

Aaro Huuhka

HARRASTERAKENTEISEN ILMA-ALUK- SEN KOELENTOSUUNNITTELU

Kandidaatintutkielma
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tutkimuspäällikkö Jussi Aaltonen
Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Aaro Huuhka: Harrasterakenteisen ilma-aluksen koelentosuunnittelu
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta, konetekniikka
Huhtikuu 2022

Tutkielmassa käsitellään koelentosuunnitelman laatimista harrasterakenteiselle ilma-alukselle eurooppalaisen ja suomalaisen lainsäädännön pohjalta. Tutkielman tavoitteena on selvittää, mitä kaikkea koelentosuunnitelmassa tulee huomioida ja millainen on sen rakenne. Työ tehdään kirjallisuustutkielmana ja lähteinä käytetään eri viranomaisten julkaisuja sekä alan ammattikirjallisuutta. Aihe valikoitui Tampereen seudun ammattiopiston toivoessa yhteistyötä eri tasoisten lentokonetekniikan opiskelijoiden välillä. Opistolla on käynnissä harrasterakenteisen Rans S-10 Sakota -lentokoneen rakennusprojekti ja tässä tutkielmassa käsitellään projektille luotua koelentosuunnitelmaa.

Työ jakautuu kahteen pääosaan. Ensimmäisessä osassa käsitellään yleisesti koelentosuunnittelua ja toisessa perehdytään kohdeilma-aluksen koelentosuunnitelmaan. Suunnitelma jakautuu maassa suoritettaviin järjestelmätesteihin, rullauskokeisiin ja itse koelentoihin. Koelennolla selvitetään koneen ohjattavuus, lento-ominaisuudet ja suoritusarvot. Liitteistä löytyy valmis koelentosuunnitelma ja esimerkki koelentokortista. Lopulta koelennoista on kirjoitettava koelentokertomus, joka on lisättävä liitteeksi, kun lentokoneelle haetaan lentokelpoisuustodistusta. Lisäksi näiden testien pohjalta lentokoneelle voidaan laatia lento-ohjekirja.

Huolellinen suunnittelu on turvallisuuden ja testien onnistumisen kannalta välttämätöntä. Tutkielmaa voidaan käyttää apuna tehdessä vastaaville ilma-aluksille koelentosuunnitelmia, mutta sitä ei suoraan kannata kopioida, sillä jokaiselle ilma-alukselle tulee tehdä oma suunnitelmansa, jossa huomioidaan yksilökohtaiset erot ja koelennettävään ilma-alukseen tulee perehtyä syvällisesti.

Avainsanat: Koelentäminen, koelentosuunnittelu, harrasterakenteinen ilma-alus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. LAKI JA VAATIMUKSET	2
2.1 Lainsäädännön näkökulma	2
2.1.1 Ilma-alus	2
2.1.2 Koelennot	3
2.1.3 Koelentäjä	4
2.1.4 Koelennoista annettavat selvitykset	4
2.2 Käytännön vaatimukset ja riskin hallinta	5
2.2.1 Olosuhteet	5
2.2.2 Koelennoissa käytettävän lentopaikan valinta	6
2.2.3 Toimintamenetelmät	7
3. KOELENTOSUUNNITELMA SAKOTALLE	9
3.1 Rans S-10 Sakotan esittely	9
3.2 Koelentosuunnittelu	10
3.2.1 Lentopaikan valinta	11
3.2.2 Ohjaajien valinta	13
3.2.3 Toimintamenetelmien suunnittelu	13
3.2.4 Ohjelman ajoitus	13
3.3 Mitattavat suureet ja menetelmät	14
3.3.1 Järjestelmätestit	15
3.3.2 Rullaustestit	17
3.3.3 Suorituskyvyn ja lento-ominaisuuksien mittaus	18
4. YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28
LIITTEET	30

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Lentoonlähtöön liittyvien matkojen arviointi (muokattu lähteestä FAA 2015, s. 5)</i>	<i>6</i>
Kuva 2.	<i>Rans S-10 Sakota (Wikipedia commons).....</i>	<i>9</i>
Kuva 3.	<i>Rotax 912UL asennettuna Sakotaan</i>	<i>10</i>
Kuva 4.	<i>Pirkkalan lentoaseman visuaalilähestymiskartta (Fintraffic 2021).....</i>	<i>11</i>
Kuva 5.	<i>Leike Pirkkalan lentoaseman harjoitusalue kartasta (Fintraffic 2021)</i>	<i>12</i>
Kuva 6.	<i>Nousunopeuksien määrittäminen kuvaajasta.....</i>	<i>24</i>
Kuva 7.	<i>Nousunopeuksien ekstrapolointi</i>	<i>25</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Tredu Tampereen seudun ammattiopisto
FAA Federal Aviation Authority (Yhdysvaltain Ilmailuviranomainen)
EASA European Union Aviation Safety Agency (Euroopan lentoturvallisuus virasto)

m massa
v nopeus
x matka
h korkeus
V_y parhaan nousunopeuden mahdollistava lentonopeus
V_x parhaan nousukulman mahdollistava lentonopeus
V_{NE} suurin sallittu lentonopeus
g putoamiskiihtyvyys

1. JOHDANTO

Koelentäminen on ollut koko ilmailun historian tärkeä osa tekniikan kehitystä, ja 2020-luvulla kehitys on kiihtymässä uusien teknologioiden tehdessä läpimurtoa alalla. Näistä esimerkkeinä toimivat sähkö- ja vetykäyttöiset lentokoneet sekä yllääänimatkustajakoneet. Myös Suomessa kehitellään uusia ilma-aluksia, ja Ilmavoimien hankkiessa uutta kalustoa löytyy kotimaastakin tarve koelentämiselle. Näin ollen myös koelentosuunnittelun tarve kasvaa alalla.

Tutkielman aihe valikoitui Tampereen ammattiopiston (TREDU) esittäessä toiveensa eritasoisten lentokonetekniikan opiskelijoiden yhteistyöstä. Opistolla on käynnissä Rans S-10 Sakota -lentokoneen rakennusprojekti, ja tässä tutkielmassa käsitellään sille laati- maani koelentosuunnitelmaa.

Tutkielma on jaettu kahteen osaan. Ensimmäinen osa kuvailee koelentämiseen liittyviä vaatimuksia ja toinen käsittelee aihetta kohdeilma-alukselle tehdyn koelentosuunnitelman kannalta. Aihetta käsitellään niin lainsäädännöllisistä kuin teknisistä näkökulmista.

Koska tutkielmassa käsitellään tietylle ilma-alukselle tehtyä koelentosuunnitelmaa, on se rajattu kattamaan vain harrasterakenteiset ja alle 2 000 kg maksimilento-önlähtömassan omaavat ilma-alukset eurooppalaisen lainsäädännön alaisuudessa. Tutkielma pyrkii kertomaan, mitä kaikkea ohjelman tulee pitää sisällään.

Metodeina käytetään kirjallisuuden tutkimista. Suurin osa kirjallisuuslähteistä on joko eurooppalaista lakitekstiä tai amerikkalaista koelentokoulutusmateriaalia. Lisäksi lähteenä käytetään tunnettujen suomalaisten koelentäjien ja insinöörien tuottamaa aineistoa. Kerättyä aineistoa käsitellään juuri kevyiden siviili-ilma-alusten kannalta.

2. LAKI JA VAATIMUKSET

2.1 Lainsäädännön näkökulma

Seuraavaksi käsitellään eurooppalaisen ja suomalaisen lainsäädännön vaatimuksia koelentämisen kannalta. Huomioitavaa on, että tutkielmassa lähteenä käytetyt ilmailumääräykset AIR M5-1 ja AIR M5-2 ovat uudistumassa, mutta vielä tutkielman kirjoittamisen aikaan ei näitä uudistuksia ollut julkaistu. Esiteltyjä vaatimuksia sovelletaan luvussa 3, jossa käsitellään tutkielman rinnalla laadittua koelentosuunnitelmaa.

2.1.1 Ilma-alus

Lain vaatimaa lentokelpoisuustodistusta ei voida myöntää tyyppihyväksymättömille ilma-aluksille, jolloin tyyppihyväksynnän puuttuessa operointi tapahtuu aina luvalla ilmailuun, joka voidaan tosin myöntää toistaiseksi voimassa olevaksi. Koelentoille vaaditaan tilapäinen lupa ilmailuun, jota haetaan Traficomilta. Lupa ilmailuun voi sisältää rajoituksia, jotka tulee huomioida koelentoilla ja niiden suunnittelussa. (Traficom 2022)

Haettaessa lupaa ilmailuun, on liitteeksi toimitettava seuraavat selvitykset:

- rakennuskertomus
- punnitustodistus
- katsastuspöytäkirja
- vastuuvakuutustodistuksen jäljennös
- koelento-ohjelma (Ilmailulaitos 1996a).

Katsastustodistusta varten tulee ilma-alus luonnollisesti katsastaa. Katsastuksessa tarkastetaan, että ilma-alus täyttää ilmailumääräysten vaatimukset. Lisäksi ilma-alus on punnittava. Tästä on myös apua koelennettäessä, sillä massa vaikuttaa moneen suoritusarvoon ja näin voidaan laskea korjaukset mitatuille arvoille.

Ennen koelentoja avataan myös ilma-alukselle matkapäiväkirja, moottorille moottorikirja sekä aikavalvotuille laitteille laitekortit. Nämä avaukset tekee rakentaja. (Ilmailulaitos 1996a)

2.1.2 Koelennot

Koelentojen tarkoituksena on osoittaa, että ilma-alus täyttää ilmailumääräyksen AIR M5-1 vaatimukset ja lento-ominaisuudet ovat turvalliset eikä suunnittelussa ole vakavia puutteita. Lisäksi tulevia ilma-aluksen lentäjiä varten tehtävä lento-ohjekirja luodaan koelentojen aikana. Tätä varten määritetään suoritusarvojen ääriarajat ja suositellut toimintamenetelmät normaali- ja hätätilanteisiin. (Suokas & katsastajatiimi 2002) Suoritusarvojen ja eri lento-ominaisuuksien määrittäminen on tehtävä myös eri massa- ja painopisteasemilla, sillä näiden parametrien muutoksilla ei saa olla lentoa vaarantavia vaikutuksia.

Ilmailumääräys AIR M5-2 vaatii koelentojen pituudeksi 25 tai 45 tuntia. Lyhyempi aika pätee ilma-aluksille, joissa ei ole moottoria tai moottori-potkuriyhdistelmä on tyyppihyväksytty. Tyyppihyväksymättömiä moottori-potkuriyhdistelmiä on myös koekäytettävä maassa vähintään 3 tuntia toiminnan varmistamiseksi (Ilmailulaitos 1996b). Näiden koekäyttöjen aikana varmistetaan myös muiden järjestelmien toiminta, varsinkin polttoainejärjestelmän toiminta eri lentotiloissa. AIR M5-2 suosittelee myös staattisen työntövoiman mittaamista lentoonlähtöteholla.

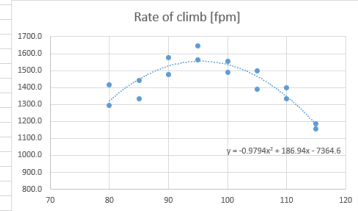
Koelentoja varten on tehtävä koelentosuunnitelma, jossa huomioidaan koelennettävän ilma-aluksen ominaisuudet ja eritellään lennettävät testit. Lisäksi jokaisesta lennosta on täytettävä koelentokortti, josta ilmenee seuraavat asiat:

- päiväys
- koelentohenkilöstö
- massa- ja painopiste
- polttoainemäärä
- lentoonlähtöaika ja -paikka
- laskuaika ja -paikka
- lentoaika
- lämpötila lentoonlähdössä
- tuuli
- kokeet ja niiden tulokset. (Suokas & katsastajatiimi 2002)

Mitattu data on suositeltavaa tallentaa esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmaan, jolloin datan visualisointi ja käsittely on helpompaa. Tästä on esimerkkinä taulukko 1, jolla voidaan määrittää lentonopeus, jolla saavutetaan maksimi pystynopeus.

Taulukko 1. Pystynopeuden määrittely

Altitude difference [ft]	Test number	Airspeed [kn]	Time to climb [s]	Avg Mass		Mass correction		Correction amount
				414.6875	Rate of climb [fpm]	Rate of climb [fpm]		
1000	1	80	45	440	1333.3	1414.7	81.4	
1000	2	85	44	438	1363.6	1440.3	76.7	
1000	3	90	40	436	1500.0	1577.1	77.1	
1000	4	95	38	432	1578.9	1644.9	65.9	
1000	5	100	40	430	1500.0	1555.4	55.4	
1000	6	105	41	425	1463.4	1499.8	36.4	
1000	7	110	43	416	1395.3	1399.8	4.4	
1000	8	115	50	410	1200.0	1186.4	-13.6	
1000	9	115	51	408	1176.5	1157.5	-19.0	
1000	10	110	44	406	1363.6	1335.1	-28.6	
1000	11	105	42	404	1428.6	1391.8	-36.8	
1000	12	100	39	402	1538.5	1491.4	-47.1	
1000	13	95	37	400	1621.6	1564.2	-57.4	
1000	14	90	39	398	1538.5	1476.6	-61.9	
1000	15	85	43	396	1395.3	1332.5	-62.9	
1000	16	80	44	394	1363.6	1295.6	-68.0	



Koelentojen jälkeen mitattu data ja koelennoilla tehdyt huomiot on esitettävä viranomaiselle. Näitä selvityksiä käsitellään alaluvussa 2.1.4.

