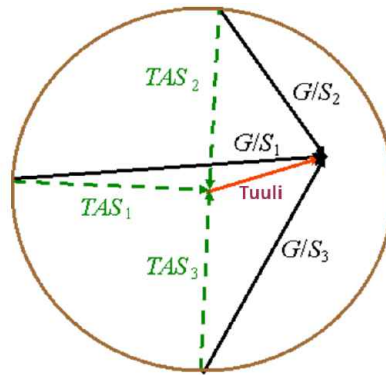
Seuraavassa on selitetty GPS:llä tehtävää rata-ajoa, jossa käytetään kolmea suuntaa, joista saadaan arvio todellisesta tuulesta. Tämän menetelmän etuna perinteiseen rata-ajo mittaukseen verrattuna on, että sitä ei tarvitse lennättää lähellä maata, joten se voidaan tehdä erittäin hitailla nopeuksilla, kunhan lentokone pysyy vakaana vakionopeudella, korkeudella ja suunnalla. Tämä menetelmä voidaan tehdä myös suuremmilla nopeuksilla samalla tarkkuudella kuin pienissä nopeuksissa.

Tässä on samat ongelmat kuin rata-ajossa, koskien pieniä ja suuria nopeuksia.

Peruskonsepti

Tätä varten vähintään kolme eri suuntaan tehty mittauksen, joissa lennetään samalla mittari-nopeudella ja korkeudella. Käyttäen kädessä pidettävää GPS:ää, merkitse muistiin maanopeus ja tosilentosuunta kullakin osuudella. Olettaen, että lentokoneen todellinen ilmanopeus ja tuulen nopeus ja suunta ovat vakiot kullakin kolmella haaralla, voidaan ratkaista kolme yhtälöä kolmella tuntemattomalla, mikä antaa tuulen nopeuden, tuulen suunnan ja todellisen ilmanopeuden.

Graafinen ratkaisu on alla olevassa kuvassa, että saadut kolme maanopeusvektoria (G/S) (pituus ja suunta) on tuulen ja todellisen ilmanopeuden vektorisumma. Tämä on esitetty graafisesti kuvassa 1. Kun kolme maanopeusvektoria (G/S) sijoitetaan päät samaan pisteeseen, niin kolmen vektorin päiden kautta piirretyn ympyrän säde on yhtä suuri kuin todellinen ilmanopeus ja erotuksen keskipisteen välillä, ympyrä ja kolme päät ovat tuulen nopeus ja suunta.



Kuva 1. Vektorianalyysi

Yhtälöiden ratkaisu onnistuu helposti tietokoneen laskentataulukon avulla. Yleisen ratkaisun on esittänyt Doug Gray paperissaan (viite 3). Ladattava Excel-ratkaisu, "GPS_PEC.xlw", on saatavilla National Test Pilot Schoolin verkkosivustolla: www.ntps.edu/downloads.htm.

GPS-vastaanotinlaitteet

Erityisesti sertifioidun tai differentiaalisen GPS:n käyttämiselle ei ole tarpeen. Todellisen ilmanopeuden tarkkuus saadaan toistoilla. GPS virheet muuttuvat hitaalla tahdilla, joten vähemmän absoluuttisen tarkkuuden laite antaa näissä nopeissa toistoissa yhtä hyvän tarkkuuden, kuin absoluuttisen paikan tarkemmin näyttävät laitteet. Jos sinulla on mahdollisuus valita laite, se laite jossa nopeus/suunta ilmoitetaan useimmalla desimaalilla on tähän tarkoitukseen paras. Mutta ns tavallinen retkiGPS jossa nopeus näkyy kokonaislukuina riittää hyvin.

Tulosten tarkkuutta parantaa useammat datapisteet samoilla nopeuksilla (jokainen "datapiste" on vähintään kolme eri suunnan mittausta samalla nopeudella). Jos toisaalta, riippumatta siitä, kuinka hieno GPS-laitteisto on, jos johdettu tuulivektorit eivät ole johdonmukaisia, tietoihin ei voida luottaa. Jos tuuli on epäjohdonmukainen, syynä voi olla jokin useista seikoista – vaihteleva tuuli tai lämpötila, epäonnistuminen ilmanopeuden ja/tai suunnan vakiona pitämisessä tiedonkeruun aikana, muuttuva ilmanopeus datapisteen eri suuntien välillä tai jopa huono GPS-satelliittipeitto.