2.1.3 Koelentäjä

Eurooppalaisen lainsäädännön vaatimukset koelentäjälle kohdistuvat sertifiointispesifikaatioihin CS-25 Large Airplanes ja CS-23 Normal, Utility, Aerobatic and Commuter lentokoneiden osalta. Lainsäädännössä on CS-23:n kohdalla lisämaininta, johon pienkoneet yleensä kuuluvat. Tämän perusteella alle 2 000 kg maksimi lentoonlähtömassan omaavien lentokoneiden koelentämiseen ei vaadita koelentokelpuutusta. (EASA 2016, s. 864)

Suomalaisten määräysten mukaan harrasterakenteisten ilma-alusten koelentämiseen saa osallistua vain ilma-aluksen omistajan määräämä päällikkö ja muu koelentoihin tarvittava henkilöstö. Jotta henkilö voi osallistua koelentoihin ilma-aluksen päällikkönä, tulee hänellä olla voimassa oleva lentolupakirja, joka oikeuttaa lentämisen koelennettävällä ilma-alusluokalla. Lisäksi lentäjällä tulee olla riittävästi lentokokemusta. (Ilmailulaitos 1996a) Riittävällä lentokokemuksella varmistetaan ohjaajan pätevyys lento-ominaisuuksien määrittelyssä ja riittävän tarkka koneen hallinta koelennoilla.

2.1.4 Koelennoista annettavat selvitykset

Koelentojen aikana kerätty tieto tulee säilyttää koelentokorteissa, joiden perusteella luodaan koelentokertomus. Näiden avulla osoitetaan koelentojen vaatimusten ja tavoitteiden täyttyminen. Kerättyä dataa käytetään lento-ohjekirjan luomiseen, ja lento-ohjekirja tulee myös esittää haettaessa rajoitettua lentokelpoisuustodistusta. (Ilmailulaitos 1996 a)

Jos koelennoilla ilmenee puutteita suunnittelussa tai toimintarajoituksiin tarvitsee tehdä muutoksia, voidaan koelentojen perusteella suorittaa muutokset. Suuret muutokset

suunnittelussa vaativat uusien koelentojen suorittamista tai jopa koko koelento-ohjelman aloittamista alusta.

2.2 Käytännön vaatimukset ja riskin hallinta

Kuten kaikessa siviili-ilmailussa, on toiminnan turvallisuus tärkein tavoite koelentoissa. Vaikka konetta operoidaan ääriarajoilla, voidaan suunnittelulla vähentää riskejä ja niiden vaikutuksia. Seuraavaksi käsitellään keinoja, joilla riskejä voidaan vähentää.

2.2.1 Olosuhteet

Koelentoilla on tavallista lentotoimintaa tarkemmat vaatimukset ympäristön olosuhteiden kannalta. Suoritusarvojen mittausten suorittaminen ei tule suorittaa esimerkiksi turbulentsissa ilmassa, sillä ilman liikkeestä aiheutuvat kiihtyvyydet tekevät lentämisestä ja mittaamisesta epätarkkaa. (Suokas & katsastajatiimi 2002)

Sääminimeiksi valitaan lentosääntöjen määrittämiä minimeitä suuremmat. Varsinkin ohjelman alkuosassa pilvikorkeuden, näkyvyyden ja tuuliolosuhteiden on oltava hyvät. Koelentojen edetessä lento-ohjekirjaan ja laskujen sivutuulikomponenttien tulee olla suuremmat, jotta sivutuulirajoitukset voidaan todentaa lento-ohjekirjaan. (Suokas & katsastajatiimi 2002)

Otollisimmat sääolosuhteet vallitsevat Suomessa kesäisin aamulla, ennen kuin auringon lämmittävä vaikutus aiheuttaa ilmassaan liikettä. Myös myöhään illalla auringon laskeutuminen tuuli ja turbulenssi heikkenevät. Talvella turbulenssia esiintyy vähemmän ja kylmä ilma parantaa ilma-aluksen suorituskykyä. Onkin suositeltavaa lentää osa koelentoista talvella. Samalla voidaan vahvistaa, että ilma-alus toimii myös talviolosuhteissa. Esimerkiksi moottorin jäähdytys, tuulilasien huurteenpoisto ja ohjaamon lämmitys voidaan testata talvella. (Suokas & katsastajatiimi 2002)

Käytettävän lentopaikan liikennetilanne on myös huomioitava koelentoilla. Jotta muulle liikenteelle ei aiheutuisi vaaraa tai häiriötä, lennetään koelennot liikennemäärän ollessa vähäinen. Valvotuilla lentopaikoilla tämä tarkoittaa käytännössä viikonloppuja. Sopivaa hetkeä koelentoille voidaan tiedustella lentoaseman puolelta, esimerkiksi lentoaseman päälliköltä.

2.2.2 Koelennoissa käytettävän lentopaikan valinta

Koelennettäessä on valittava lentopaikka ja kiitotie siten, että lento- ja laskumatkoihin on varattu sopiva marginaali. Yhdysvaltain ilmailuviranomainen, Federal Aviation Authority (FAA), suosittelee oppaassaan mitoiltaan vähintään 1 830 metriä pitkää ja 31 metriä leveätä kiitotietä koelennoille, joilla koelennetään suorituskyvyltään normaaleja lentokoneita. (FAA 2015) Suurempi kiitotie lisää turvallisuutta.



Kuva 1. Lento- ja laskunopeuteen liittyvien matkojen arviointi (muokattu lähteestä FAA 2015, s. 5)

Koelennoissa on huomioitava myös kiitotien jatkeella sijaitsevat esteet. Mahdollisten viikkojen, kuten moottorihäiriöiden vuoksi on alkunousun reitillä oltava mahdollisia varalaskupaikkoja. Varalaskupaikat tulee käydä läpi koelentäjän kanssa. Myös reitillä koelentoalueelle sekä koelentoalueen alapuoli tulee olla harvaanasuttua ja edullista mahdollisten häiriötilanteiden tai pakkolaskujen kannalta. Näin ollen testien suorituksessa käytettävä lentokorkeus vaikuttaa myös koelentoalueen valintaan. Koelentojen aiheuttamaa vaaraa kolmansille osapuolille voidaan näin vähentää. (FAA 2015)

Valitulla lentopaikalla tulisi olla myös pelastuspalvelut ja mieluiten lennonjohto, jotta lennonvalvonta järjestyy tehokkaammin myös ilmassa, ja pelastus- ja etsintäpalvelut ovat saatavilla miltei välittömästi. Lisäksi valitulla lentopaikalla tulisi olla sopivat huolto- ja säilytystilat lentokoneelle. Näin lentokone saadaan luonnonvoimilta suojaan koelentojen välissä ja tarvittavat huollot sekä muut vastaantulevat toimenpiteet voidaan suorittaa paremmissa olosuhteissa. Paremmat toimintaolosuhteet vähentävät myös inhimillisten virheiden mahdollisuutta.

2.2.3 Toimintamenetelmät

Kaikki toiminta tulee olla etukäteen suunniteltua, joten koelentojen aikana toimintamenetelmien määrittely on tärkeää. Ennen koelentojen aloittamista luodaan alustavat tarkastuslistat toiminnalle ennen lentoa, lennon aikana sekä laskeutumisen jälkeen. Tähän on hyödyllistä käyttää lento-ohjekirja luonnosta, jonka tulisi olla tekeillä jo koelentojen alkuvaiheessa. FAA:n Amateur-Built Aircraft and Ultralight Flight Testing Handbook (2015) ohjeistaa tekemään tarkastuslistan seuraaville lennon vaiheille:

1. ennen lentoa tehtävä tarkastus
2. toimenpiteet ennen käynnistystä
3. moottorin käynnistys
4. toimenpiteet ennen lentoonlähtöä
5. lentoonlähtö/siirtyminen matkalentoon
6. lähestyminen/toimenpiteet ennen laskeutumista
7. toimenpiteet laskeutumisen jälkeen
8. lentokoneen pysäköinti
9. hätätilanteet
 - a. moottorihäiriöt eri lennon vaiheissa
 - b. ohjausongelmat
 - c. tulipalo moottoritilassa tai ohjaamossa. (FAA 2015, s. 24)

Myös muihin koelentokohtaisiin pakkotilanteisiin tulee varautua. Pakkotilanteista esimerkkinä toimii koneesta poistuminen ilmassa laskuvarjolla. Äkillisiin tapahtumiin ei kannata tarkastuslistaa tehdä, niihin valmistaudutaan toimintasuunnitelmalla, jonka toimenpiteet opetellaan ulkoa ja niitä harjoitellaan.

Myös maahenkilöstön ja kokeita seuraavien tulee olla perehtyneitä turvallisuustekijöihin ja lentokoneen toimintaan. Seuraavat tilanteet ja toimenpiteet ovat kaikkien koelentoihin maassa osallistuvien tunnettava:

- ohjaamon oven tai kuomun avaus
- turvavöiden käyttö ja avaus
- polttoainehanan sijainti ja käyttö
- päävirtakatkaisijan sijainti ja käyttö
- magneettojen tai sytytysjärjestelmän käyttö
- moottorisuojan poistaminen sekä akun sijainti ja irrottaminen

- palosammuttimien sijainti ja käyttö
- rakettipelastusvarjon varmistaminen. (FAA 2015, s. 6)

Koelentojen aikana tulee olla läsnä vähintään kaksi maahenkilökuntaan kuuluvaa. He auttavat lentojen suorittamisessa ja tarvittaessa toimivat ensisammutuksen ja pelastustoiminnan aloittajina.

3. KOELENTOSUUNNITELMA SAKOTALLE

3.1 Rans S-10 Sakotan esittely

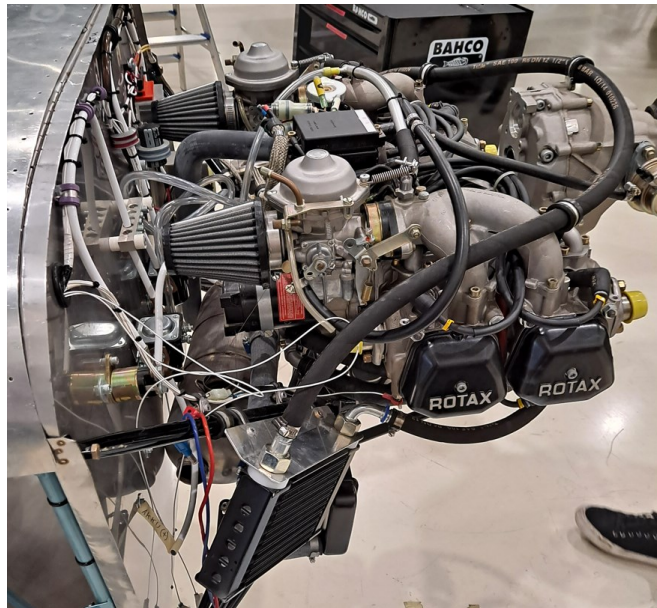
Koelentosuunnitelma luodaan amerikkalaiselle Rans S-10 Sakota -lentokoneelle. Sakota on Randy Schlitterin vuonna 1988 suunnittelema kaksipaikkainen, taitolentokelpoinen lentokone, joka voidaan rekisteröidä ominaisuuksiensa perusteella useaan luokkaan Suomessa. Rakentajat ovat päätyneet rekisteröimään koneen ultrakevyeksi, jolloin maksimi lentoonlähdomassa on rajoitettu 450 kg:n vakiovarustuksessa (Traficom 2019). Harvesterakenteisen ultrakevyen rakentamista ohjaavat kansallisille Liite 1 -ilma-aluksille luodut ilmailumääräykset, AIR M5-1 ja AIR M5-2.



Kuva 2. Rans S-10 Sakota (Wikipedia commons)

Kuten kuvasta 2 nähdään, Sakota on kannuspyöräkonfiguraatiolla varustettu kaksipaikkainen keskitaso. Koneen runko koostuu 4130-teräksestä ja alumiinista valmistetusta ristikkorakenteesta, joka on päällystetty kankaalla. Rakenne on suunniteltu siten, että sen kokoaminen ei vaadi hitsausta, sillä lentokoneosien hitsaus on hyvin vaativaa.

Sakotan voimanlähteenä voi toimia Rotaxin 2-tahtinen 582 (65 hv) tai 4-tahtiset 912UL (80 hv) ja 912ULS (100 hv), joista 912UL valikoitui rakennettavaan lentokoneeseen. Moottorin asennus on esitetty kuvassa 3. Suunnitteilla on kuitenkin muuttaa moottorin suojan muotoa ja siirtää jäähdyttimien paikkaa.



Kuva 3. Rotax 912UL asennettuna Sakotaan

Potkurina toimii jokin DUC Helices:n tyyppi hyväksyty malli. Koska yhdistelmä on tyyppi hyväksyty, voidaan koelento-ohjelma suunnitella 25 tunnin mittaiseksi (Ilmailulaitos 1996(a)). Moottori on kuitenkin ollut varastoituna niin kauan, että sille tulee tehdä erinäisiä tarkistuksia Rotaxin moottoreihin erikoistuneen huolto-organisaation toimesta. (Rotax 2021, s. 46) Pitkä säilytys on myös huomioitu koelentosuunnitelmassani lisäämällä koekäyttöön varattuja tunteja. Valittu moottori ei mahdollista taitolentoa, joten koelentosuunnitelmasta on jätetty pois taitolentoliikkeet. Taitolento, syöksykierre mukaan lukien, kielletään myös lento-ohjekirjassa. Rakennettava yksilö on varustukseltaan korkealla tasolla ja nykyaikainen avioniikka mahdollistaa lentoarvojen tarkan mittaamisen.

Tutkielmassa käsiteltävä Sakota on valmistumassa Tampereen seudun ammattiopiston (TREDU) Pirkkalan toimipisteessä lentokoneasentajaopiskelijoiden ja opettajien toimesta. Tänne ilma-alus on päätyntä pitkän prosessin seurauksena. Sen rakentaminen on aloitettu jo ennen vuosituhaten vaihdetta yksityishenkilön toimesta. Hän ei kuitenkaan saanut työtä valmiiksi, vaan lahjoitti puolivalmiin lentokoneen opiskelijoille.