Lennon suoritus

Datapisteiden määrä ja huonon mittaustuloksen havaitseminen ei onnistu ilman em taulukon tuloksia. Ne pitäisi siis saada lennon aikana, jotta pääset paikkaamaan huonon tuloksen. Koska tuulella on suuri merkitys tulokseen, jos joudut mittausten jälkeen laskeutumaan tekemään laskelmat, huonon mittapisteen paikkaus edellyttää uutta lentoa. Jossa tuuli voi olla jo muuttunut. Jonka takia tarvitset enemmän datapisteitä tuloksen hajonnan hallitsemiseen.

Jos kyseessä on yksipaikkainen kone, hyvä tapa olisi tehdä niin, että maassa on kaveri tietokoneen ja käsiradion kanssa. Lentäjä lentää datapisteitä, ja kertoo radiolla arvot maassa olevalle, joka pystyy samantien syöttämään tulokset taulukkoon. Ja kertomaan olisi tulos hyväksyttävät vai ei, jolloin lentäjä pysyy toistamaan huonon datapisteen. Näin tuulen muutos ei pääse häiritsemään niin paljoa.

Useampipaikkaisella koneella tämä avustaja voi olla koneessa mukana kannettavan tietokoneen kanssa.

Jos avustajaa ei ole, arvot kirjataan paperille (tai kerrotaan nauhurille). Ja tiedot syötetään sitten maassa taulukkoon. Kannattaa lentää muutama datapiste enemmän varmuuden vuoksi.

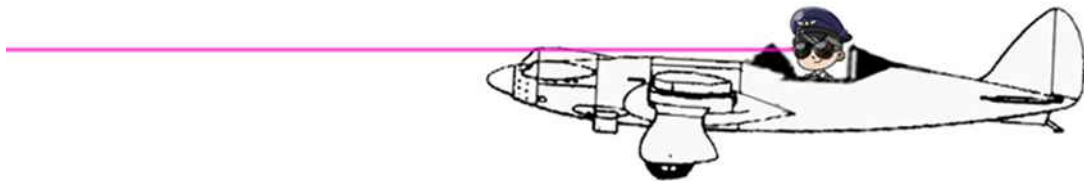
Mittausten kulku.

1. Kirjaa lentokoneen asu ja muut parametrit. Valitse korkeus ja maantieteellinen sijainti, jossa odotat tasaista tuulta. Puuskat (mihin suuntaan tahansa) lisäävät satunnaisvirhettä.
2. Kun lentotila on vakaa, merkitse muistiin kaikki, mikä vaikuttaa todelliseen ilmanopeuteen (mittarinopeus, painekorkeus ja ulkoilman lämpötila). Ja tulosten luettavuuden takia; lentosuunta.
3. Kun olet riittävän kauan antanut lentotilan asettua (ehkä 10 sekuntia sen jälkeen, kun ilma-alus on vakaa, ei muutosta maanopeudessa tai tosisuunnassa), seuraa GPS näytöstä että arvot ovat vakiintuneet, eivätkä muutu. Tallenna GPS-maanopeus ja -suunta.
4. Käänny 120° ja toista vaihe 3 samalla ilmanopeudella ja korkeudella. Pienet muutokset korkeudessa ovat paljon parempia kuin pieni ilmanopeuden muutokset. Yhden solmun nopeusvirhe tuottaa yhden tai useamman solmun virheen todellisessa ilmanopeudessa, mutta 100 jalan virhe korkeudessa aiheuttaa suhteellisen merkityksettömän virheen todellisessa ilmanopeudessa. Tärkeää on myös vakaa lentoradan suunta.
5. Käänny uudelleen ja toista samalla ilmanopeudella ja korkeudella. Yhden datapisteen (yksi nopeus/konfiguraatio) suorittamiseen tarvitaan kolme suuntaa, jotka on järkevin jakaa kolmeen tasaisin välein olevaan suuntaan (sentakia 120° käännökset).
6. Näitä datapisteitä (kolmeen eri suuntaan) tarvitaan sitten useita samoissa olosuhteissa, jotta satunnaisvirheet saadaan järkevälle tasolle. Vähintään 4-5 datapistettä tarvitaan kustakin ilma-nopeus / konfiguraatio pisteestä.

9.5 Näkyvyys ohjaamosta

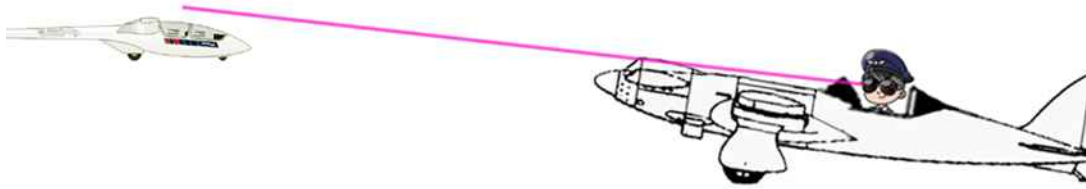
Kuullostaa itsestäänselvältä, mutta tarkoitus on että tulisi testattua, että koneen nokka ei estä näkyvyyttä nousunopeudella. Ja jos estää, niin siitä tulisi maininta lento-ohjekirjaan.