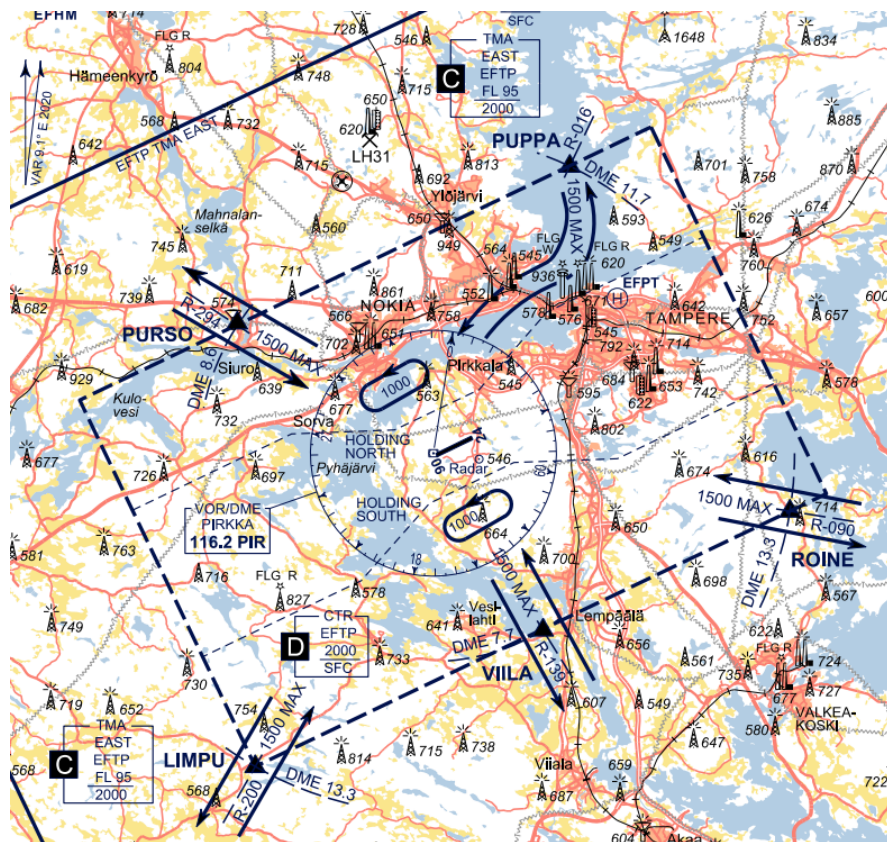
3.2 Koelentosuunnittelu

Kappaleessa käsitellään laatimani koelentosuunnitelma. Suunnitelmani lähteinä toimivat alan kirjat, lakiteksti ja ohjeet, sekä Aki Suokkaan ja katsastajatiimin (2002) luoma koelentosuunnitelman esimerkki. Jyrki Laukkanen ja Aki Suokas (2002) ovat myös kirjoittaneet kattavan ohjeen harrasteilma-alusten koelentämiseksi, jota käytän lähteenäni. Koelentosuunnitelmani on työn liitteenä 1.

3.2.1 Lentopaikan valinta

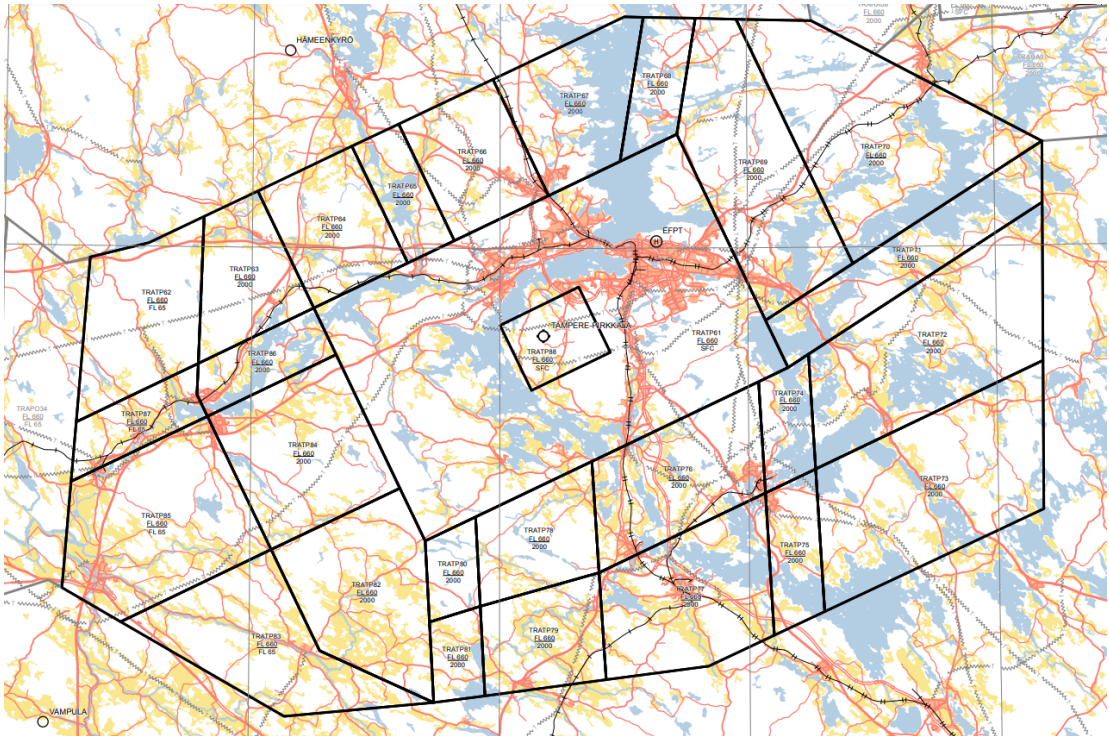
Aluvussa 2.2.2 mainittujen seikkojen perusteella koelentopaikaksi valikoitui Tampere-Pirkkalan lentoasema. Lentoasemalla on muun muassa ympärivuorokautinen lennonjohdtopalvelu, pelastuspalvelut, sekä otollinen sijainti koelentojen kannalta. Lentokonetta rakennetaan Tredun toimipisteellä, joka sijaitsee lentoasemalla ja näin koneelle löytyy säilytystilat.

Tampere-Pirkkalan lähialue on myös sopiva koelentämiselle, sillä lentoasemalta etelään löytyy jonkin verran pakkolaskuihin soveltuvia peltoja, kuvassa 4 kartan keltainen alue. Lisäksi eteläinen lähialue on harvaanasuttua.



Kuva 4. Pirkkalan lentoaseman visuaalilähestymiskartta (Fintraffic 2021)

Varsinkin alueen lounaisosissa ilmoittautumispisteen LIMPU läheisyydessä oleva alue on hyvää, tosin siirtolento-osuus matkalla on melko pitkä ja muuta lentoliikennettä on alueella melko paljon juuri ilmoittautumispisteen takia. Lisäksi mittarilentosääntöjen mukaisia mittarilähestymisiä suorittavat ilma-alukset operoivat alueella. Kuvassa 4 näkyvä ohuilla katkoviivoilla rajattua aluetta käytetään mittarilähestymisiä tekevien ilma-alusten porrastukseen muista.



Kuva 5. Leike Pirkkalan lentoaseman harjoitusalue kartasta (Fintraffic 2021)

Lentoliikenteen ja lennonjohdon niin salliessa tulee suosia koelentoalueena lentopaikan päällä sijaitsevia TRATP88 ja TRATP61 -alueita. Näin ollen mahdollistetaan varalaskupaikan ja pelastuspalveluiden käytettävyys. Myös maasta visuaalisesti tapahtuva lennonvalvonta on näin mahdollista. Ennen koelentoa tulee ottaa yhteys lennonjohtoon ja selvittää käytössä olevat alueet.

Pirkkalan lähestymisalueella sijaitsevat harjoitusalueet TRATP78, TRATP79, TRATP80, TRATP81 ja TRATP82 ovat myös valittavissa suunnitellun lentotoiminnan kannalta, sillä ne sijaitsevat poissa mittarilähestymisien luota ja niiden alla olevat alueet ovat harvaan asuttuja sekä niissä riittää varalaskupaikkoja. Myös näille alueille lennettäessä ylitetään vain vähän kriittisiä alueita. Tosin matkalla ylitetään järvenselkä melkein heti lentoonlähden jälkeen, joten koelentäjän kanssa tulee myös valmistautua tilanteeseen, jossa joudutaan pakkotilanteeseen vesistön yllä. Tähän voidaan varautua valitsemalla sopivan suuri lentokorkeus ylitykselle ja pelastusliiviä käyttäminen tarvittaessa, vaikka lainsäädäntö ei sitä vaatisikaan.

Rans Aircraft ilmoittaa Sakotalle liitoluvuksi 7:1. (Rans Aircraft 2005) Tämä tarkoittaa sitä, että lentokone liittää eteenpäin 7 kilometriä menettäen korkeudestaan 1 000 metriä. Tämän luvun avulla kartoitetaan sopivat lentokorkeudet ja reitit, sekä varmistetaan sopivan pakkolaskupaikan saatavuus. Sopivia pakkolaskupaikkoja rajoittaa myös lentokoneen vaatima laskumatka 400 jalkaa (122 metriä). (Rans Aircraft 2005)

3.2.2 Ohjaajien valinta

Ennen lentotoimintaa tulee ohjaajalla olla riittävä kokemus vastaavasta ilma-alusluokasta, tässä tapauksessa kannuspyöräkonfiguraation ultrakevyt. Ohjaajan tulee myös tutustua ilma-aluksen ohjauslaitteisiin, ohjaamoon, suorituskykyyn ja lento-ominaisuuksiin. Tehokkain tapa tutustua koelennettävän lentokoneen ominaisuuksiin on lentää samanlaisella lentokoneella, jos niitä on saatavilla. Ohjaamoon tutustumiseen on Aki Suokas ohjeessaan (2002) varannut noin tunnin verran.

Ohjaajan tulee myös käydä läpi mahdolliset pakkotilanteet ja varmistaa oikea toiminta niissä, näistä lisää alaluvussa 3.2.3. Hän on myös mukana luomassa lento-ohjekirjaa, jossa hänen koelentoillansa hankkima kokemuksensa tulee huomioida.

Pääkoelentäjäksi valittiin koulun opettaja, joka on myös projektin valvoja. Lisäsin koelentosuunnitelmaani myös toisen ohjaajan, joka voi vuorotella pääkoelentäjän kanssa ja toimia lentoarvojen mittaajana.

3.2.3 Toimintamenetelmien suunnittelu

Koelentäjän ja maahenkilöstön kanssa käydään läpi edellä alaluvussa 2.2.3. listatut tilanteet ja toimenpiteet, sekä varmistetaan heidän valmiutensa koelentojen aloittamiseen. Tätä varten pidetään koulutusilaisuus, jossa käydään läpi etukäteen koelentäjän ja rakentamisen vastuuhenkilön kanssa luodut toimintamenetelmät.

Lennoilla vastaantulevat tilanteet suunnitellaan vastaavan lentokoneen ohjeiden pohjalta koelentäjän kanssa. Äkillisiä tilanteita varten luodut menetelmät harjoitellaan koelentäjän kanssa siten, että hän osaa toimenpiteet ulkoa ja niiden suorittaminen on ripeää. Hyväksi havaitut toimet kirjataan ylös ja lento-ohjekirjaa kehitetään koelentojen edetessä.

3.2.4 Ohjelman ajoitus

Jaoin koelentosuunnitelman aiheet mukaillen Aki Suokkaan (2002) esimerkkiä, tosin koelentosuunnitelma on lyhyempi kuin hänen esittämänsä, koska Sakotassa on tyyppi-hyväksytty moottori ja potkuri. Vaihdoin joidenkin kohtien paikkoja, sillä uskon, että näin lennoista saadaan maksimi hyöty, vaikkakin koelentojen suorittamisen ei tarvitse seurata täysin numerojärjestystä.

Ennen lentojen aloitusta suoritetaan maatestit. Varasin kolme tuntia moottorin testaukseen ja kolme tuntia rullaustesteihin. Maatesteissä kokeillaan kaikki järjestelmät, jotka

maassa voi kokeilla: osa mittareista, potkurin ja moottorin toiminta, rullaus ja ohjaimien toiminta aina lentoonlähön nopeuksiin asti. Myös alustava arvio lentoonlähön matkasta voidaan tehdä suurnopeusrullauksien aikana.

Maatestien jälkeen siirrytään itse koelentoihin. Ensilenolle varaudutaan huolella ja sen aikana kokeillaan vain koneen ohjattavuus ilmassa. Suunnittelin ensilenolle mukaan myös seurantakoneen. Tämä vuokrataan esimerkiksi Tampereen Lentokerholta, jolla on käytössään tehtävään soveltuvat Cessna C150 ja C152 -lentokoneet. Heillä on myös osastolentoon koulutettuja lentäjiä. Ilman koulutusta osastolentäminen voi olla hyvinkin vaarallista. Seurantakoneen tehtävänä on valvoa koelennettävää lentokonetta ja tiedottaa sen ohjaajaa mahdollisista ongelmista, joita hän ei välttämättä itse näe.

Ensilennon jälkeen jatketaan samalla massalla ja painopisteasemalla lentokoneen ohjattavuuden ja suorituskyvyn kokeilua. Lisäksi koulutetaan myös toinen lentäjä, joka on mukana joillain myöhemmillä lennoilla tekemässä mittauksia ja painona. Hän voi myös tarvittaessa lentää koelentoja ja tarjota oman mielipiteensä esimerkiksi lento-ominaisuuksista.

Kun lentokone on lentäjille tuttu, siirrytään vaativampiin mittauksiin maksimilentoonlähön massalla. Tässä vaiheessa koneen suunnitellut ääriarajat kokeillaan perusteellisesti. Myös ne lentoliikkeet ja suorituskyvyn osa-alueet, joihin massa ja massakeskiö vaikuttavat, kokeillaan eri konfiguraatioissa, jotta koneen turvallisuus voidaan varmentaa. Näitä aiheita ovat esimerkiksi sakkausominaisuudet, nousukyky, stabiliteetti ja lentoonlähön sekä laskeutumismatkat.

Lento-ominaisuuksien ja suorituskyvyn todennuksen jälkeen siirrytään ohjelman viimeiseen vaiheeseen. Tässä vaiheessa määritetään esimerkiksi matkalennolla kuluva polttoaineen määrä ja matkalentoonopeus eri tehoasetuksilla, sekä maksimilentokorkeus.

Kuten aiemmin mainitsin, ei lentojen tarkkaa numerojärjestystä tarvitse seurata, mutta poikkeamien tulee olla harkittuja. Lisäsin myös ylimääräisiä lennon numeroita ohjelmaan, joita voidaan käyttää ongelmien ratkaisuun tai testien toistamiseen tarvittaessa. Osa lennoista on hyvä lentää talvella, jotta esimerkiksi ohjaamon huurteenpoisto ja lämmitys voidaan testata koelentovaiheessa.

3.3 Mitattavat suureet ja menetelmät

Seuraavassa osiossa esitellään koelentosuunnitelmassa käytettävät mittausmenetelmät. Koelentojen eri vaiheissa käytetään useita mittausmenetelmiä, mutta esimerkiksi lentokoneen sisäiset ja ulkoiset kamerat ovat hyvä tapa analysoida lentoa. Koelentoilta täytetään koelentokortit, joista käy ilmi testit sekä lennolla vallinneet olosuhteet. Luomani

koelentokorttipohja on liitteenä 2. Tein kortista A4-kokoisen, jotta taitettaessa puoliksi sitä on helppo käyttää A5-kokoisella polvilevyllä.

Lento-ohjekirjaan lennoista saatavat suorituskyvyn arvot on hyvä korjata turvallisempaan suuntaan vähentämällä tai lisäämällä keskiarvoon mittausten keskihajonta. Esimerkiksi polttoaineen kulutukseen lisätään keskihajonta ja maksimilentokorkeudesta vähennetään keskihajonta. (Laukkanen & Suokas 2002)

3.3.1 Järjestelmätetit

Koelentoilla käydään läpi kaikki järjestelmät. Järjestelmien testaus onnistuu osittain muiden lentojen lomassa, mutta varasin erillisiä koelentoja joillekin kohteille. Järjestelmätetaus aloitetaan maassa.

VOIMALAITTEEN TESTAUS

Moottori testataan maassa niin hyvin kuin mahdollista, mutta vasta lennoilla saadaan toiminta testattua kunnolla. Kokeita varten moottori lämmitetään operointilämpötilaan, minkä jälkeen moottoria käytetään 2 500 kierroksen nopeudella ja öljynpaine sekä lämpötila tarkastetaan. Seuraavaksi tarkastetaan sytytysjärjestelmän toiminta. Lisäksi testataan moottorin maksimikierrosluku koneen ollessa paikallaan. Tämän jälkeen moottorilla suoritetaan jäähdytyskäyttö ja se sammutetaan. (Rotax 2021)

Lentokoneen maksimi staattinen työntövoima voidaan mitata tässä vaiheessa. Se on tärkeä suoritusarvo, sillä se kertoo voimalaitekokonaisuuden toiminnasta ja lentoonlähtö ominaisuuksista. Suokas ja Laukkanen (2002) määrittelevät työntövoiman olevan riittävä, kun sen suuruus on enemmän kuin 33 % koneen maksimi lentoonlähtöpainosta. Itse mittaus suoritetaan tasaisella alustalla, nokka tuuleen päin. Lentokone kiinnitetään köydellä johonkin liikkumattomaan kiinnityspisteeseen. Köyden ja lentokoneen väliin asetetaan jousivaaka, josta voima mitataan. Mittauksia varten moottori lämmitetään käyttölämpötilaan. (Laukkanen & Suokas 2002) Lentokoneella on luonnollisesti myös lepokitka, joka tulee huomioida mittauksessa. Lepokitkan voi mitata jousivaa'alla ja mitattu arvo lisätään maksimityöntövoimaan.

Lentokone on suunniteltu lentämään, joten maatesteissä esimerkiksi moottorin jäähdytystä ei voida täysin kokeilla. Tätä varten suunniteltiin erillisen koelennon, joka lennetään olosuhteiden ollessa epäedulliset moottorin jäähdytykselle. Jäähdytyksen riittävyyttä tulee seurata myös erityisesti nousukokeiden aikana. Moottorin toimintaa testataan matkalennoilla, joilla kerätään tietoja polttoaineen kulutuksesta ja matkalentonopeudesta.

Potkuri tarkastetaan ennen koekäyttöä ja lentoa sekä niiden jälkeen. Sakotaan valittu komposiittipotkuri ei saa olla halkeillut eikä siinä saa olla lovia. Jos näitä löytyy testien jälkeen, tulee potkuri korjata valmistajan ohjeiden mukaan. Ongelmien analysointiin voidaan käyttää DUC:n verkkosivuilta (<http://www.duc-helices.com/>) löytyviä ohjeita. Halkeamat voivat aiheutua huonosta moottori- ja potkuri valinnasta, tosin vastaava yhdistelmä on todettu toimivaksi muissa lentokoneissa (FAA 2015).

Potkurille tehdään myös lapojen liikeratatesti, joka suoritetaan asettamalla lentokone lentoonlähtöasentoon. Ennen testin aloitusta irrotetaan jokaisesta sylinteristä toinen sytytystulppa, jotta moottoria voidaan pyörittää helpommin ja turvallisemmin. Potkuri asetetaan asentoon, jossa yksi lapa on alaspäin ja sen kärjen etäisyys maasta mitataan. Tämän jälkeen pyöritetään seuraava lapa ala-asentoon ja mitataan sen etäisyys. FAA:n ohjeen mukaan potkurin lapojen kärkien etäisyyksissä ei saa olla yli 1,59 mm eroa. (FAA 2015)

PITOT-STAATTISEN JÄRJESTELMÄN TESTAUS

Mittarit tarkastetaan alustavasti maassa ja lopullisesti koelentoilla. Suunnittelin ensimmäisille koelentoille pitot-staattisen järjestelmän testauksen, sillä korkeuden ja nopeuden mittauksella on suuri merkitys useassa muussa lennossa. Järjestelmän toiminnan ja virheiden selvittäminen lisää myös lentoturvallisuutta huomattavasti.

Ensilenolla vertaillaan koelennettävän ja seurantakoneen mittareiden näyttämiä, joiden perusteella saadaan arvio mittareiden näyttämien todenperäisyydestä. Seuraavilla lennoilla käytetään tarkempia mittausjärjestelyitä. Oppaassaan Aki Suokas ja Jyrki Laukkanen (2002) opastavat kuinka anturit valmistetaan mittausta varten. Lennoille valmistetaan laahus, jolla staattinen paine voidaan mitata ilman paikkavirhettä. Myös kokonaispainetta mittaavalle pitot-putkelle löytyy valmistusohje.

Ensimmäisten lentojen yhteydessä testataan nopeusmittarin näyttämä lentämällä etukäteen suunniteltu edestakainen reittilento. Lentoreitin muodolla minimoidaan tuulen vaikutus maanopeuteen. Lento tulee kuitenkin suorittaa mahdollisimman tyynessä säässä paremman mittaustarkkuuden saavuttamiseksi. Lisäksi tuulikorjauksia ei tehdä reitille vaan koneen annetaan sortua tuulen mukana, näin halutun suuntainen nopeuskomponentti säilyy muuttumattomana. Poistamalla tuulenvaikutus tosimaanopeudesta, saadaan tosi-ilmanopeus. Ilmanopeuden ja korkeuden pysyessä vakiona pystytään lennon kalibroitu ilmanopeus ratkaisemaan tosi-ilmanopeudesta esimerkiksi ilmailulaskimella. (Laukkanen & Suokas 2002)

Sopiva mittauspaikka löytyy Pirkanmaalta esimerkiksi Mallasveden selältä, jossa yhden suuntaista reittiä voidaan lentää usealla tavalla. Vesistön rannat ovat suoria ja selkeitä, mikä helpottaa ajanoton aloitusta. Vesistön ylle tulee valita turvallinen lentokorkeus moottorihäiriön varalta.

3.3.2 Rullaustestit

Moottorin testauksen jälkeen tehdään ohjattavuuden testausta maassa. Tässä vaiheessa käydään läpi kaikki aerodynaamiset ohjaimet sekä jarrut. Ennen näitä testejä, lentäjän tulee olla varautunut lentämään koneella. Hänen tulee tuntea järjestelmät ja toimintamenetelmät, sekä hänen tulee olla tietoinen asennosta, jolla lentokone lähtee lentoon. Maatesteihin lentäjän tulee pukeutua koelentovarusteisiin sekä kiinnittää istuinvyöt, aivan kuten lennoillekin.

Kuten jokaisella tavallisellakin lennolla, aivan ensin testataan jarrujen toimivuus ja välittömästi tämän jälkeen ohjattavuus. Lisäksi testataan koneen kulku eri nopeuksilla, aina 20 %:n lentoonlähönnopeudesta asti. Lentokoneen tulee kulkea suoraan ja olla ohjattavissa. Koelentäjä hakee myös tuntumaa koneen maakäsittelyyn ja varsinkin ensimmäinen rullauskoe olisi hyvä suorittaa mahdollisimman tynnellä säällä. (FAA 2015, s. 42) Sakotan maakäsittelyssä tulee noudattaa varovaisuutta, sillä kannuspyöräkonfiguraatio vähentää näkyvyyttä eteenpäin. Lisäksi pyörähdys (Ground Loop) tai nokalle meno on mahdollista. (HTH 2020) On suositeltavaa käyttää radioilla varustettuja valvojia, jotka voivat tarvittaessa opastaa koelentäjää ja tiedottaa häntä ulkoisista tekijöistä.

Ohjattavuuden lisäksi rullauksen aikana tarkistetaan myös mittarit. Nopeusmittarin tulee näyttää nolaa pystynopeusmittarin tavoin. Keinohorisontti on toimiva, kun se osoittaa nokan asentoa eikä kallistu mutkissa. Magneettisen kompassin ja hyrräkompassin tulee kääntyä mutkien aikana ja näyttää samoja lukemia. Kaartomittari näyttää kääntymistä siihen suuntaan, johon käännetään ja luisumittari päinvastaiseen. (FAA 2015, s.42) Myös GPS-järjestelmää voidaan testata tässä vaiheessa.

Kun perusteet ovat lentäjällä hallussa ja koneen toiminta on varmistettu, voidaan siirtyä suurnopeus rullaustesteihin. Näissä testeissä nopeutta kasvatetaan aina 80 % arvioidusta sakkausnopeudesta. Nämä testit tulee suorittaa kiitotiellä turvallisuussyistä. Suurilla nopeuksilla kannuspyöräkoneen pyrstön tulisi nousta ilmaan. Riittävä virtaus ohjainpintojen ohi mahdollistaa myös aerodynaamisten ohjainten testauksen. Näissä testeissä saadaan arvio lentoonlähön- ja laskeutumismatkoista. (FAA 2015, s. 43)

Jokaisen maakokeen jälkeen lentokone on tarkastettava vuotojen sekä muiden vikojen varalta. Jos vikoja todetaan, tulee niihin puuttua ennen seuraavaa testiä.

3.3.3 Suorituskyvyn ja lento-ominaisuuksien mittaus

Varsinaiseen koelentämiseen kuuluu koneen määräysten mukaisen toiminnan selvitys ilmassa. Esittelen seuraavaksi koelento-ohjelman suorituskyvyn mittaukset sekä lento-ominaisuuksien testauksen.

VAKAUS JA LIIKEHDINTÄ

Lentokoneen vakaus on ohjattavuuden kannalta tärkeä ominaisuus. Koelentoilla testataan koneen vakautta ja liikehdintää eri akseleiden suhteen. Testit toistetaan eri massakeskiön paikoilla, jotta voidaan todeta koneen lento-ominaisuuksien olevan riittävällä tasolla kaikissa tilanteissa. (HTH 2021)

Staattinen pituusvakavuus testataan lentämällä tiettyä nopeutta. Tältä nopeudelta korkeusohjaimen poikkeutuksen nokka-alas asentoon, tulee kasvattaa ilmanopeutta. Toiminnan tulee olla päinvastainen toiseen suuntaan. Korkeusohjaimen poikkeutuksen jälkeen tulee lentotilan palata poikkeutusta edeltäneeseen tilaan ilman lentäjän aktiivista ohjausta. Tämä voidaan kokeilla poikkeuttamalla korkeusohjainta jompaankumpaan suuntaan ja vapauttamalla ohjaimet. Lentokoneen tulisi palata vaakalento aloitusnopeudelle. (HTH 2021)

Lennoilla testattava staattinen suunta- ja kallistusvakavuus määritetään poikkeuttamalla kallistus- ja suuntaohjaimia. Ohjainten vaikutuksen tulee olla poikkeutussuuntaan kallistusta tai luisua lisäävä. Suuntaohjaimen vapauttamisen jälkeen luisun kasvaminen tulee pystyä estämään kallistusohjaimella. Kallistus- ja suuntaohjaimen suurilla poikkeutuksilla saa esiintyä voimien kääntymistä, jos se on hallittavissa. Esimerkiksi niin sanottu Rudder Lock on mahdollinen. Siinä sivuperäsin jää sakatessaan ääriasentoonsa. (HTH 2021)

Lentokoneen liikkeen heilahtelut voidaan jakaa kahteen osaan, nopeaan tai hitaaseen, riippuen jaksonajasta. Nopean heilahtelun jaksonaika on noin 2–5 sekuntia ja sen korjaaminen ohjaajan toimesta on hankalaa. Näin ollen, nopeiden heilahteluiden tulee vaimentua nopeasti itsestään. Kuitenkin kallistus-suunta heilahtelun (Dutch Roll) ei tarvitse vaimentua nopeasti. Pitkäkestoiset heilahtelut ovat jaksonajaltaan 0.5—2 minuuttia pitkiä heilahduksia, jotka ohjaaja pystyy korjaamaan, joten niiden ei tarvitse olla vaimenevia.