Päivänä, jona näkyvissä on selkeä horisontti; lennat vaakalentoa ja tehoa sääten pidät korkeuden samana. Jos näet koko horisontin, tällä nopeudella näet eteenpäin.



Pienennä seuraavaan nopeuteen ja jatkat näin. Jos nokka estää vaakalennossa koko horisontin näkemisen, et näe tällä nopeudella lentosuuntaan.

Eli jos starttaa ja nousee tällä nopeudella, pystyt lentämään päin jotain estettä ilman että näet sitä. Tai jos vastaan tulee lentokone, et näe sitä. Koska vastaan tuleva kone, vaikka se olisi liuussa ja korkeammalla kuin sinä, se on sinun nopeusvektorin alapuolella, ja näkymättömissä. Sama tilanne laskussa, se mikä on nokan peittämänä ei ole näkyvissä.



Kirjaa se pienin nopeus jolla näet horisontin lento-ohje kirjaan.

10 Erilaisille nopeuksille käytettäviä symboleja

Nopeustermit ovat yleisesti käytössä olevia englanninkieleen perustuvia lyhennöksiä.

Luettelossa on termejä, jotka voivat koskea yksimoottorisia lentokoneita. Alaviitat voivat olla myös isolla kirjaimilla kirjoitettuja.

Va	suunnittelun liikehtimisnopeus
Vb	suunnittelun nopeus voimakkaalle puuskalle
Vbe	suurimman toiminta-ajan nopeus
Vbr	suurimman toimintamatkan nopeus
Vc	suunnittelun matkanopeus
Vd	suunnittelun syöksynopeus
Vdf	esitetty syöksynopeus
Vf	suunnittelun laippanopeus
Vfc	suurin nopeus jolla tietty stabiiliteettikriteeriö täyttyy
Vfe	suurin nopeus laipat poikkeutettuna
Vh	suurin vaakalentonopeus suurimmalla jatkuvalla teholla
Vle	suurin nopeus laskuteline ulkona
Vlo	suurin nopeus jolla laskutelinettä saa liiktella (sisään tai ulos)
Vlof	irtoamisnopeus
Vmc	pienin nopeus jolla lentokone on hallittavissa kaikilla tehoasetuksilla
Vias	mittarinopeus, eli mittarin näyttö
Vcas	kalibroitu mittarinopeus, Vias jolle on suoritettu muut kuin tiheyskorjaus
Veas	ekvivalentti nopeus, Vtas ilman että kokoonpuristuvuuden aiheuttamaa virhettä on korjattu
Vtas	tosi-ilmanopeus
Vmo	suurin rajakäyttönopeus
Vmu	pienin turvallinen nopeusjolla lentoonlähtö (ja alkunousu) voidaan suorittaa
Vne	suurin sallittu nopeus
Vno	suurin rakenteellinen matkanopeus
Vr	nopeus jolla nokkateline nostetaan kiitotiestä tai nopeus jolla kohtauskulmaa lisätään nousua varten kannuspyöräkoneella
Vs	sakkausnopeus tai pienin tasainen nopeus jolla lentokone on hallittavissa
Vs0	sakkausnopeus tai pienin tasainen nopeus laskeutumisasussa
Vs1	sakkausnopeus tai pienin tasainen nopeus tietyllä asulla
Vx	parhaan nousukulman nopeus
Vy	Sparhaan kohoamisnopeuden (ilma-)nopeus

11 Yksiköiden muunnoskertoimia

1 jalka (ft)	=	0,3048 m
1 tuuma (in)	=	25,4 mm
1 jalka	=	12 tuumaa
1 kuutiotuumaa	=	16,387 cm ³
100 jalka minuutissa (fpm)	=	0,508 m/s
1 gallona imperial	=	4,546 litraa
1 gallona US (neste)	=	3,7853 litraa
1 horsepower (hp)	=	0,745712 kW
1 hevosvoima (hv)	=	0,735499 kW
1 tuuma elohopeata (inHg)	=	3386,432 Pa
1 solmu (kts)	=	1,852 km/h
1 maamaili tunnissa (mph)	=	1,6093 km/h
1 km/h	=	0,2778 m/s (1/3,6)
1 naula neliötuumalle (psi)	=	0,0703 bar
1 unssi (oz)	=	28,35 grammaa
Lämpötila Fahrenheit -> Celsius		$5/9 (F-32) = C$