Hitaan heilahtelun vaimeneminen on testattavissa muuttamalla koneen asentoa esimerkiksi nokka ylös -asentoon. Tämän jälkeen ohjaimet vapautetaan ja koneen liikerataa havainnoidaan. Tämän Phugoid-liikkeen aikana kineettisen ja potentiaalienergian summa säilyy likimain vakiona, korkeus lisääntyy ja nopeus pienenee ja päinvastoin. Myös kohtauskulma säilyy vakiona. (Laine ym. 2006, s. 264–266)

Spiraaliliikkeen suhteen lentokone saa olla epävakaa, mutta muutosnopeus ei saa olla suuri. Spiraalia kokeillaan eri nopeuksilla ja tehoasetuksilla poikkeuttamalla suuntaohjainta hetkellisesti ja seuraamalla koneen liikeradan muutosta. Jos kone on vakaa, se palaa takaisin vaakalentoon. Jos se on epävakaa, koneen kallistus ja suunnan muutos nopeus kasvavat. (Laine ym. 2006, s. 267—268)

RAKENTEET JA VÄRÄHTELY

Rakenteiden kestävyys tarkastellaan laskennallisesti suunnitteluvaiheessa. Lisäksi kestävyys voidaan tosittaa kuormituskokeilla. Lennoilla rakenteet eivät saa kokea pysyviä muodonmuutoksia millään tehoasetuksella tai nopeudella aina suurimpaan sallittuun nopeuteen V_{NE} asti. (HTH 2021)

Koelentojen aikana ei saa myöskään esiintyä voimakkaita värähtelyjä millään tehoasetuksella tai nopeudella, aina V_{NE} -nopeuteen asti. Normaaleissa lentotiloissa ei saa esiintyä tärinää, joka aiheuttaisi rakenteellisia vaurioita tai ohjausvaikeuksia. (HTH 2021)

Rakenteiden ja värähtelyiden testaus tehdään ohjelman loppupään lennoilla. Testeissä koelentäjän havainnot ovat suuressa osassa ja hänen johdollansa käydään läpi lennon tulokset. Lentokoneen ulkopuoliset kamerat auttavat analysoimaan rakenteiden liikettä. Näiden ääriarajoilla tehtyjen testausten jälkeen tulee koneen rakenne tarkastaa perusteellisesti.

LENTOONLÄHTÖ- JA LASKEUTUMISSUORITUSKYKY

Lentokoneen tarvitsemat lentoonlähtö- ja laskeutumismatkat ovat hyvin tärkeitä koelentoaiheita. Ne määrittävät tuleville lentäjille, mille lentokentille lentokoneella voi lentää turvallisesti. Matkojen mittaaminen on haastava tehtävä, joka vaatii tarkkaa suunnittelua ja tulosten laskentaa, sillä muuttuvat sääolosuhteet ja lentäjän taitotasoa vaikuttavat tuloksiin huomattavasti. Lentäjän vaikutusta pyritään minimoimaan tekemällä testit ohjelman lopussa, jolloin hänen lentoonlähtö- ja laskeutumistekniikkansa on vakiintunut.

Mittaukset voidaan suorittaa esimerkiksi kameran avulla. Lentokonetta kuvataan kaukaa takaapäin. Kameran asetukset pidetään samoina, jotta lentoonlähden alusta ja irtoamisesta otetuista kuvista voidaan laskea etäisyys kuvissa muuttuvan kärkivälin avulla. Tällä menetelmällä päästään noin ± 2 metrin tarkkuuteen. (Laukkanen & Suokas 2002) Myös videokuvausta voidaan käyttää mittauksiin, esimerkiksi lentokoneeseen kiinnitettävistä kameroista saadaan hyödyllisiä paikkatietoja.

Laskeutumismatkojen määrittelyyn voidaan käyttää kameraa, sekä GPS-mittauksia. Lentäjän laskeutumistarkkuus on hyvä olla korkealla tasolla mittauksia varten. Laskeutumisia voidaan harjoitella ylimääräisillä lennoilla tarkkuuden saavuttamiseksi. Myös lähestymisen aikainen nopeus, sekä lentoonlähtönopeus tulee säilyttää vakiona, kunhan optiminopeus on selvillä.

Kuten edellä mainittiin, sääolosuhteet vaikuttavat mittauksiin paljon. Matala ilmanpaine ja korkea lämpötila sekä kosteus vaikuttavat suoritusarvoja heikentävästi. Vastatuuli taas lyhentää matkoja. Näiden tekijöiden muutos tulee huomioida lopullisessa lento-ohjekirjassa. Koelentoilta saadut arvot korjataan vastaamaan tyynen ilman arvoja laskennallisesti kaavalla:

$$x_{tyyni} = x_{mitattu} * \left(\frac{v_{irtoaminen}}{v_{irtoaminen} - v_{tuuli}} \right)^2 \quad (1)$$

Kaavassa $v_{irtoaminen}$ on nopeus, jolla lentokone irtoaa maasta, v_{tuuli} on tuulen lentoradan suuntainen komponentti. Matka $x_{mitattu}$ on kokeen aikana mitattu lentoonlähtömatka, josta saadaan lopulta x_{tyyni} , jossa tuulenvaikutus on kompensoitu. (Laukkanen & Suokas 2002).

Käytetty kiitotie vaikuttaa myös näihin matkoihin, ylämäkeen oleva kiitotie lyhentää laskeumatkaa, mutta pidentää lentoonlähtöä. Hiekkapintaisella kiitotiellä suorituskyky eroaa kestopäällysteisestä kiitotiestä huomattavasti. Näistä syistä Tampere-Pirkkalan lentoaseman kestopäällysteinen kiitotie valikoitui testauspaikaksi. Lentoaseman kiitotien muodosta on saatavilla tarkka kuvaus Suomen ilmailukäsikirjassa (ais.fi). Kaltevuutta voidaan korjata kaavalla:

$$x_{tasainen} = x_{mitattu} * \left(\frac{1}{1 + \frac{2 * g * x_{mitattu} * \sin(\beta)}{v_{irtoamis}^2}} \right) \quad (2)$$

Kaavassa g on putoamiskiihtyvyyys ja β on kiitotien kaltevuus siten, että positiivinen luku vastaa ylämäkeä. (Laukkanen & Suokas 2002)

Lentokoneen tulee olla testejä varten puhdas ja ulkoisten mittauslaitteiden määrä minimissään, sillä ylimääräinen vastus vaikuttaa mittaustuloksiin. Suorituskykyä heikentää

myös koneen massa. Mitatut matkat korjataan vastaaman maksimilento-ohjelmassa vastaaviin matkoihin, jotta lento-ohjekirjaan kirjattava matka olisi varmasti riittävä kaikilla massoilla. Pienempi massa lyhentää kiitotievaatimusta, sekä lento-ohjelmassa nopeutta. Seuraavalla kaavalla voidaan massan vaikutus huomioida matkoissa:

$$x_{MTOM} = x_{mittaus} * \left(\frac{m_{MTOM}}{m_{mittaus}} \right)^2 \quad (3)$$

Kaavassa x_{MTOM} on matka maksimilento-ohjelmassa, m_{MTOM} on maksimilento-ohjelmassa, $x_{mittaus}$ on mitattu matka ja $m_{mittaus}$ mittauksen aikainen lentokoneen massa. (Laukkanen & Suokas 2002)

SAKKAUS

Lentokoneen sakkauksominaisuuksien tulee olla turvalliset, esimerkiksi taipumusta hallitsemattomaan syöksykierteeseen ei saa esiintyä (HTH 2021). Lisäksi testien aikana määritettävät sakkauksnopeudet ovat usean eri nopeuden pohjana, esimerkiksi lähestymisnopeus määritellään 1.3 kertaisena sakkauksnopeutena valitulla konfiguraatiolla. Hidaslento lennetään 1.1 kertaisella sakkauksnopeudella. Koska sakkauksnopeudet ovat tärkeitä, tulee sakkauksnopeus määrittää ohjelman alkuvaiheessa.

Sakkauksen yleinen määritelmä pätee myös koelentoilla. Sakkauksen aiheuttama siiven nostovoiman pieneneminen suurella kohtauskulmalla aiheuttaa nokan pudotuksen ja suuren pystynopeuden. Nostovoima pienenee ilmapirtauksen irrotessa siiven pinnasta. Kone voi myös kallistua tapahtuman aikana, jos jokin aiheuttaa epäsymmetrisen sakkauksen siipien välillä. Sakkauksnopeus taas määritellään pienimpänä tasaisena nopeutena, jolla lentokone on ohjattavissa. Tästä nopeudesta hidastaminen aiheuttaa välittömästi sakkauksen.

Sakkauksominaisuuksiin ei saa vaikuttaa vähäinen kallistus tai luisu. Lisäksi yli 30 asteen kallistus tulee pystyä estämään ohjaimilla. Sakkauksitestit tehdään myös kaikilla eri konfiguraatioilla ja moottoritehoilla. (HTH 2021) Laskusiivekkeiden lisääminen laskee sakkauksnopeutta samoin kuin moottoritehon lisääminen.

Sakkauksominaisuuksien lisäksi määritellään sakkauksen oikaisutoimenpiteet eri konfiguraatiolle. Koska rakennettavan Sakotan moottoria ei ole hyväksytty syöksykierteisiin, ei liikettä koelennetä, vaan se kielletään lento-ohjekirjassa. Sakkauksen varoitus kokeiltaan myös. Varoituksen tulee olla selkeä ja se voidaan toteuttaa aerodynaamisesti tai erillisellä laitteella (HTH 2021). Koelennettävässä Sakotassa on tällä hetkellä asennet-

tuna Saab J 35 Draken -hävittäjän kohtauskulma-anturi, jota voidaan käyttää apuna sakkauksen määrittelyssä. Vakiovarustuksessa Sakotassa ei ole erillistä sakkauksvaroitinta. Alkuperäisen rakennusoppaan mukaan Sakotan sakkauks ilmenee tärinä, joka aiheutuu siiven tyvestä alkavasta virtauksen irtoamisesta. Tästä muodostuu pyörteitä, jotka osuvat korkeusperäsimeen aiheuttaen tärinän. (Rans Aircraft 1997)

Sakkauksenopeus on määritetty Sakotalle tehtaan toimesta, mutta nyt koelennettävälle koneelle tulee lentää sakkaukskoeket, jotta sen lento-ominaisuudet ja mittausvirheet voidaan määrittellä. Rakentamisen aikana koneeseen tehdyt pienet erot tehtaan koelentämään yksilöön voivat aiheuttaa eroavaisuuksia ominaisuuksissa ja suorituskyvyssä. Lento-ominaisuuksiin vaikuttaa esimerkiksi siipien asetuskulma ja siipien väliset erot. Sakkauksenopeuteen vaikuttaa myös massakeskiön asema ja lentokoneen massa. Korkeimman sakkauksenopeuden aiheuttaa etummainen massakeskiö asema ja suuri massa. Näin ollen sakkauksitestit lennetään massakeskiön asema etu- ja takarajoilla. Lentokoneen massa muuttuu koko lennon ajan polttoaineen kuluessa. Muuttuvan massan vaikutus voidaan korjata kaavalla:

$$v_{korjattu} = v_{mitattu} * \sqrt{\frac{m_{MTOM}}{m_{mitattu}}} \quad (4)$$

Kaavassa (4) mitattu nopeus korjataan vastaamaan maksimilento-ohjelmassa sakkauksenopeutta kertomalla se maksimilento-ohjelmassa ja mittauksen aikaisen massan osamäärän neliöjuurella. (Laukkanen & Suokas 2002)

Sakkauksenopeuksien määrittelyssä on huomioitava pitot-staattisen järjestelmän asentovirhe, joka usein kasvaa suurella kohtauskulmalla. Tätä varten voidaan käyttää pitot-staattisen järjestelmän kalibroinnissa käytettävää laitteistoa tai seurantakonetta, joka pystyy lentämään oletettua sakkauksenopeutta pienemmällä nopeudella.

Koska sakkaukseen liittyy siiven kyky tuottaa riittävä nostovoima vastustamaan lentokoneen massan aiheuttamaa painoa, kasvava kuormituskerroin nostaa myös sakkauksenopeutta. Ohjelman alkuvaiheessa testit suoritetaan kuormituskertoimella yksi, joka vallitsee yleisesti lennon aikana. Loppuvaiheessa suoritetaan kiihdytetyt sakkaukset ja kaarrosakkaukset, joissa sakkauksenopeus nousee kuormituskertoimen kasvaessa. Koneen ohjattavuuden ja lento-ominaisuuksien testaus ovat tärkeimpiä mitattavia asioita näillä lennoilla.

Jokaisen suoritettujen sakkauksien ja sakkauksen oikaisun aiheuttama korkeuden menetys tulee mitata. Korkeuden menetyksen suuruus pienenee, kun lentäjän suoritusmekaniikka paranee. Tämä arvo on hyvä mainita myös lento-ohjekirjassa.

NOUSUKYVYN MÄÄRITYS

Lentokoneen nousukyky tulee määritellä lento-ohjekirjaa varten. Tulevien lentäjien tulee tietää parhaan pystynopeuden antava nousunopeus V_y sekä jyrkimmän nousukulman antava nopeus V_x . Nousunopeuksien määrittäminen on ensimmäisten koelentojen aikana suoritettava mittaus. Nousukyvyn määrittäminen voisi suorittaa pystynopeusmittarin avulla, mutta tarkemmat mittaustulokset saa käyttämällä korkeusmittaria ja kelloa.

Parhaan pystynopeuden antava nousunopeus määritetään kokeellisesti käyttämällä sahanterää muistuttavaa tekniikkaa (Sawtooth Climb Method). Siinä lennetään koneella valittua nopeutta vaakalennossa ennen kuin siirrytään nousuun samalla nopeudella ja täydellä teholla. Kun ilma-alus läpäisee aloituskorkeuden, käynnistetään kello, joka pysäytetään, kun tavoitekorkeus saavutetaan. Nousun tulee olla vakaa ennen aloituskorkeutta, joten se aloitetaan noin 100 metriä mittauksen aloituskorkeuden alapuolella ja vaakalento siirrytään vasta kun tavoitekorkeus on ylitetty. Jotta tuulen vaikutus voidaan minimoida, lennetään tuuleen nähden 90 asteen kulmassa.

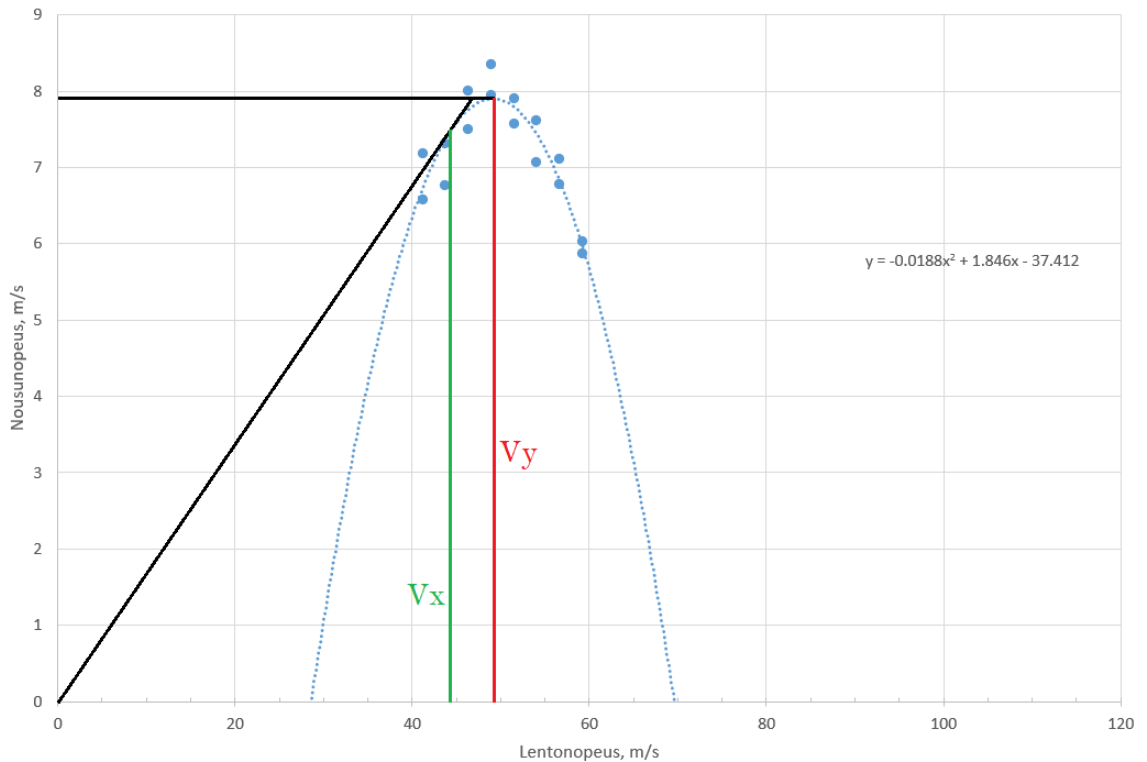
Kokeiden aikana kirjataan ylös kellon aika, lentokoneen massa ja ympäröivät olosuhteet. Ilmanopeuden tulisi pysyä noin 2 km/h sisällä, jotta mittaustarkkuus on riittävä. Kun koe toteutetaan useilla eri nopeuksilla samoissa olosuhteissa, voidaan tuloksista muodostaa graafi, joka on muodoltaan alaspäin aukeava paraabeli, joka esitellään kuvassa 6. Pystyakselille tulee kohoamisnopeus tai aika ja vaakakselille nopeus. Paraabelin huippu osoittaa kyseiselle mittaukselle suurimman pystynopeuden antavan ilmanopeuden. Testien edetessä ilma-aluksen nousukyky paranee, sillä polttoaineen kuluessa ilma-alus kevenee. Massan muutoksen vaikutusta voidaan vähentää käyttämällä seuraavaa korjauskaavaa:

$$h_k = \frac{m_t}{m_{ka}} \dot{h}_t . \quad (5)$$

Kaavassa (5) \dot{h}_k on korjattu pystynopeus ja \dot{h}_t on mitattu pystynopeus. $\frac{m_t}{m_{ka}}$ on mittauksen aikana mitatun massan ja kokeen kaikkien massojen keskiarvon suhde. (Ward et al. 2006) Korjausta voidaan käyttää, kun tiedetään ilma-aluksen massa jokaisen nousun aikana. On suositeltavaa hyödyntää laskentaohjelmaa näiden laskujen tekemiseen.

Nousunopeuteen vaikuttaa myös pystysuora tuuligradientti, jonka mittaaminen on hyvin haastavaa. Tuulenvaikutusta voidaan kuitenkin vähentää lentämällä 90 asteen kulmassa vallitsevaan tuuleen ja lentää jokainen koe myös vastakkaiseen suuntaan. Myös lyhyt mittausväli vähentää tuulen vaikutusta.

Seuraavassa kuvassa on piirretty edellä mainittu pystynopeuden maksimiarvon määrittämiseen käytettävä kuvaaja. Kuvaajasta luetaan V_y -nopeus paraabelin huipusta ja V_x -nopeus origosta lähtevän tangentin ja paraabelin leikkauspisteestä.



Kuva 6. Nousunopeuksien määrittäminen kuvaajasta

Kuvan 6 esimerkki tuloksista voidaan arvioida parhaan nousukulman nopeudeksi 44 metriä sekunnissa ja nousunopeuden nopeudeksi 49 metriä sekunnissa, joka mahdollistaa miltei 8 metriä sekunnissa pystynopeuden.

LIITO-OMINAISUUKSIEN MÄÄRITYS

Lento-ohjekirjaa varten tulee määrittää nopeus, jolla esimerkiksi moottorihäiriön sattuessa lentokone liittyy mahdollisimman pitkän matkan. Tämä voidaan määrittää hyvin vastaavalla tavalla kuin parhaan nousukyvyyn nopeus.

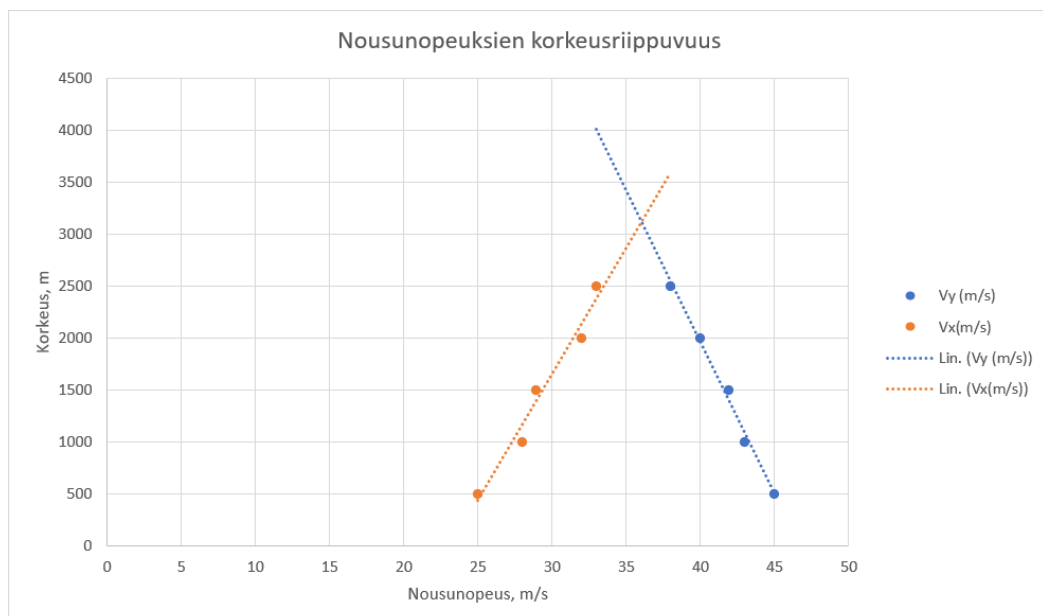
Aloitetaan testi joltain korkeudelta, joka on mittauksen aloituskorkeuden yläpuolella. Kun lentokoneen nopeus ja liuku on vakiinnutettu ja aloituskorkeus ohitetaan, käynnistetään ajanotto. Se pysäytetään, kun tavoitekorkeus saavutetaan. Mitatun ajan perusteella voidaan määrittää pystynopeus. Testeissä tulee huomioida moottorin jäähtyminen, joten testit on hyvä suorittaa lämpimällä ilmalla ja mahdollisimman tyyneellä säällä.

Mittaukseen vaikuttaa lentokoneen massa, joka tulee laskennassa huomioida. Massan kasvattaminen kasvattaa parasta liitonopeutta. Muuttuvan massan vaikutus korjataan laskennallisesti kuten nousukyvyyn määrittämissäkin. Saaduista tuloksista voidaan piirtää alaspäin aukeava paraabeli, jonka huipusta saadaan maksimi liitoajan nopeus ja origon kautta kulkevasta tangentista maksimi liitomatkan nopeus, joka kirjataan lento-ohjekirjaan.

MAKSIMILENTOKORKEUDEN MÄÄRITYS

Maksimilentokorkeuden määrittäminen tapahtuu ohjelman loppuvaiheilla. Käytännössä lentokoneen suurin lentokorkeus saavutetaan, kun kone ei enää pysty säilyttämään 100 jalkaa minuutissa (0,5 m/s) pystynopeutta. Tämä koe toteutetaan portaittaisilla nousuilla, kunnes kone ei enää nouse vaadittua pystynopeutta. Portaittaisista nousuista tulee pitää kirjaa ja koneen suorituskykyä on valvottava. (Laukkanen & Suokas 2002)

Lentokoneen parhaan suorituskyvyn nousunopeudet muuttuvat korkeuden myötä. Lopulta V_y ja V_x ovat sama nopeus ja pystynopeus on nolla. Ennen lentoa tulisi siis olla tiedossa nämä nopeudet ja jonkinlainen arvio niiden käytöksestä korkeuden muuttuessa. Tähän voidaan käyttää ekstrapolointia aiemmin mitatusta datasta, tästä esimerkkinä kuva 7.



Kuva 7. Nousunopeuksien ekstrapolointi

Kuvan perusteella esimerkin lentokone nousisi lähellä maksimikorkeutta ainoastaan nopeudella 37 m/s. Sakotalle saadaan mittapisteet edeltäviltä koelentoilta.

Lisähaastetta korkeussuorituskyvyn koelentämiseen tuo lainsäädäntö ja ihmisen suorituskyky. Rans lupaa Sakotan maksimilentokorkeudeksi 14 000 jalkaa (4 268 metriä). Koska lento tapahtuu yli 10 000 jalan (3 048 metrin) korkeudessa, tulee ottaa huomioon miehistön hapen saanti. Lainsäädännöllisesti 10 000–13 000 jalan (3 048–3 963 metrin) välillä voidaan toimia 30 minuuttia ilman lisähappilaitteita ja tämän yläpuolella tulee kaikkien koneessa olijoiden käyttää lisähapetta. (EASA 2021, s. 1778)

POLTTOAINEEN KULUTUS JA MATKALENTONOPEUS

Matkalentosuorituskyvyn mittaus on ohjelmani viimeinen aihe. Lento-ohjekirjaan luodaan taulukko, jonka perusteella tulevat lentäjät voivat määrittellä tarvittavan ajan ja polttoaineen matkalennoillensa. Taulukkoa varten tulee selvittää, kuinka suurella nopeudella lentokone lentää eri korkeuksilla ja tehoasetuksilla, sekä kuinka paljon polttoainetta kuluu tunnissa.

Arvot mitataan matkalentoa jäljittelevällä lentoreitillä, joka voi olla esimerkiksi neliön tai odotuskuvion muotoinen. Lentoonlähtö ja nousu mittauskorkeuteen lennetään toisella siipitankilla. Mittauksia varten vaihdetaan polttoaineen syöttö toiselle tankille ja mittauslentoa lennetään tehoasetuksella noin puoli tuntia. Tämän jälkeen vaihdetaan polttoaineen syöttö takaisin toiselle tankille ja palataan lentokentälle. Kentällä mitataan kuluneen polttoaineen määrä mittaustankista.

Mittausten aikana kirjataan ylös vallitseva lämpötila ja käytetty tehoasetus, sekä tällä asetuksella saavutettu matkalentonopeus. Mittauksissa käytetään painekorkeutta, jotta laskenta helpottuu.

4. YHTEENVETO

Työssä käsiteltiin koelentämistä ohjaavaa lainsäädäntöä ja käytännön huomioita. Tämän jälkeen teoria siirrettiin käytäntöön ja toteutettavat mittaukset käytiin läpi.

Koelentosuunnitelman rakenne ja sisältö käytiin läpi perusteellisesti. Pääosin koelentosuunnitelman lento-ohjelma sisältää järjestelmä-, suorituskyky- ja käsittelytestejä. Ennen lentoja suoritetaan järjestelmä- ja ohjattavuustestejä maassa. Lisäksi suunnitelma ottaa kantaa ohjaajiin, päätöksentekoon, käytävään lentokenttään ja koelentoalueeseen, lentokoneen kuormaukseen sekä mittausmenetelmiin. Tutkielman ohessa tehtiin myös kohdeilma-alukselle koelentosuunnitelma, koelentokortit sekä useita laskentataulukoita, joista esimerkkejä löytyy tekstin seasta sekä liitteistä.

Koelentosuunnittelu on monipuolinen katsaus ilma-aluksen toimintaan ja suorituskykyyn, sillä koelentosuunnittelu vaatii syvällistä perehtymistä kohdeilma-alueeseen. Suunnittelua varten tulee myös perehtyä ilmailuun ja lentämiseen eri näkökulmista, varsinkin lainsäädännöllisestä ja fysikaalisesta. Näin ollen koelentosuunnitelman tekeminen hyödyttää myös koelentäjää ja hänet kannattaa ottaa mukaan suunnitteluprosessiin. Koelentoista kerätyn mittausdatan lisäksi koelentäjän kokemukset lennoilta ovat tärkeitä, kun koelentojen pohjalta tehdään koelentokertomus ja lento-ohjekirja.

Sakotan koelentosuunnitelma pystyttiin suunnittelemaan 25 tunnin mittaiseksi 45 tunnin sijaan, sillä moottori ja potkuri ovat molemmat tyyppihyväksytyjä. Testattavan yksilön moottori on ollut pitkään säilytyksessä, joten tämä huomioitiin myös suunnitelmassa lisäämällä moottoritestejä. Vaikka Sakota on suunniteltu taitolentokelpoiseksi, ei valittu moottori mahdollista taitolentoa ja näin taitolentoliikkeet jäivät suunnitelman ulkopuolelle.

Koska jokainen ilma-alus on erilainen, tulee koelentosuunnitelma räätälöidä yksilölle. Tätä tutkielmaa voidaan kuitenkin käyttää apuna muiden ilma-alusten koelennon suunnittelussa. Huomioitava on kuitenkin vuoden 2022 aikana päivittyvät ilmailumääräykset AIR M5-1 ja AIR M5-2. Vaikka aineiston käsittely rajoitettiin kevyisiin ilma-aluksiin, antoivat käytetyt lähteet laajan kuvan koelentämisen suunnittelusta myös eri kokoisille ilma-aluksille.

LÄHTEET

European Union Aviation Safety Agency EASA (2016). Easy Access Rules for Flight Crew Licencing (Regulation (EU) No 539/2016) päivitetty 4.2016. Saatavilla (viitattu 10.2.2022): <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Part-FCL.pdf>

European Union Aviation Safety Agency EASA (2021). Easy Access Rules for Air Operations (Regulation (EU) No 965/2012) päivitetty 12.2021. Saatavissa (viitattu 23.1.2022): <https://www.easa.europa.eu/downloads/20342/en>

Fintraffic (2021). Suomen ilmailukäsikirja (AIP SUOMI / FINLAND). Saatavissa (viitattu 22.1.2022): <https://www.ais.fi/fi/tuotteet-ja-palvelut/aip>

HTH (2020). HSL-003/20 Kannuspyörälentäminen. Saatavissa (viitattu 20.3.2022): <http://www.hooteehoo.org/contentfi.html>

HTH (2021). HTN-001/21 Suomalaiset kevyiden lentokoneiden tekniset vaatimukset. Saatavissa (viitattu 20.3.2022): <http://www.hooteehoo.org/contentfi.html>

Ilmailulaitos (1996). Ilmailumääräys AIR M5-2 Harrasterakenteisten ilma-alusten rakentaminen. Saatavissa (viitattu 23.2.2022): <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/498001/5392>

Ilmailulaitos (1996). Ilmailumääräys AIR M5-1 Harrasterakenteisten ilma-alusten lentokelpoisuusvaatimukset. Saatavissa (viitattu 23.2.2022): <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/498001/5391>

Laukkanen, J. ja Suokas, A. (2002). Harrasteilma-alusten koelentäminen. Saatavissa (viitattu 20.3.2022): http://www.windcraft.fi/download/ohjeistoa/imuroi/har_koelent.pdf

Rans Aircraft (1997). S-10 Sakota Text Manual. Saatavissa (viitattu 24.2.2022): <https://www.rans.com/out-of-production-ac-manuals>

Rans Aircraft (2005). Rans S-10 Sakota Specifications and Performance. Saatavissa (viitattu 24.2.2022): <https://www.rans.com/out-of-production-ac-manuals>

Rotax (2021), Maintenance manual Line for Rotax engine type 912 series. Saatavissa (viitattu 9.4.2022): <https://www.flyrotax.com/p/service/technical-documentation>

Suokas, A. & katsastajatiimi (2002). Exp koneen koelento-ohjelma. Saatavissa (viitattu 14.3.2022): <http://www.windcraft.fi/download/ohjeistoa/imuroi/>

Traficom (2022). Lupa ilmailuun. Saatavissa (viitattu 5.3.2022): <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/ilmailu/lupa-ilmailuun>

U.S. Department of Transportation FAA (2015). Amateur-Built Aircraft and Ultralight Flight Testing Handbook. Saatavissa (viitattu 23.3.2022): https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac_90-89b.pdf

Ward, D., Strganac, T & Niewoehner, R. (2006). Introduction to flight test engineering volume 1. Kendall/Hunt Publishing Company.

Wikipedia commons (2010), Rans S-10 Sakota Private D-MUHS, EDRT Trier-Föhren, Saatavissa (viitattu 11.4.2022): https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rans_S-10_Sakota_Private_D-MUHS,_EDRT_Trier-F%C3%B6hren,_Germany_PP1271749185.jpg

Laine S., Hoffren J., Renko K., (2006). Lentokoneen Aerodynamiikka ja Lentomekaniikka 1. painos. WSOY.

LIITTEET

Liite 1. Koelentosuunnitelma

Lentokone: OH-UXXX

Rakentaja:

Valvoja:

Koelentäjät:

Lento-ominaisuusongelmissa päätöksen tekee: Koelentäjä ja valvoja

Teknisissä ongelmissa päätöksen tekevät: Koelentäjä ja rakentajat

Huomioitavia dokumentteja ovat: HTN-001, CS.22, Part.NCO, AIR M5-1 ja AIR M5-2

Koelennot alkavat: Tampere-Pirkkalan lentoasemalta EFTP

Etukäteen määritellyt massa- ja painopistekonfiguraatiot:

(Nämä päivittyvät, kun kone on punnittu ja 2. lentäjä on valittu)

Num	Ohjaajat	Massa (kg)	Polttoaine (ltr)	Muut (kg)	Kok. mass.	CoG
1	1	95	68	0	144+BEW	Rajoissa
2	1	95	30	0		Rajoissa
3	2	-	68	0		Rajoissa
4	2	-	30	0		Rajoissa
5	1,2	-	30	0		Rajoissa
6	1,2	-	Rajoissa max	Tarpeen mukaan	Maksimi	Takana
7	1,2	-	Rajoissa max	Tarpeen mukaan	Maksimi	Edessä
8	1,2	-	Rajoissa max	Tarpeen mukaan	Maksimi	Keskellä

Raportti Sakotan ominaisuuksista: http://www.pilotfriend.com/flight_reports/reports/54e.htm

Päiväys: 9.4.2022

Laatinut: Aaro Huuhka

Valvojan huomiot ja kuittaus:

Koekäyttö

Moottori: Rotax 912UL (80 hv)

Potkuri: DUC FLASH

Polttoaine: MOGAS

Min. RON 90 ja EN228 standardin täytyminen, 95 tai 98E5

Moottori ja järjestelmätetit:

- Rotaxin ohjeen mukainen koekäyttö Rotax Maintenance Manual (Line) perusteella
- Polttoaineen syöttö, eri asennot ja tehot
- Potkurin kiinnitys ja varmistus
- Vuotojen ja kiinnitysten tarkastus
- Staattisen työntövoiman mittaus (HTN-001/21)

Rullauskokeet

Rullaustestit

- Rullaus (eri olosuhteet ja 20–80 % lentoonlähönnopeudesta)
 - Pyrstö nousee noin 20 solmun nopeudessa
 - Testit 32 solmun nopeuteen asti (80 %)
 - $V_r = 40$ kts
- Ohjainten tehon kokeilu maassa / tuntuma
- Lähtökiito ja lentoonlähö
- Imuilman lämmitys
- Lentoonlähö ja laskumatkat
- Koneen hallinta sivutuulella
 - “Lentokoneen tulee olla tyydyttävästi ohjattavissa ilman, että ohjaajalta vaaditaan poikkeuksellista taitoa tai valppautta laskussa tai rullauksessa. Hallitsematonta kiertotaipumusta maassa tai vedessä ei saa esiintyä suorassa sivutuulella, kun sivutuulen nopeus on 15 km/h.” (HTN-001/21)
- Mittareiden tarkastus
- Kokeen jälkeen koneen tarkastus

Ensilento

Ensilento suunnitellaan hyvin tarkasti.

Ennen lentoa tulee käydä läpi mahdolliset ongelmatilanteet lentäjän ja maahenkilöstön kanssa. Lennonvalmistelut tehdään huolellisesti ja kone kuormataan painopistealueen keskelle. Tämä varmistetaan laskuilla kuten muillakin lennoilla.

Käytetään seurantakonetta, jonka miehistön tulee olla tiiviisti mukana lennonsuunnittelussa. Kokeneita muodostelmalentäjiä löytyy esimerkiksi Tampereen Lentokerholta ja heiltä vuokrataan C150 tai C152, jos kerho sallii koneiden käytön tähän tarkoitukseen.

Olosuhteet lennolle valitaan siten, että ne eivät vaikuta lennontoteutukseen. Varsinkin aurinko, pilvikorkeus, sade ja tuuli tulee huomioida.

Normaali lentosuunnitelma tehdään lennolle ja lennosta ilmoitetaan myös puhelimitse lennonjohtoon.

Lennolla kokeillaan lentokoneen ohjattavuus ja verrataan mittareiden näyttämiä seurantakoneen mittareihin.

Lennon jälkeen käydään havainnot läpi ja mietitään ohjelmaan tai koneeseen tarvittavia muutoksia, jos niitä ilmenee. (HTN-001/21)

Muut koelennot

1. **Ensilento** kuvattu yllä
2. **Käsittely:** Ohjainten vaikutus ja trimmin alueet, IAS kalibrointi
 - a. Lentotilasta toiseen siirtymisen ei tule vaatia poikkeuksellista taitoa, valppautta tai voimaa. Liikehdintä on turvallista ja ohjainvoimat eivät saa olla käännteisiä normaaleissa lentotiloissa.
3. **Nopeudet:** Alustavat sakkausnopeudet
 - a. Ks. HTO-002-ohje nopeuden määrittämisestä
 - b. Sakkausvaroituksen, laite tai aerodynaaminen, on oltava selvä
 - c. Ilman tehoa
4. **Käsittely:** Ohjainten vaikutus ja trimmin alueet, IAS kalibrointi
 - a. Lähellä sakkausnopeutta on oltava mahdollista lisätä nopeutta nokkaa laskemalla kaikilla asuilla ja tehoasetuksilla. Ilman erityistä taitoa tai voimaa on pystyttävä muuttamaan lentoasua.
 - b. Lennetään jokin reitti edes takaisin, mieluiten suoraan sivutuuleen ja mitataan sivuun kulunut aika.
5. **Stabiliteetti:** Staattinen ja dynaaminen vakaus: Pituus, suunta, kallistus
 - a. Sauvan liikkeen tulee kasvattaa tai vähentää nopeutta loogisesti. Eteenpäin nopeus kasvaa.
 - b. Sauvan hetkellisen poikkeutuksen jälkeen tulee koneen palata takaisin lähelle säädettyä nopeutta. (Kaikilla tehoilla ja asuilla)
 - c. Luisun tai kallistuksen tulee kasvaa siihen suuntaan, mihin ohjain poikkeutetaan
 - d. Suuntaohjaimen vapauttamisen jälkeen tulee luisun jyrkkeneminen pysäyttämään lopettamaan kallistusohjaimella.
 - e. Kallistus- ja suuntaohjaimen suurilla poikkeutuksilla saa tapahtua voimien kääntymistä, jos ne eivät vaadi poikkeuksellista voimaa tai taitoa. (HTN-001/21)
6. **Käsittely:** Lasku- ja lähestymisnopeudet
 - a. Kokeillaan ohjattavuus ja hallinta 1.3 Vs0
7. **Jäähdytys:** Nousut maksimiteholla 3 min ja > 10 min maksimi jatkuvalla teholla suositellulla nousunopeudella
 - a. Testataan moottorin jäähdytys em. Tilanteissa
 - b. Voidaan tarvittaessa yhdistää lentoon 8 tai 9
 - c. Sääolosuhteet ja moottorin käyttörajoitukset huomioiden
8. **Suorituskyky:** Vy-nopeuden mittaaminen
 - a. Mitataan sahalaita-menetelmällä
 - i. Peräkkäisiä nousuja aloituskorkeuden ja lopetuskorkeuden välillä eri nopeuksilla sivutuulella. Välin pituus kelloitetaan ja lennot toistetaan vastakkaisella ohjaussuunnalla. Nopeuden tarkkuus

tulee olla +/-2 km/h. Nousuajan tulee olla vähintään yksi minuutti. (HTN-001/21)

1. Aloitetaan 15 solmua arvioitua Vy-nopeutta suuremmalla nopeudella ja kokeillaan 5 solmun portaittain nousunopeudet aina nopeuteen asti, joka on 10 solmua yli sakkausnopeuden. (FAA UL)
 - ii. On suositeltavaa käyttää kameraa apuna
 - b. Vx-nopeus voidaan määrittää origon kautta kulkevasta tangentista. (Ks. FAA UL s. 65)
 - c. Suoritetaan myös parhaan liitonopeuden testit vastaavalla tavalla.
9. **Suorituskyky:** Vy-nopeuden mittaus
- a. Ks. Lento 7
10. **Käsittely:** Kaarrot (Vaaka, nousu ja liuku)
- a. Kallistus 30 asteen kaarrosta päinvastaiseksi (60 astetta) 1.3 Vs1-nopeudella 5 sekunnissa, ilman epänormaaleja sivuvaikutuksia. (HTN-001/21)
11. **Tyyppilento**
- a. Toisen ohjaajan tyyppilento vasemmalta penkiltä
12. **Tyyppilento**
- a. Toisen ohjaajan tyyppilento yksin
13. **Moottori:** Tehoasetusten antamat nopeudet vaakalennossa, Vmd/Vmp arvio
- a. Lennetään vastuskäyrän ja tehokäyrän leikkauspisteet, kaksi nopeutta samalle teholle
 - b. Etsitään kyseisen päivän suuntaa antava minimitehon nopeus.
14. **Hidaslento**, massa eturajalla
- a. Hidaslento-ominaisuuksien määrittely kaikilla lentoasuilla
 - b. FAA suosittelee korkeudeksi 6000ft maanpinnasta, jolloin mahdolliset kierteet pystytään oikaisemaan turvallisesti. Päätöksen käytettävästä lentokorkeudesta tekee koelentäjä. (FAA 2015)
 - c. Nopeusalue: $1.3 \times V_s - V_s$
15. **Hidaslento**, massa takarajalla
- a. Ks. Lento 14
16. **Sakkaus:** Teholla ja ilman, massa eturajalla
- a. Suorat ja kaartot (30 astetta)
 - b. Sakkaus määritellään nokan putoamisena, kallistuksena tai 800 ft/min vajoamisena
 - c. Määritetään lennolla Vs0 (laskuasua, kriittinen massakeskiön asema, tyhjäjäykänti)
 - d. Määritetään lennolla korkeuden menetys (nokan painumisesta vaakalennon saavuttamiseen)
 - e. Sakkausta lähestyttäessä tulee pystyä aiheuttamaan kallistus tai luisu, sekä korjaamaan mahdollisesti poikkeama näissä.

- f. Ei taipumusta hallitsemattomaan syöksykierteeseen.
- g. Yli 30 asteen kallistus pystyttävä estämään ohjaimilla
- h. Pieni luisu tai kallistuma ei saa vaikuttaa ominaisuuksiin
- i. Sakkausvaroituksen, laite tai aerodynaaminen, on oltava selvä

17. **Sakkaus:** Teholla ja ilman, massa takarajalla

- a. Ks. Lento 16.

18. **Suorituskyky:** Nousukulma ja nopeus, massa eturajalla

- a. Paras nousukulma ei saa olla pienempi kuin 1:20.
- b. Nousukulman määrittäminen laskennallisesti, mittaukset sahalaitanousuna.
- c. MTOM lentoonlähdössä. Polttoaineen määrä merkittävä ennen nousua.
- d. Ks. Lento 7

19. **Suorituskyky:** Nousukulma ja nopeus, massa takarajalla

- a. Ks. Lento 18

20. **Nopeudet:** Nopeuksien kokeilu ylä- ja alarajat, massa eturajalla

- a. Trimmivoimat pystyttävä voittamaan koko nopeusalueella epäedullisimmassa asemassa ensisijaisilla ohjaimilla. (HTN-001/21)
- b. Voimakasta värähtelyä ei saa esiintyä millään nopeudella tai tehoasetuksella Vne-nopeuteen asti. Hallinta tai rakenteet eivät saa vaarantua värinän takia. (HTN-001/21)

21. **Nopeudet:** Nopeuksien kokeilu ylä- ja alarajat, massa takarajalla

- a. Ks. Lento 20

22. **Vakaus:** Pituusstabiiletti/staattinen/Sauvavoima per g, massa eturajalla

- a. Trimminopeuden alapuolella tulee lentotilan säilyttämisen vaatia vetoa ja päinvastoin. (FAA UL)

23. **Vakaus:** Pituusstabiiletti/staattinen/Sauvavoima per g, massa takarajalla

- a. Ks. Lento 22

24. **Vakaus:** Dynaaminen/V-kulmavakaus, spiraali, massa eturajalla

Massan paikka ei todennäköisesti vaikuta näihin.

- a. Kaikkien lyhyt jaksoisten värähtelyiden, paitsi kallistus—suunta (Dutch-roll) tulee vaimentua ohjaimet vapaina ja kiinnitettyinä. Jaksonaika 2–5 s.
- b. Lyhyen jakson värähtelyt. Poikkeutetaan trimmatussa vaakalennossa nokkaa alas muutaman asteen verran rivakasti ja palautetaan ohjaimet lähtötilanteeseen. Vapautetaan ohjaimet ja huomioidaan koneen käytös. Koneen tulisi värähdellä hetken ja palata takaisin tasaiseen vaakalento. (FAA UL)
- c. Pitkän jakson värähtelyt. Poikkeutetaan trimmatusta lentotilasta nokan asentoa siten että nopeus putoaa 5 km/h. Sen jälkeen vapautetaan ohjaimet ja seurataan värähtelyiden kehittymistä. Kone saa olla dynaamisesti epästabili. (FAA UL) Jakson aika 0.5–2 min.
- d. Spiraali: Häiriö kulkusuuntaan, jos vakaa palautuu vaakalento. Epävakaata jatkaa spiraaliin. Kone saa olla epävakaa, mutta muutoksen tulee

olla hidas. Kokeillaan eri nopeuksilla ja tehoasetuksilla. (Laine ym. 2006, Lentokoneen Aerodynamiikka s.267)

25. **Vakaus:** Dynaaminen/V-kulmavakavus, spiraali, massa takarajalla
a. Katso lento 24.
26. **Sakkaus:** G-sakkaus/kiihdytetty sakkaus, massa eturajalla
a. Sakkaus Va nopeudelle asti, oltava ohjattavissa normaaleilla taidoilla
27. **Sakkaus:** G-sakkaus/kiihdytetty sakkaus, massa takarajalla
a. Ks. Lento 26
28. **Nousut ja laskut:** Lentoonlähtö ja laskumatkojen määrittäminen, massa eturajalla
a. Lentoonlähdöt ja laskut eivät saa vaatia poikkeuksellista taitoa tai erityisen suotuisia olosuhteita.
29. **Nousut ja laskut:** Lentoonlähtö ja laskumatkojen määrittäminen, massa eturajalla, sivutuulella
a. Sivutuuli olosuhteissa
b. Tämä lento lennetään, kun olosuhteet ovat otolliset eli sivutuulta on riittävästi. Maksimi sivutuulikomponenttina pidetään 15 solmua.
30. **Epätavalliset lentotilat:** Epätavallisten lentotilojen oikaisu, massa eturajalla
a. Rajoitetaan syöksykierteet pois ohjelmasta, sillä moottori ei mahdollista niiden tekemistä.
b. Rotax 912UL: 0 g ja maksimissaan negatiivinen 0,5 g, maks. 5 sekuntia
c. Epätavalliset lentotilat määritellään seuraavasti:
i. Nokka ylös ja nopeus pienevä
ii. Nokka alas ja nopeus kasvava
iii. Yllä olevat kallistuksella
d. Lennolla todennetaan koneen olevan ohjattavissa
31. **Epätavalliset:** Epätavallisten lentotilojen oikaisu, massa takarajalla
a. Ks. Lento 30
32. **Epätavalliset:** Epätavallisten lentotilojen oikaisu, massa keskellä
a. Ks. Lento 30
33. **Rajat:** Vn-kaavion rajat, massa keskellä
34. **Polttoaineen kulutus ja matkalentonopeudet:** Matkalento TMA:lla
a. Lennetään odotuskuvion muotoista reittiä
b. Kirjattava tehoasetus, nopeus, polttoaine mittauksen alussa, korkeus ja lämpötila testin aikana
c. Lennetään toisella siipitankilla aloituskorkeuteen ja alueelle. Mittauksia varten tankki vaihdetaan ja palataan jälleen toisella tankilla
35. **Maksimilentokorkeus**
a. Huomioitava lisähappi vaatimus yli 10 000 ft korkeudelle (EASA part. NCO.OP.190)

- b. Tehtaan arvio maksimi 14 000 ft painekorkeus. Mitataan nousun aikana ulko- ja moottorinlämpötiloja – Huomioi moottorin rajoitukset.
- c. Täydellä teholla, Vy nopeudella (laskee nousun aikana ja lopulta sama Vx nopeus)
 - i. Edellisten kokeiden tuloksista ekstrapoloimalla voidaan määrittää nopeudet. Ks. Kandini
- d. Kun nousunopeutta 300 ft/min ei enää pystytä säilyttämään, ollaan maksimilentokorkeudella.

36. **Extra**

37. **Polttoaineen kulutus ja matkalentonopeudet:** Matkalento

- a. Ks. Lento 34

38. **Polttoaineen kulutus ja matkalentonopeudet:** Matkalento

- a. Ks. Lento 34

39. **Extra**

40. **Extra**

41. **Extra**

42. **Extra**

Koelentoaikataulu:

N o	Lentäjät	Massa- asema	Ohjelma	Aihe	Aika	Yht.
-	1	2	Koekäyttö 1	Tehoalueet, sytytys, imuilman lämpö, potkurin toiminta		0:00
-	1	2	Koekäyttö 2	Polttoaineen syöttö		0:00
-	1	2	Koekäyttö 3	Staattinen työntövoima		0:00
-	1	2	Rullaus 1	Hidas, ohjainten kokeilu, jarrut		0:00
-	1	2	Rullaus 2	Suuremmat nopeudet, ohjaintuntuma, sivutuuli		0:00
-	1	2	Rullaus 3	Nopeus 80% Vr, TOD		0:00
1	1	2	Ensilento	Ohjattavuuden kokeilu (nopeusalue pieni), pitot-Staattisten toiminta	0:30	0:30
2	1	2	Käsittely	Ohjainten vaikutus ja trimmin alueet	0:30	1:00

3	1	2	Nopeudet	Alustavat sakkausnopeudet	0:30	1:30
4	1	2	Käsittely	Ohjainten vaikutus ja trimmin alueet, IAS kalibrointi reitillä ja GPS	0:30	2:00
5	1	2	Stabiliteetti	Staattinen ja dynaaminen vakaus: Pituus, suunta, kallistus	0:30	2:30
6	1	2	Käsittely	Lasku- ja lähestymisnopeus (eri asut)	0:30	3:00
7	1	2	Jäähdytys	Nousut maksimiteholla 3 min ja > 10 min maksimi jatkuvalla teholla suositellulla nousunopeudella	0:30	3:30
8	1	2	Suorituskyky	Vy-nopeuden mittaus	0:30	4:00
9	1	2	Suorituskyky	Vy-nopeuden mittaus	0:40	4:40
10	1	2	Käsittely	Kaarrot (vaaka ja nousu/liuku)	0:40	5:20
11	1/2	5	Tyyppilento	Ohjaaja 2:n tyyppilento	0:30	5:50
12	2	4	Tyyppilento	Ohjaaja 2:n tyyppilento	0:30	6:20
13	1/2	7	Moottori	Tehoasetusten antamat nopeudet (2 kpl) vaakalennossa	0:40	7:00
14	1/2	7	Hidaslento	Hidaslento	0:30	7:30
15	1/2	6	Hidaslento	Hidaslento	0:30	8:00
16	1/2	7	Sakkaus	Teholla ja ilman, sakkaukset	0:30	8:30
17	1/2	6	Sakkaus	Teholla ja ilman, sakkaukset	0:30	9:00
18	1/2	7	Suorituskyky	Nousukulma ja -nopeus	0:40	9:40
19	1/2	6	Suorituskyky	Nousukulma ja -nopeus	0:40	10:20
20	1/2	7	Nopeudet	Nopeuksien kokeilu: ylä- ja alarajat	0:40	11:00
21	1/2	6	Nopeudet	Nopeuksien kokeilu: ylä- ja alarajat	0:40	11:40
22	1/2	7	Vakaus	Pituusstabiliteetti/staattinen/sauva-voima per g	0:40	12:20

23	1/2	6	Vakaus	Pituusstabiiletti/staattinen/sauva-voima per g	0:40	13:00
24	1/2	7	Vakaus	Dynaaminen/V-kulmavakaus, spiraali	0:30	13:30
25	1/2	6	Vakaus	Dynaaminen/V-kulmavakaus, spiraali	0:30	14:00
26	1/2	7	Sakkaus	G-sakkaus/kiihdytetty sakkaus	0:30	14:30
27	1/2	6	Sakkaus	G-sakkaus/kiihdytetty sakkaus	0:30	15:00
28	1/2	7	Nousut ja las- kut	Lentoonlähtö ja laskumatkojen mää- rittelyä (MTOM)	0:30	15:30
29	1/2	7	Nousut ja las- kut	Lentoonlähtö ja laskumatkojen mää- rittelyä (MTOM), Sivutuuli	0:30	16:00
30	1/2	7	Epätavalliset	Epätavallisten lentotilojen oikaisu	0:45	16:45
31	1/2	6	Epätavalliset	Epätavallisten lentotilojen oikaisu	0:45	17:30
32	1/2	8	Epätavalliset	Epätavallisten lentotilojen oikaisu	0:45	18:15
33	1/2	8	Rajat	Vn-kaavion rajojen lento	0:45	19:00
34	1	1	Polttoaineen kulutus, mat- kanopeuden määritys	Matkalento	1:30	20:30
35	1	1	Maksimilen- tokorkeus	Maksimilentokorkeuden määritys	1:00	21:30
36	1	7	Extra	Extralento: jos ei muuta testattavaa, mitataan lasku ja nousumatkoja	0:40	22:10
37	1/2	7	Polttoaineen kulutus, mat- kanopeuden määritys	Matkalento	1:30	23:40
38	1/2	7	Polttoaineen kulutus, mat- kanopeuden määritys	Matkalento	1:30	25:10
39			Extra	Voidaan käyttää koska vain ohjel- man aikana		25:10
40			Extra	Voidaan käyttää koska vain ohjel- man aikana		25:10

41			Extra	Voidaan käyttää koska vain ohjelman aikana		25:10
42			Extra	Voidaan käyttää koska vain ohjelman aikana		25:10

Liite 2: Koelentokortti

Koelentokortti – Esimerkki.

Lennonnumero: 4. Käsittely

Päivämäärä	29.3.2022		
Lentäjät (massa)	Lentäjä 1 (75 kg)	-	
Polttoaine	40 L		
Kokonaismassa/painopiste	430 kg	157.5 cm	
Mistä/mihin	EFTP	EFTP	

Off-block		Landing	
Take-off		On-block	

Ilma-aikaa:

Lentoaikaa: |

Lentoonlähdön olosuhteet/ATIS:

Testit:

- Lähellä sakkausnopeutta **nokan lasku lisää nopeutta**
- **Lentoasun muutokset**
 - o Lähestymisasu
 - o Laskuasu
 - o Koneen silitys
- Lennetään kolmion mallinen reitti
 - o GPS:n avulla määritetään **maanopeus** jokaiselle sivulle
 - o **Mitataan** sivun lentämiseen **kulunut aika**

Huomioita: