

Air France 447 – Automaation haasteet ja inhimilliset tekijät lento-onnettomuuden taustalla

Mikko Raiski

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Konetekniikka
Lentokonetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Lentokonetekniikka

RAISKI, MIKKO:

Air France 447 – Automaation haasteet ja inhimilliset tekijät lento-onnettomuuden taustalla

Opinnäytetyö 61 sivua
Toukokuu 2025

Opinnäytetyön aiheena oli Air France 447 -lento-onnettomuus ja sen taustalla vaikuttaneet automaation ja inhimillisten tekijöiden vuorovaikutushaasteet. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka lentokoneen automaatiojärjestelmän ja lentäjien välinen vuorovaikutus vaikutti onnettomuuden kehittymiseen, sekä arvioida, kuinka hyvin tapaus tukee ilmailualalla tunnettua Reasonin mallia.

Tutkimuksen menetelmänä käytettiin narratiivista kirjallisuuskatsausta ja analyysia virallisista tutkimusraporteista, tieteellisestä kirjallisuudesta ja asiantuntija-artikkeleista. Keskeisenä lähteenä toimii Ranskan ilmailuonnettomuustutkintaviraston (BEA) virallinen raportti.

Analyysissä havaittiin, että onnettomuuden välitön syy oli Pitot-putkien jäätymisestä johtuva autopilotin poiskytketyminen ja lentäjien puutteellinen reagointi syntyneeseen tilanteeseen, mutta taustalla vaikutti ennen kaikkea heikko vuorovaikutus automaatiojärjestelmien ja lentäjien välillä. Lentäjät menettivät tilannetietoisuutensa ja tekivät vääränlaisia ohjausliikkeitä, jotka johtivat lentokoneen sakkaamiseen ja lopulta hallinnan menettämiseen. Automaation rajallisuus ja lentäjien puutteellinen ymmärrys järjestelmien toiminnasta olivat merkittävässä roolissa tapahtumaketjun kehittymisessä.

Opinnäytetyö osoittaa, että lentokoneen automaatiojärjestelmän ja lentäjien välinen vuorovaikutus oli heikkoa ja siten myötävaikuttanut onnettomuuden kehittymiseen. Opinnäytetyö osoittaa myös, että Air France 447 -tapaus tukee hyvin Reasonin mallia, jossa lento-onnettomuus tapahtuu useiden päällekkäisten aktiivisten ja latenttien virheiden yhteisvaikutuksesta.

Asiasanat: lentoturvallisuus, automaatio, inhimilliset tekijät, sakkaus, tilannetietoisuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Aeronautical Engineering

RAISKI, MIKKO:

Air France 447 – The Role of Automation and Human Factors in an Aviation Accident

Bachelor's thesis 61 pages
May 2025

This thesis investigated the interaction challenges between the automation systems and human factors in the case of Air France Flight 447. The aim is to understand how the interplay between the aircraft's automation and pilot response contributed to the accident and to assess the applicability of James T. Reason's Swiss cheese model in analysing the incident.

A narrative literature review was conducted using official investigation reports, scientific publications, and expert analyses. The main source was the final report by the French Bureau of Enquiry and Analysis for Civil Aviation Safety (BEA).

The analysis determined that the immediate cause of the crash was the autopilot disconnecting due to frozen Pitot tubes, followed by the crew's inadequate response to resulting unreliable airspeed. The pilots lost situational awareness and made incorrect control inputs, resulting in aerodynamic stall and loss of control. A limited understanding of the automation systems and insufficient manual flying proficiency, and above all, weak interaction between the aircraft's automation and the pilots played a critical role in the outcome.

It was found that the interaction between the automation system and the pilots was weak, which contributed to the development of the accident. The findings also support the Swiss cheese model's view of accidents as a combination of active and latent failures.

Key words: flight safety, automation, human factors, aerodynamic stall, situation awareness

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	Tapaukseen liittyviä käsitteitä	10
	2.1 Lentoturvallisuus	10
	2.2 Lento-onnettomuudet	11
	2.2.1 Tekniset viat	11
	2.2.2 Inhimilliset virheet	11
	2.2.3 Organisatoriset tekijät	12
	2.2.4 Kuolemaan johtaneet lento-onnettomuudet	12
	2.2.5 LOC-I-onnettomuudet	13
	2.3 James T. Reasonin reikäjuustomalli	13
	2.4 Inhimilliset tekijät ilmailussa	14
	2.4.1 Tilannetietoisuus	14
	2.4.2 Päätöksenteko ja stressi kuormittavissa tilanteissa	15
	2.4.3 Miehistöresurssien hallinta	16
	2.5 Automaation edut ja haasteet ilmailussa	17
	2.5.1 Automaation tavoitteet	17
	2.5.2 Automaation rajat ja odottamattomat tilanteet	18
	2.6 Airbus, ja sen kehitys kohti A330-sarjan lentokoneita	18
	2.6.1 Airbus historiaa	18
	2.6.2 Airbus A330	19
3	Tapahtumien kulku	21
4	Onnettomuuteen vaikuttaneet tekijät	37
	4.1 Sääolosuhteet	38
	4.2 Pitot-putkien tukkeutuminen	39
	4.3 Pitot-staattisen-järjestelmän toiminta ja sen häiriöt	40
	4.4 Sakkaus	41
	4.5 Sakkaus ja sen erityispiirteet suurilla korkeuksilla	42
	4.6 Automaatiojärjestelmän haasteet	43
	4.7 Fly-by-wire-järjestelmä ja sidestick-ohjaus	44
	4.8 Lento-ohjauslait	45
	4.9 Vaihtoehtoinen tila	46
	4.10 Lentokoneen ohjauspinnat ja trimmi	47
	4.11 Trimmin toiminta	48
	4.12 Flight director -järjestelmä	48
	4.13 ECAM	49
	4.14 Autothrust-järjestelmä	50

4.15	Inhimilliset tekijät	51
4.15.1	Stressi, väsymys ja kuormitus.....	51
4.15.2	Muut miehistön tilannetietoisuutta mahdollisesti häirinneet tekijät.....	52
4.16	Epäselvän nopeustiedon muistinvaraiset toimenpiteet	54
5	POHDINTA	55
5.1	Kuinka lentokoneen automaatiojärjestelmän ja lentäjien välinen vuorovaikutus vaikutti Air France 447 -onnettomuuden kehittymiseen?	55
5.2	Miten hyvin Air France 447 -tapaus tukee James T. Reasonin reikäjuustomallia lento-onnettomuuksia analysoidessa?.....	57
5.3	Ehdotukset jatkotutkimukselle	58
	LÄHTEET	59

LYHENTEET JA TERMIT

ADS	Automatic Dependent Surveillance (suom. Automaattinen lentokoneen sijainnin ilmoitusjärjestelmä)
AOA	Angle of Attack (suom. Kohtauskulma)
BEA	Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (Ranskan Onnettomuustutkintavirasto)
CAS	Calibrated Airspeed (suom. Kalibroitu ilmanopeus)
CRM	Crew Resource Management (suom. Miehistön resursien hallinta)
CVR	Cockpit Voice Recorder (suom. Ohjaamonauhuri)
EASA	European Union Aviation Safety Agency (Euroopan unionin lentoturvallisuusvirasto)
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitoring (suom. Sähköinen keskitetty lentokoneen valvontajärjestelmä)
EICAS	Engine Indicating and Crew Alerting System (suom. Moottorinvalvonta- ja miehistön hälytysjärjestelmä)
ETOPS	Extended-range Twin-engine Operational Performance Standards (suom. Pitkän matkan kaksimoottorilentotoimintastandardit)
FAA	Federal Aviation Administration (Yhdysvaltain ilmailuviranomainen)
FD	Flight Director (suom. Lennonohjausjärjestelmä)
HF	High Frequency (suom. Korkeiden taajuuksien radio- taajuusalue, joka kattaa 3 MHz–30 MHz:n radioaallot. Käytetään pitkien kantamien radiokommunikointiin)
IATA	International Air Transport Association (Kansainvälinen ilmakuljetusliitto)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö)
IAS	Indicated Airspeed (suom. Näytetty ilmanopeus)
IR	Inertial Reference (suom. Inertiasuuntajärjestelmä)
ITCZ	Intertropical Convergence Zone (suom. Pasaatituulten kohtaamisvyöhyke)

LOC-I lennon aikana)	Loss of Control – Inflight (suom. Hallinnan menetys)
MCT työntövoima)	Maximum Continuous Thrust (suom. Suurin jatkuva)
N1	Low-pressure spool rotational speed (suom. Alano- peusroottorin pyörintänopeus)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Yh- dysvaltain ilmailu ja avaruushallinto)
NTSB	National Transportation Safety Board (Yhdysvaltain lii- kenneturvallisuusviranomainen)
PFD	Primary Flight Display (suom. Ensisijainen lentonäyttö)
PF	Pilot Flying (suom. Määritetty lentoa ohjaava pilotti)
PNF	Pilot Not Flying (suom. Määritetty toissijainen lentoa ohjaava pilotti, tai nykyisin PM – Pilot Monitoring)
PRIM 1	Primary Flight Computer 1 (suom. Ensisijainen lentotie- tokone 1)
REC MAX suurin lentokorkeus)	Recommended Maximum Altitude (suom. Suositeltu)
SAT	Static Air Temperature (suom. Staattinen ilman lämpö- tila)
SEC 1	Secondary Flight Computer 1 (suom. Toissijainen len- totietokone 1)
SELCAL sujärjestelmä)	Selective Calling (suom. Valintakutsu / yksilöllinen kut- sujärjestelmä)
SPD	Speed (suom. Nopeus)
TAS	True Airspeed (suom. Todellinen ilmanopeus)
TAT	Total Air Temperature (suom. Kokonaisilman lämpötila)
TOGA lähestyminen. Antaa täyden tehon kaasuvivulla)	Takeoff/Go-Around (suom. Lentoonlähtö / keskeytetty)
UTC aika)	Coordinated Universal Time (suom. Koordinoitu yleis- aika)
YK	Yhdistyneet Kansakunnat

1 JOHDANTO

Kaikki oli ohi nopeasti: Vain neljä minuuttia ja 23 sekuntia oli kulunut autopilotin poiskeytymisestä, kun Rio de Janeirosta Pariisiin matkalla ollut lentomekaanisesti täysin ehjä Air Francen lennon 447 Airbus A330-203 -matkustajalentokone iskeytyi mereen 1. kesäkuuta 2009. Miten lentäjien korjattavissa ollut tilanne pääsi karkaamaan käsistä johtaen 228 ihmisen kuolemaan, ja jättäen suuren joukon kysymyksiä? Vasta vuosia myöhemmin meren pohjasta löytyneet mustat laatikot alkoivat valaista, miksi lennon 447 kohtalo oli päätyä öiseen Atlantiin.

Tutkimuksissa selvisi, että myrskypilvessä lentäneen koneen nopeutta mittaavat Pitot-putket olivat tukkeutuneet jäärakeista. Tämä aiheutti lentokoneen tietokonejärjestelmille virheellistä tietoa, minkä seurauksena autopilotti kytkeytyi pois päältä ja lentokone siirtyi manuaaliohjaukseen.

Ohjaamomiehistö ei kuitenkaan osannut reagoida tilanteeseen oikein. Lentokonetta ohjaava perämies veti koneen nokkaa ylös, mikä johti lopulta sakkaustilaan. Kone pysyi sakkaustilassa pitkään ilman, että miehistö ymmärsi mitä oli tapahtumassa. Lentäjien keskinäinen viestintä oli epäselvää ja sekavaa, eivätkä he onnistuneet saamaan lentokonetta hallintaansa. Perämies ohjasi virheellisesti konetta syystä tai toisesta lähes koko putoamisen ajan vetäen ohjaussauvaa taaksepäin, eli nostaten lentokoneen nokkaa, vaikka sakkaustilanteessa nokkaa kuuluisi laskea nopeuden lisäämiseksi työntämällä ohjaussauvaa eteenpäin.

Lennon 447 onnettomuudesta tuli yksi tunnetuimmista ja merkittävimmistä lentoonnettomuuksista, sillä se paljasti vakavia puutteita lentokoneiden automaatiojärjestelmien ja lentäjien välisessä vuorovaikutuksessa sekä lentäjien kyvyssä reagoida odottamattomiin tilanteisiin korkealla lentokorkeudella.

Tämä opinnäytetyö vastaa tästä johdettuun tutkimuskysymykseen: Kuinka lentokoneen automaatiojärjestelmän ja lentäjien välinen vuorovaikutus vaikutti Air France 447 -onnettomuuden kehittymiseen? Tutkimuksen perusteena toimii kattava laadullinen (kvalitatiivinen) aineisto, kuten BEA:n (ransk. Bureau d'Enquêtes

et d'Analyses) virallinen onnettomuustutkintaraportti, aihetta käsittelevä kirjallisuus ja artikkelit, sekä luotettavat dokumentit ja raportit, joita ilmailuviranomaiset ja muut asiantuntijatahot ovat julkaisseet. Tutkimusaineiston analysointiin käytettävänä menetelmänä toimii narratiivinen kuvaileva kirjallisuuskatsaus, jossa aineisto analysoidaan kuvailemalla ja tulkitsemalla kertomuksia, raportteja ja dokumentteja kokonaisvaltaisesti ja narratiivisesti.

Teoreettisena viitekehyksenä toimii James T. Reasonin reikäjuustomalli, mikä on yleisesti lento-onnettomuuksien analysoinnissa käytetty menetelmä, jonka mukaan onnettomuus tapahtuu useiden päällekkäisten virheiden ja turvallisuuspuutteiden yhteisvaikutuksesta. Virheet ovat joko piileviä (latentteja) tai näkyviä (aktiivisia), ja kun nämä virheet sattuvat kohdakkain, aivan kuten reikäjuustoviipaleiden reiät, muodostuu onnettomuuden tapahtumiseen johtava tapahtumaketju. Tästä voidaankin johtaa opinnäytetyön toinen tutkimuskysymys: miten hyvin Air France 447 -tapaus tukee James T. Reasonin reikäjuustomallia lento-onnettomuuksia analysoidessa?

Opinnäytetyö alkaa esittämällä aiheeseen liittyvä viitekehys, mikä antaa lukijalle selkeän kuvan käytettävästä aineistosta ja tutkimukseen liittyvistä menetelmistä ja aineistosta, muodostaen samalla pohjaa itse tutkimukselle. Sen jälkeen käydään läpi itse onnettomuuden kulku ja tapaukseen liittyviä aihealueita narratiivisesti käyttäen virallista BEA:n onnettomuusraporttia, sekä tieteellistä kirjallisuutta, kuten Airbus A330-lentäjä Bill Palmerin ”Understanding Air France 447” -teosta. Lopuksi vastataan työn tutkimuskysymyksiin ja esitetään ehdotukset jatkotutkimusaiheille.

2 TAPAUKSEEN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ

Ennen tuon kohtalokkaan yön tapahtumien käsittelemistä on tarpeen esitellä tutkimukseen liittyviä käsitteitä ja malleja, joista muodostetaan työn tutkimukselle viitekehys. Viitekehys perustelee, miksi juuri nämä käsitteet, teorit ja mallit ovat merkityksellisiä tutkimuskohteen analysoimiseksi.

2.1 Lentoturvallisuus

Lentoturvallisuuden tavoitteena on varmistaa ilmailun turvallisuus matkustajille, miehistölle ja muille osapuolille. Sen tavoitteena on minimoida riskit ja ehkäistä onnettomuuksia sekä vaaratilanteita. Tämä saavutetaan yhteisten sääntöjen, valvonnan ja eri toimijoiden välisen yhteistyön avulla. (ICAO 2025.)

Lentoturvallisuutta määrittelevät ja kehittävät kansainvälisesti useat viranomaiset, joista merkittävimpiä ovat YK:n alainen Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö ICAO (International Civil Aviation Organization, 2025), Euroopan lentoturvallisuusvirasto (EASA, European Union Aviation Safety Agency, 2025) ja Yhdysvaltain ilmailuhallinto (FAA, Federal Aviation Administration, 2025). EASA vastaa Euroopan alueen lentoturvallisuuden sääntelystä, yhtenäisten sääntöjen laatimisesta ja valvonnasta, kun taas FAA toimii vastaavana viranomaisena Yhdysvalloissa. Suomessa lentoturvallisuutta valvoo Liikenne- ja viestintävirasto Traficom (Traficom 2025).

2.2 Lento-onnettomuudet

Esitellään seuraavaksi aiheeseen liittyviä onnettomuustyyppejä.

2.2.1 Tekniset viat

Tekniset syyt, kuten mekaaniset tai järjestelmäviat, voivat johtaa lento-onnettomuuksiin. Esimerkkinä Southwest Airlinesin lento 1380, joka kohtasi vakavan moottorivian 17. huhtikuuta 2018. Boeing 737 -koneen vasemmanpuoleinen moottori hajosi lennon aikana, kun turbiinilapa katkesi metalliväsymyksen seurauksena. Irronnut osa rikkoi moottorikotelon ja aiheutti ikkunan rikkoutumisen matkustamossa, mikä johti äkilliseen paineen laskuun ja yhden matkustajan menehtymiseen. Yhdysvaltain kansallisen liikenneturvallisuusviraston (NTSB) tutkinta osoitti, että onnettomuuden taustalla oli puhtaasti materiaalivika. (NTSB/AAR-19/03 2018, 3.)

2.2.2 Inhimilliset virheet

Inhimilliset virheet ovat merkittävä tekijä lento-onnettomuuksissa. NTSB:n tutkimusten mukaan jopa 80 % ilmailuonnettomuuksista liittyy inhimillisiin tekijöihin, kuten lentäjien, lennonjohdon tai huoltohenkilöstön virheisiin. (FAA Human Factors Guide 2007 14–28.) Esimerkkinä Comairin lento 5191, joka syöksyi maahan 27. elokuuta 2006 Lexingtonissa, Kentuckyssa, kun miehistö yritti nousta ilmaan väärältä, liian lyhyeltä kiitotieltä. NTSB:n mukaan onnettomuus johtui miehistön epäonnistumisesta varmistaa koneen sijainti ja kiitotien oikeellisuus, sekä epäolennaiset keskustelut ohjaamossa rullauksen aikana, mikä heikensi lentäjien tilannetietoisuutta. (NTSB/AAR-07/05 2006, 10.)

2.2.3 Organisatoriset tekijät

Organisaation toimintaan liittyvät puutteet, kuten riittämätön koulutus, huono viestintä tai turvallisuuskulttuurin heikkoudet, voivat myötävaikuttaa onnettomuuksiin. Esimerkkinä Korean Airin lento 801, joka syöksyi maahan 6. elokuuta 1997 lähestyessään Guamin lentokenttää, jolloin 228 matkustajaa ja miehistön jäsentä menehtyi. Vaikka välitön syy oli lentäjien virheellinen lähestymisproseduuri, NTSB:n tutkinta toi esiin syvemmät organisatoriset ongelmat. Lentoyhtiössä oli tuolloin puutteita koulutuksessa, ohjeistuksessa ja riskienhallinnassa. Keskeisenä ongelmana pidettiin myös sitä, että miehistön muut jäsenet eivät puuttuneet kapteenin virheisiin tai kyseenalaistaneet hänen päätöksiään, vaikka lähestyminen ei ollut turvallinen. Tämä viittaa kulttuuriin, jossa kapteenin auktoriteetti oli niin vahva, että alaiset epäröivät esittää vastalauseita, mikä on tyypillinen piirre organisaatioissa, joissa hierarkia on liian jyrkkä ja turvallisuuskulttuuri heikko. (NTSB/AAR-00/01 2000, 11.)

2.2.4 Kuolemaan johtaneet lento-onnettomuudet

TAULUKKO 1. Kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien määrä per miljoona lentoonlähtöä (Our World in Data 2024).

Vuosi	Kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien määrä per miljoona lentoonlähtöä
1970	6,46
1975	4,76
1980	3,08
1985	3,28
1990	2,88
1995	2,72
2000	1,68
2005	1,4
2010	0,89
2015	0,29
2020	0,4

Taulukossa 1 on tilastoitu kuolemaan johtaneiden lento-onnettomuuksien määrä per miljoona lentoonlähtöä vuosien 1970 ja 2020 välillä. Kansainvälisen ilmakuljetusliiton (IATA) mukaan vuonna 2024 onnettomuusaste oli 0,17 per miljoona lentoa. Lentomatkustaminen on turvallisin matkustusmuoto, sillä miljardia kilometriä kohden lentokoneella matkustaneita menehtyy 0,05 ihmistä, kun esimerkiksi henkilöautolla matkustaneita menehtyy samalla matkalla 3,1 (Numberwatch 2001).

2.2.5 LOC-I-onnettomuudet

LOC-I-onnettomuudet (engl. Loss of Control In-flight), eli lennon hallinnan menetykset, ovat olleet viimeisten kahden vuosikymmenen aikana yleisin kuolemaan johtavien lento-onnettomuuksien syy. Boeingin tutkimuksen mukaan hallinnan menetykset aiheuttivat 1494 kuolemantapausta tuona aikana, kun puolestaan teknisistä vioista johtuneet kuolemia oli 225. Tästä huolimatta koulutus- ja turvallisuusjärjestelmissä on keskitytty enemmän teknisiin vikatilanteisiin kuin LOC-I-onnettomuuksien ennaltaehkäisyyn ja hallintaan. (Palmer 2013, 167.)

2.3 James T. Reasonin reikäjuustomalli

James T. Reasonin kehittämä reikäjuustomalli (engl. Swiss Cheese Model) on yksi ilmailun tunnetuimmista ja laajimmin käytetyistä teoreettisista malleista onnettomuuksiin johtaneiden tapahtumaketjujen selvittämisessä. Malli havainnollistaa, kuinka useat järjestelmätasolla olevat kerrokset, kuten koulutus, ohjeistukset, tarkastukset ja tekniset järjestelmät sisältävät heikkouksia, joita kuvataan rei'illä juustoviipaleessa. (Roelen, Lin, Hale 2011, 5–10.)

Yksittäinen virhe ei yleensä johda onnettomuuteen, mutta kun useiden eri tasojen heikkoudet "linjautuvat", eli reiät osuvat kohdalleen, tapahtuu onnettomuus. Reikäjuustomalli auttaa ymmärtämään, että onnettomuudet ovat harvoin yksittäisten henkilöiden syytä, vaan seurausta useiden virheiden ja laiminlyöntien kasautumisesta. (Roelen ym. 2011, 5–10.)

Mallin ydinajatus erottaa aktiiviset virheet ja latentit virheet toisistaan. Aktiiviset virheet tapahtuvat suoraan operatiivisessa toiminnassa, kuten esimerkiksi lentäjän tekemä virhe. Latentit virheet puolestaan piilevät organisaation rakenteissa, päätöksenteossa tai kulttuurissa, esimerkiksi puutteellisessa koulutuksessa tai huonossa suunnittelussa. (Wiegmann & Shappell 2003, 53–55.)

2.4 Inhimilliset tekijät ilmailussa

Inhimilliset tekijät, kuten esimerkiksi havaitseminen (kuulo- ja visuaalinen) ja kognitio (muisti, päätöksenteko), vaikuttavat ihmisten käyttäytymiseen, päätöksentekoon, suorituskyykyyn ja vuorovaikutukseen muiden henkilöiden ja teknisien järjestelmien kanssa. Siksi inhimilliset tekijät muodostavat keskeisen osa-alueen lentoturvallisuudessa, sillä ilmailussa nämä tekijät, etenkin ihmisen ja teknologian välinen vuorovaikutus, korostuvat olennaisesti turvallisuuden kannalta. (FAA 2025.)

Ilmailu on korkean vaatimustason ja matalan virhetoleranssin toimintaympäristö, jossa ihmisen suorituskyykyyn vaikuttavat lukuisat tekijät kuten stressi, työkuormitus, tilannetietoisuus ja ryhmädynamiikka (Wise, Hopkin & Garland 2009, 167). Inhimillisiä virheitä ei tule nähdä yksittäisten henkilöiden epäonnistumisina, vaan ne ovat usein seurausta järjestelmällisestä haavoittuvuudesta, jossa koulutus, viestintä, työympäristö ja suunnittelu vaikuttavat yksilön toimintaan. Tämä ajattelutapa tukee myös James T. Reasonin reikäjuustomallia, jossa korostetaan virheiden syntymistä useiden kerrosten ja heikkouksien läpi. (Reason 1990, 173.)

2.4.1 Tilannetietoisuus

Tilannetietoisuudella tarkoitetaan lentäjän kykyä havainnoida ja ymmärtää lento-tilanteeseen vaikuttavia tekijöitä sekä ennakoida tulevia tapahtumia (Endsley & Jones 2016, 13). Endsleyn (2016) mukaan tilannetietoisuus koostuu kolmesta tasosta: (1) ympäristön havaintojen tunnistaminen, (2) havaintojen merkityksen

ymmärtäminen ja (3) ennakoiva päätöksenteko havaittujen tietojen pohjalta. Näiden tasojen avulla lentäjä pystyy muodostamaan kokonaisvaltaisen käsityksen lennon kulusta, turvallisuudesta ja mahdollisista riskeistä.

Tilannetietoisuuden puute on toistuva tekijä lentoturmien taustalla. Erityisesti monimutkaisissa, stressaavissa tai poikkeavissa tilanteissa lentäjien kyky käsitellä informaatiota voi heikentyä merkittävästi, mikä johtaa virheellisiin arvioihin ja päätöksiin. (Wise ym. 2009, 271–272.)

Air France 447 -onnettomuus tarjoaa konkreettisen esimerkin tilannetietoisuuden menettämisestä. Kun Pitot-putket jäätivät ja autopilotti kytkeytyi pois päältä, miehistö menetti nopeasti käsityksen siitä, miten olisi pitänyt toimia epävarmojen nopeustietojen tilanteessa. Ohjaamossa vallinnut epäselvyys ja virheellinen tulkinta koneen lentotilasta johtivat toistuviin virheellisiin ohjausliikkeisiin, jotka pahensivat tilannetta entisestään. Esimerkiksi lentoa ohjaavan perämies veti sakkaustilanteessa jatkuvasti ohjaussauvaa taaksepäin nostaen koneen nokkaa entisestään, vaikka nokkaa olisi kuulunut päinvastoin laskea työntämällä ohjaussauvaa eteenpäin. (BEA 2012, 17, 200–201.)

Tilannetietoisuuden kehittäminen on keskeinen osa lentäjäkoulutusta. Simulaattoriharjoitukset, jatkuva tilannearviointi sekä kriittisten skenaarioiden harjoittelu parantavat lentäjien kykyä säilyttää tilannetietoisuus myös yllättävissä olosuhteissa. (Prayitno, Ekohariadi, Cholik, Suprianto, Qiram 2023, 2–6.)

2.4.2 Päätöksenteko ja stressi kuormittavissa tilanteissa

Päätöksenteko on kriittinen osa lentäjän toimintaa erityisesti poikkeustilanteissa, joissa aikaa ja tietoa voi olla rajoitetusti. Ilmailussa päätöksenteko tapahtuu usein nopeasti muuttuvassa ympäristössä, jossa epävarmuus, korkea työkuormitus ja stressi voivat vaikuttaa merkittävästi lopputulokseen. (Orasanu & Fischer 1997, 137.)

Lentäjät tekevät päätöksiä kahdella pääasiallisella tavalla: analyyttisesti (looginen ja harkittu prosessi) tai intuitiivisesti (nopeampi, kokemukseen perustuva arvio). Stressaavissa tilanteissa intuitiivinen päätöksenteko korostuu, mikä voi olla tehokasta kokeneilla lentäjillä, mutta altistaa myös virhearvioinneille, mikäli tilanteen tunnistaminen on puutteellista. (Wise ym. 2009, 160.)

Air France 447 -tapauksessa stressi ja epävarmuus vaikuttivat miehistön päätöksentekoon merkittävästi. Ohjaajat tekivät toistuvasti ohjausliikkeitä, jotka eivät vastanneet koneen todellista tilannetta. Korkea henkinen kuormitus, epäselvä työnjako ja informaation puute vaikeuttivat tilanteen hallintaa, mikä johti koneen hallinnan menetykseen. (BEA 2012, 17. 200–201.)

2.4.3 Miehistöressurssien hallinta

Miehistöressurssien hallinta (engl. Crew Resource Management, CRM) on ilmailun koulutuskäytäntö, jonka tarkoituksena on kehittää ohjaamomiehistön yhteistyö-, kommunikaatio-, johtamis- ja päätöksentekotaitoja. CRM perustuu ajatukseen, että tekninen osaaminen yksin ei riitä varmistamaan turvallista lentotoimintaa, vaan yhtä tärkeää on ihmisten välinen vuorovaikutus ja kyky hyödyntää saatavilla olevia resursseja tehokkaasti. (Helmreich, Anca, Kanki, 1999, 62.)

CRM-koulutuksen tavoitteena on ehkäistä ilmailuonnettomuuksia, joiden taustalla on inhimilliset tekijät, kuten huono kommunikaatio, epäselvä työnjako tai auktoriteettipelko. CRM kehitettiin alun perin 1970-luvulla Yhdysvalloissa, ja se on sittemmin vakiintunut kansainväliseksi osaksi lentäjien perus- ja jatkokoulutusta. (Helmreich, ym. 1999 11–12.)

CRM:n keskeisiä osa-alueita ovat muun muassa avoin kommunikaatio, tilannetietoisuuden jakaminen, vastuunjako, johtajuus, kuuntelutaito ja kyky pyytää ja antaa palautetta. CRM ei rajoitu vain lentäjiin, vaan siihen kuuluu koko miehistön ja joskus myös muun operatiivisen henkilöstön yhteistyö. CRM:n jatkuva kehittäminen ja sen integrointi osaksi koulutusta ja simulaattoriharjoituksia on olennainen osa turvallisuusajattelua modernissa ilmailussa. (Skybrary 2025.)

Air France 447 -onnettomuus osoittaa CRM:n merkityksen poikkeustilanteiden hallinnassa. Ohjaamossa vallitsi epäselvä työnjako ja kommunikaatio oli katko-naista. Tämä johti siihen, ettei ohjaustoimien kokonaisuus muodostanut yhte-näistä ratkaisua. (BEA 2012, 17, 200–201.)

2.5 Automaation edut ja haasteet ilmailussa

Automaation rooli nykyaikaisessa lentotoiminnassa on merkittävä. Autopilotti, lentotietokoneet ja muut kehittyneet järjestelmät ovat mahdollistaneet turvalli-semman, tehokkaamman ja taloudellisemman lentämisen. Automaation avulla voidaan vähentää lentäjän kuormitusta, vakioida toimintaa ja minimoida inhimil-listen virheiden riskiä erityisesti normaalitilanteissa. (Wise ym. 2009, 190.)

Kuitenkin automaation lisääntyminen on tuonut mukanaan myös uusia haasteita. Lentäjän rooli on muuttunut aktiivisesta ohjaajasta yhä enemmän järjestelmän valvojaksi, mikä on muuttanut lentotyön luonnetta. Tämä on synnyttänyt tilanteita, joissa lentäjien tilannetietoisuus ja valmius toimia ilman automatiikkaa, sekä ym-märrys järjestelmän toiminnasta eivät ole olleet riittäviä tilanteissa, joissa auto-matiikkaan tulee häiriöitä. (Wise ym. 2009, 191.)

2.5.1 Automaation tavoitteet

Automaattisten järjestelmien tavoitteena on hoitaa rutiininomaisia ja toistuvia teh-täviä, kuten reitin seuraamista ja nopeuden säätelyä, jolloin lentäjät voivat keskit-tyä paremmin tärkeisiin tehtäviin, kuten lennonvalvontaan ja päätöksentekoon. Järjestelmät kuten ECAM (engl. Electronic Centralized Aircraft Monitor) ja EICAS (engl. Engine Indicating and Crew Alerting System), tarjoavat reaaliaikaista tietoa lentokoneen järjestelmistä, mikä parantaa miehistön tilannetietoisuutta ja mah-dollistaa nopeamman reagoinnin ongelmatilanteissa. (Skybrary 2025.)

2.5.2 Automaation rajat ja odottamattomat tilanteet

Vaikka automaatio tarjoaa ilmailussa lukuisia etuja, se ei ole virheetöntä eikä kykene täysin ennakoimaan kaikkia mahdollisia lentotilanteita. Automaation rajat tulevat erityisesti esiin epätavallisissa tai poikkeuksellisissa tilanteissa, joissa järjestelmä ei kykene tunnistamaan tilannetta oikein tai antaa ristiriitaisia signaaleja ohjaamomiehistölle. Tällöin korostuu lentäjän kyky ymmärtää automaation toimintaperiaatteet ja siirtyä tarvittaessa hallittuun manuaaliseen ohjaukseen. (Palmer 2013, 179–180.)

Lisäksi jatkuva automaation käyttö voi heikentää lentäjien manuaalisia ohjaustaitoja, jotka ovat kriittisiä tilanteissa, joissa automaatio ei ole käytettävissä (Skybrary 2025).

Air France 447 -onnettomuus on esimerkki tilanteesta, jossa automaation haasteet tulivat dramaattisesti esiin. Pitot-putkien jäätyminen johti nopeusmittareiden virheelliseen tietoon, autopilotti kytkeytyi pois päältä, ja kone siirtyi manuaaliseen ohjaukseen. Samalla ohjaustila vaihtui vaarallisemmaksi, sekä lennonohjausjärjestelmä opasti harhaanjohtavasti. Myös sakkausvaroituksen aktivoituminen epäintuitiivisella tavalla johtui automaatiojärjestelmän haasteista. (BEA 2012, 17, 200–201.)

2.6 Airbus, ja sen kehitys kohti A330-sarjan lentokoneita

2.6.1 Airbus historiaa

Käydään seuraavaksi läpi lennon 447 konetyypin, Airbus A330:n ja sitä edeltävien mallien historiaa ja kehitystä, jotta niiden suunnittelufilosofia selkeytyisi ja auttaen samalla ymmärtämään, miten onnettomuuteen vaikuttaneet automaatiojärjestelmät ovat kehittyneet sellaisiksi kuten ne onnettomuuden aikana olivat.

Ranskalainen matkustajalentokoneiden valmistaja Airbus perustettiin virallisesti joulukuun 18. päivänä 1970 (Norris & Wagner 2001, 8). Ensimmäinen Airbus -

matkustajalentokone, A300B1 teki ensilentonsa 28.10.1972 ja ensimmäinen tuotantolentokone, A300B2, toimitettiin sen ensimmäiselle asiakkaille, Air Francelle 10.5.1974 (Norris & Wagner 2001, 17). A300B -sarja vastasi yhä kasvavaan lentoliikennekysyntään tarjoamalla noin 280 paikkaisen kaksimoottorisen keskimatkan laajarunkokoneen. A300B-sarjasta tehtiin useita eri malleja, kuten esimerkiksi pidennetyn matkustuskantaman versio A300B9, jonka pohjalta alettiin myöhemmin suunnitella A330-sarjaa. (Norris & Wagner 2001, 17.) Vaikka Airbus A300B-sarjan myynti aluksi ei vastannut odotuksia, piti yhtiö jo tässä vaiheessa katseensa kohti tulevaa suunnittelufilosofiaansa, eli yhden tuoteperheen toteutusperiaatetta, mikä mahdollistaisi pitkän aikavälin selviytymisen ja menestyksen matkustajalentokonemarkkinoilla (Norris & Wagner 2001, 17–18).

Toisen Airbus-tuotesarjan, A310:n, ensilento oli 3.4.1982 ja ensimmäinen reittilento oli 12.4.1983. A310-sarjassa oli entistä kehittyneempi siipiprofiili, mikä myöhemmin muodosti perustan myös A330-sarjan siiven aerodynaamisille ominaisuuksille. A310-sarjassa oli myös jo kehittyneempää ohjaamotekniikkaa ja komposiittien hyödyntämistä runkomateriaaleissa. (Norris & Wagner 2001, 15.)

Vuonna 1987 ensilentonsa tehneen A320-sarjan myötä Airbus otti jälleen uuden teknisen harppauksen, kun se otti käyttöön fly-by-wire-ohjausjärjestelmän sivusauva ohjaimineen. Tämä järjestelmä korvasi perinteiset mekaaniset ohjausjärjestelmät sähköisillä signaaleilla, jotka välitetään ohjaussauvoista lennonohjaustietokoneille (Skybrary 2025). Siinä oli myös toisen sukupolven digitaalinen autopilotti. A320-sarjan runkomateriaaleissa oli myös käytetty entistä enemmän komposiitteja ja edistyneitä alumiiniseoksia. Yhdessä nämä kaikki A320-sarjan uudistukset muodostivat pohjaa tulevalle uuden sukupolven kaksimoottoriselle laajarunkokoneelle, eli A330-mallille, mikä julkaistiinkin vielä samana vuonna Pariisin lentonäytöksessä. (Norris & Wagner 2001, 16, 19.)

2.6.2 Airbus A330

Airbus A330-tuoteperheen ensimmäisenä julkaistu versio, A330-300, teki ensilentonsa 2.11.1992 ja se aloitti reittilentonsa Air Interillä (tai Air France Europella) tammikuussa 1994 (Norris & Wagner 2001, 85). Airbus A330-300 julkaistiin yhdessä nelimoottorisen A340:n kanssa, koska tuolloin oli kysyntää sekä kaksi- että

nelimoottoriselle keski- ja pitkänmatkan laajarunkokoneelle. Tuohon aikaan, kun koneet olivat vielä suunnittelupöydällä, nelimoottorisilla lentokoneilla sai lentää reittejä, joihin kaksimoottorisilla ei ollut vielä ETOPS-hyväksyntää (engl. Extended-range Twin-engine Operational Performance). (Norris & Wagner 2001, 23.) Sitten uudet kaksimoottoriset lentokoneet, kuten A330, todettiin niin luotettaviksi, että niillä pystyi operoimaan reittejä, jotka olivat enintään 180 minuutin lentomatkan päässä varalaskupaikasta, mikäli toinen moottori hajoaisi (Norris & Wagner 2001, 22). Vaikkakin A330-sarjassa oli kaksi moottoria vähemmän, kuin A340-sarjassa, olivat ne muuten hyvin samankaltaisia, mikä mahdollisti tarvittaessa lentäjien kouluttautumisen niihin molempiin pienellä kynnyksellä säästämällä kustannuksissa (Airbus 2023, 8). Molemmissa käytettiin myös jo A320-sarjassa debytoinutta fly-by-wire-elektronista ohjausjärjestelmää, jonka näkyvin ero perinteiseen ohjausrattiin perustuvaan ohjaukseen verrattuna oli ohjaamon sivuille sijoitetut ohjaussauvat (Skybrary 2025).

Air France 447:n turmakonetta vastaava lentokone oli A330-tuoteperheen toinen malli eli A330-200. Uudemmassa A330-200-mallissa oli pidennetty kantamaa keventämällä ja lyhentämällä runkoa. Lisäksi siipeä oli vahvistettu. Paikkamäärä laski siten 335:stä 293:een kahden luokan (Business ja Economy) ja 295:stä 253:een kolmen luokan (First, Business ja Economy) -istuinkonfiguraatiolla. (Norris & Wagner 2001, 92–93.) Airbus sai valmiiksi 200-sarjan suunnittelutyön vuoden 1996 alussa. Rungon lyhentämisellä oli haettu ideaalia kompromissia paikkamäärän ja kantaman välillä, jotta se houkuttaisi mahdollisimman montaa lentoyhtiötä. Mitä pidempi lentokone oli, sitä enemmän siihen mahtuisi matkustajia, mutta sitä lyhyemmän etäisyyden sillä voisi lentää ja päinvastoin. Lyhennettyyn A330-200-mallin polttoainekapasiteetti saatiin myös kasvatettua uuden keskirungon polttoainesäilön ansiosta 36,750 gallonaan verrattuna 25,750 gallonan A330-300:n polttoainekapasiteettiin. Tämän ansiosta A330-200:n täyden polttoainekuorman kantamaa saatiin kasvatettua 6 650 merimailiin, mikä oli 1000 merimailia pidempi kuin suuremmassa A330-300:ssa. Ensimmäisen A330-200:n rakentaminen alkoi vuoden 1997 alkupuolella ja ensilento oli 13.8.1997. (Norris & Wagner 2001, 94–95.)

Ennen lennon 447 onnettomuutta, Airbus A330:lla ei ollut yhtään henkeä vienyttä onnettomuutta reittilennolla (Aviation-Safety 2025).

3 TAPAHTUMIEN KULKU

Sunnuntaina 31.5. 2009 ilta kahdeksalta paikallista Brasilian aikaa (22:00 UTC) Air France 447 aloitti matkansa Rio de Janeirosta kohti Ranskan Pariisia. Lentokone on tyypiltään A330-203 (kuva 1) kyydissään kolme lentäjää, yhdeksän matkustajahenkilökuntaa, sekä 216 matkustajaa. (BEA 2012, 21.)



Kuva 1. Turmakone Airbus A330-203, rekisteritunnus F-GZCP (Kierzkowski 2007)

Ohjaamossa oli kolme miehistön jäsentä: kapteeni, perämies ja varalentäjä. A330 koneen lentämiseen riittää kaksi lentäjää, mutta tälle lennolle oli varattu kolme lepotaukoja varten, johtuen lennon pitkästä 12 tunnin lentomatkasta. Kaikki kolme lentäjää olivat ohjaamossa, kun kone nousi ilmaan kentältä kello 22:29 (UTC). (Palmer 2013, 7.)

Koska lentokoneen ohjaamon nauhoitin eli CVR (engl. Cockpit Voice Recorder) alkoi tallentamaan tietoja vasta kello 0:09, tarkkoja yksityiskohtia ohjaamon tapahtumista ei lennon alkupuolella tiedetä. Voidaan kuitenkin olettaa, että varalentäjä, jonka vuoro oli lähteä ensimmäisen lepäämään lentäjien taukotilaan, istui ohjaamon kolmannella istuimella, mikä sijaitsi kapteenin ja perämiehen takana keskellä. Air Francen käytäntöjen mukaan kolmas lentäjä sai aloittaa lepotauon, kun kone oli noussut 20 000 jalan lentokorkeuteen. Ensimmäisenä tauolle lähti siis varalentäjä, joka aloitti noin kolmen tunnin lepotauon kapteenin jäädessä ohjaamon vasemmalle istuimelle ja perämiehen oikealle istuimelle. Lento 447 saavutti vähitellen matkalentokorkeutensa 35 000 jalkaa. (Palmer 2013, 8.)

Kello 00:36 Recife-lennonjohtoalueen lennonjohtaja ilmoitti lennolle, että he näkyivät tutkalla ja ilmoitti HF-radiotaajuudet, joilla muodostetaan yhteys seuraavaan Atlantico-lennonjohtoalueeseen, sekä ohjeisti heitä vielä pitämään aikaisemman taajuuden, kunnes lento saavuttaisi INTOL-nimisen reittipisteen (Palmer 2013, 9).

Kello 01:14 miehistö ilmoitti ohittaneensa FEMUR-reittipisteen ja ilmoittivat ottavansa yhteyden Atlanticoon HF-radiotaajuudella. Recifen lennonjohtaja pyysi heitä odottamaan, kunnes INTOL olisi saavutettu. (Palmer 2013, 9.)

Kello 01:31 Recifen lennonjohtaja antoi uudet HF-radiotaajuudet Atlanticolle, ja taajuuden Dakarille. Ohjaaja neuvoi lentoa ottamaan yhteyden Dakariin vasta kun lento olisi ohittanut pisteen TASIL. (Palmer 2013, 9.)

Kello 01:33 miehistö yritti tehdä ADS kirjautumisen Dakarin lennonjohtoon. ADS (engl. Automatic Dependent Surveillance) on paikan ilmoitusjärjestelmä, jolla voidaan ilmoittaa sijainti, kun lennetään paikoissa, joihin tutkien kantama ei riitä, kuten esimerkiksi keskellä Atlantin valtameren. Dakar ohjaa lentoja valtameren keskialueella Etelä-Amerikan ja Afrikan välillä. ADS kirjautuminen epäonnistui koska tarvittavia lennon tietoja ei oltu rekisteröity Dakarin käyttämään Eurocat-lennonjohdon hallintajärjestelmään. Myös Dakarin lennonjohtajan oli tarkoitus rekisteröidä lentosuunnitelma järjestelmään. Rekisteröimisessä oli kuitenkin tehty virhe, mikä johti myös siihen, ettei miehistö pystynyt kirjautumaan järjestelmään. Lento jatkoi siis paikkatietojen ilmoittamista suullisesti HF-radiotaajuudella. (Palmer 2013, 10.)

Kello 01:35 lento 447 oli Etelä-Amerikan koillispuolisen meren ilmatilassa, missä tiedossa oleva ITCZ (engl. Intertropical convergence zone) eli pasaatituulten kohtaamisvyöhyke alkaa. Miehistö ilmoitti sijaintinsa HF-radiolla Atlanticon ohjaajalle ja tekivät SELCAL (engl. Selective calling) tarkistuksen, millä vahvistetaan kuuluvuus ohjaajan ja miehistön välillä. (Palmer 2013, 10.) Perämies sääti säätutkan näkymää ja kommentoi siinä suoraan edessä näkyvää myrskyä (BEA 2012, 21).

Kello 01:45 lento saavutti ITCZ-säävyöhykkeen ja kapteeni ja perämies keskustelivat heidän halustaan nostaa lentokorkeutta tasolle FL370, eli 37 000 jalkaa,

tavoitteenaan päästä säävyöhykkeen yläpuolelle, mutta he totesivat ilman olevan liian lämmintä, joten sitä ei voinut tehdä. Lisäksi FL370 oli sen hetkisillä olosuhteilla suositeltu maksimikorkeus REC MAX, ja molemmat pilotit tiesivät, että sillä korkeudella lentämistä kannattaa välttää (BEA 2012, 21). Se oli myös Air Francen suositus, sillä suositellussa maksimikorkeudessa lennetään jo hyvin lähellä lentokoneen aerodynaamisia rajoja. (Palmer 2013, 10.)

Kello 01:46 perämies himmensi ohjaamon sisävalaistusta ja laittoi koneen laskeutumisvalot päälle nähdäkseen ulos. Perämies sanoi: ”Näyttää siltä, että olemme menossa pilvipeitteeseen. Olisi ollut hyvä nousta nyt, vai?” (Palmer 2013, 10–11.)

Kello 01:49 lento 447 poistui tutkan kantaman ulkopuolelle, kun se ohitti SALPU-reittipisteen (Palmer 2013, 10–11).

Kello 01:51:20 perämies sanoi: ”Minulla ei ole sellaista vaikutelmaa, että siellä oli... paljon... myrskyä, ei paljoa. Kapteeni sanoi: ”Lepotauollani tulee olemaan turbulenssia.” (Palmer 2013, 10–11.)

Kello 01:56:16 kapteeni kysyi perämieheltä, että tekeekö hän laskeutumisen ja onko hänellä luvat siihen, mihin perämies vastasi myöntävästi (Palmer 2013, 10–11).

Kello 02:00 varalentäjä palasi lepotauolta ja kapteeni lähti pois ohjaamosta viettämään omaansa. Kapteeni ei antanut muuta tietoa varalentäjälle muuta kuin varmisti tulevat HF-radiotaajuudet. Perämies oli lentoa ohjaava pilotti (PF) (engl. Pilot Flying) oikealla istuimella ja määritetty kapteenin sijainen kapteenin ollessa lepotauolla. Varalentäjä otti kapteenin istuimen vasemmalla, mutta oli toissijainen lentoa ohjaava pilotti (PNF) (engl. Pilot Not Flying). Perämies kertoi varalentäjälle, etteivät he voineet nousta ja että turbulenssia olisi tulossa jonkin verran. (Palmer 2013, 10–11.)

Kello 02:01 kolmas ADS-kirjautumisyritys epäonnistui Eurocat-järjestelmään syötettyjen virheellisten rekisteröintitietojen vuoksi (Palmer 2013, 11).

Kello 02:02-02:07 lentokoneeseen kohdistui kevyttä turbulenssia 1,1–1,25 g (Palmer 2013, 11).

Kello 02:06 perämies ilmoitti matkustamohenkilökunnalle, että seuraavat kaksi minuuttia on turbulenssia (Palmer 2013, 11).

Kello 02:07-02:10 turbulenssi oli kohtalaista, jopa 1,5 g. Kallistuskulma vaihteli noin kolme astetta oikealle ja viisi astetta vasemmalle, vaikka autopilotti oli päällä. (Palmer 2013, 11.)

Kello 02:08 varalentäjä sääti tutkan vahvistusasetusta lisätäkseen sen herkkyyttä ja ehdotti poiketa reitiltä vasemmalle. He käänsivät lentokoneen suuntaa 12° vasemmalle suunnitellulta reitiltä välttääkseen pahimman sään. (Palmer 2013, 11–12.)

Kello 02:09:46 lento kohtasi voimakkaan ylöspäin suuntautuvan ilmavirtauksen, ja kuului ääni, joka on tyypillinen jäärakeiden iskeytyessä koneen runkoon. Perämies laski matkanopeuden Mach 0.82:sta suositeltuun turbulenssinopeuteen, Mach 0.80:aan ja moottorien jäänpoisto laitettiin päälle. (BEA 2012, 22.) Samanaikaisesti moottorien kierrosluku (N1) laski automaattisesti 100 prosentista 84 prosenttiin. (Palmer 2013, 11–12.)

Kello 02:10:00 ylöspäin suuntautuva ilmavirtaus voimistui entisestään, ja lentokoneen nokkaa oli kallistettava loivasti alaspäin kahdesta asteesta nolnaan säilyttääkseen lentokorkeuden. Samalla automaattinen tehonsäätö reagoi tilanteeseen vähentämällä moottorien tehoa, tarkoituksenaan ylläpitää lentokoneen nopeuden vakaana. (Palmer 2013, 11–12.)

Kello 02:10:05 lentokone kohtasi kriittisen häiriön mittalaitteistossa, kun Pitot-putket, eli ilmanopeuden mittaamiseen tarkoitetut anturit, tukkeutuivat jäärakeista. Tämän seurauksena vasemman puolen PFD-näytöllä (engl. Primary Flight Display) ilmoitettu ilmanopeus (engl. Indicated airspeed (IAS)) putosi 275 solmusta vain 60 solmuun. Varanopeusmittari antoi myös ristiriitaisia tietoja: ilmanopeus putosi ensin 275 solmusta 139 solmuun, ja nousi sen jälkeen 223 solmuun. Oikean puolen näyttöjen tietoja ei ole tallennettu, mutta on todennäköistä, että myös

ne kärsivät vastaavista häiriöistä. Näiden poikkeamien seurauksena autopilotti kytkeytyi automaattisesti pois päältä ja lennonohjausjärjestelmä katosi näytöltä. Lentokoneen ohjausjärjestelmän tila vaihtui normaalitilasta vaihtoehtoiseentilaan kaksi, mikä poisti useita sisäänrakennettuja turvatoimintoja ja lisäsi herkkyyttä kallistuksen ohjaukseen. (Palmer 2013, 11–12.)

Ilmanopeustietojen menetyksen vuoksi sisäisen korkeusmittarin korjaukset laskettiin uudelleen ikään kuin lentokone olisi lentänyt alemmilla nopeuksilla. Tämä johti virheellisiin lukemiin: koneen mittari näytti noin 300 jalan korkeuden menetystä ja pystynopeuden se ilmoitti lähestyvän 600 jalkaa minuutissa. (Palmer 2013, 12.)

Kello 02:10:07, kun kone kallistui oikealle, perämies otti ohjaimet haltuunsa toden: ”Minulla on ohjaimet.” Hän siirtyi manuaaliseen ohjaukseen ja alkoi tehdä ohjauskomentoja: koneen nokkaa nostettiin ja konetta kallistettiin vasemmalle. Tässä vaiheessa perämies toimi määritettynä lentoa ohjaavana pilottina (PF), vastaten koneen hallinnasta käsiohjauksella varalentäjän toimiessa monitoroivana pilottina (PNF). (Palmer 2013, 12.)

Kello 02:10:08 automaattinen tehonsäätö kytkeytyi pois päältä ja siirtyi niin sanottuun thrust-lock-tilaan, jossa moottorien teho lukittui paikoilleen. Teho jäi tasolle 83 % N1, eikä muuttunut ennen kuin ohjaaja ottaisi työntövoiman hallinnan manuaalisesti itselleen. (Palmer 2013, 12.)

Kello 02:10:10 koneen nousukulma kasvoi nopeasti nolasta kuuteen asteeseen, ja samalla pystynopeus kiihtyi voimakkaasti, ylittäen 1 800 jalkaa minuutissa. Nousevan liikkeen aiheuttama G-voima kohosi 1,6 g:hen, ja sakkausvaroitin aktivoitui hetkellisesti. Perämies kamppaili saadakseen kallistuskulman hallintaansa, mutta reagoi tilanteeseen ylioheamalla. Hän teki peräkkäin kymmenen vuorottelevaa kallistusliikettä vasemmalle ja oikealle. Ohjauskomennot olivat jatkuvasti eri tahdissa koneen todellisen kallistusliikkeen kanssa: jokainen komento tapahtui juuri vastakkaiseen suuntaan kuin koneen kallistus sillä hetkellä. Tämä synkronoimaton toiminta aiheutti hallitsematonta heiluntaa, kunnes kallistus alkoi vähitellen tasaantua noin 30 sekunnin kuluessa. (Palmer 2013, 12–13.)

Kello 02:10:13 varanopeusmittarin ilmoittama ilmanopeus alkoi jälleen laskea. Seuraavien neljän sekunnin aikana nopeus putosi näytöllä jyrkästi 270 solmusta vain 73 solmuun. (Palmer 2013, 12–13.)

Kello 02:10:16 varalentäjä sanoi: "menetimme nopeustiedot" ja "vaihtoehtoisen tilan suojaustoiminnot". Perämies teki nopeita ohjauskomentoja oikealle ja vasemmalle nostaen samalla nokkaa entisestään. (BEA 2012, 22).

Kello 02:10:17 lennonohjausjärjestelmä ilmestyi takaisin näytölle neljän sekunnin ajaksi. Sen ohjeistus kehotti paluuta aiempaan matkakorkeuteen. (Palmer 2013, 12–13.)

Kello 02:10:20 koneen nousukulma jatkoi kasvuaan, ylittäen 11 astetta, ja pystynopeus kiihtyi dramaattisesti jopa 6000 jalkaan minuutissa. Samalla lennonohjausjärjestelmä katosi uudelleen näytöltä. Ohjaajan tekemät ohjausliikkeet olivat tässä vaiheessa selvästi liiallisia ja ristiriidassa korkealla lentämiseen suositeltujen ohjaustapojen kanssa. (Palmer 2013, 12–13.)

Kello 02:10:23 thrust-lock-tila poistettiin painamalla automaattisen tehonsäädön poiskytkentäpainiketta, vaikka ECAM-järjestelmä (engl. Electronic Centralized Aircraft Monitor) ohjeisti tekemään sen siirtämällä moottorin tehonsäätövivut manuaalisesti pois climb detent-asennosta. Vivut jäivät kuitenkin paikoilleen nousutehoasentoon. Tämän seurauksena moottorien kierrosluku alkoi jälleen nousta ja saavutti 104 % N1 12 sekunnin aikana. (Palmer 2013, 13–14.)

Kello 02:10:27 lennonohjausjärjestelmä ilmestyi jälleen näytölle. Tällä kertaa se ei enää ohjannut matkakorkeuden säilyttämistä, vaan sen moodi oli vaihtunut ohjaamaan nykyisen lentosuunnan ja pystynopeuden ylläpitämistä. Kyseinen pystynopeus oli erittäin jyrkkä, noin 6000 jalkaa minuutissa. Varalentäjä huomautti perämiestä seuraamaan ilmanopeuttaan. Perämies vastasi: "Okei, okei, olen menossa takaisin alas." Perämies teki ohjaussauvalla joitakin nokka alas-suuntaisia ohjauskomentoja, minkä seurauksena koneen nousukulma pieneni hieman ja moottoritehoa vähennettiin. Näistä korjausliikkeistä huolimatta koneen nokka pysyi yhä selvästi normaalin nousukulman yläpuolella, ja lentokone jatkoi hallitse-

matonta nousuaan. Varalentäjä yritti ohjata tilannetta yhä painokkaammin, viittaen mittarilukemiin: ”Mene takaisin alas. Tämän mukaan olemme nousussa. Kaikkien kolmen mittarin mukaan olet nousussa, joten mene takaisin alas”. Perämies vastasi lyhyesti: ”Okei”. Varalentäjä toisti uudelleen: ”Olet... mene alas.” (Palmer 2013, 13–14.)

Kello 02:10:32 koneen nousukulma saatiin hetkellisesti laskemaan noin 10 asteeseen, mikä laski pystynopeutta 4000 jalkaan minuutissa. Tässä vaiheessa lentokone oli ylittämässä 37 000 jalan korkeuden. Vaikka nousu jatkui, kohtauskulma, joka on matkalennossa normaalisti noin 2,5 astetta, oli toistaiseksi pysynyt alle neljän asteen, eli vielä kriittisen sakkauskulman alapuolella. (Palmer 2013, 14.)

Kello 02:10:36 lennonohjausjärjestelmä katosi jälleen näytöltä. Vasemman puolen nopeusmittari näytti tällä kertaa oikeaa arvoa: 223 solmua, mutta se kertoi huolestuttavasta kehityksestä: autopilotin poiskytketymisestä kuluneen 31 sekunnin aikana kone oli menettänyt 50 solmua ilmanopeutta. Varanopeusmittari jatkoi poikkeavien ja epäluotettavien lukemien näyttämistä, pysyen epänormaalin matalana. Oikean puolen nopeusnäytön tilasta ei ole tietoa, koska sen tietoja ei tallenneta mustiin laatikoihin. (Palmer 2013, 14.)

Kello 02:10:42 lennonohjausjärjestelmä ilmestyi takaisin ruudulle, mutta vain yhdeksi sekunniksi. Tänä lyhyenä hetkenä ne ohjeistivat säilyttämään silloisen pystynopeuden: 1400 jalkaa minuutissa. (Palmer 2013, 14–15.)

Kello 02:10:47 lennonohjausjärjestelmä ilmestyi jälleen näytölle, tällä kertaa pidemmäksi ajaksi: se pysyi näkyvässä 53 sekunnin ajan, aina kellonaikaan 02:11:40 saakka. Sen antama ohje säilyi samana: ylläpidä 1400 jalan minuuttinopeudella tapahtuvaa nousua. Samaan aikaan tehonsäätövivut siirrettiin hie-man taaksepäin, noin kahteen kolmasosaan tyhjäkäynnin ja nousutehoasennon väliin. Tämän seurauksena moottorien kierrosluku (N1) laski 85 prosenttiin. (Palmer 2013, 14–15.)

Kello 02:10:50 ohjaamossa tehtiin ensimmäinen yritys kutsua kapteeni takaisin paikalle. Tätä varten soitettiin kutsusummeria, jonka ääni kuuluu miehistön lepotilaan. (Palmer 2013, 14–15.)

Kello 02:10:51 perämies jatkoi nokka ylös-ohjaukomentoja, ja koneen nousukulma kasvoi entisestään, saavuttaen 16 astetta. Tässä vaiheessa lentokoneella ei enää ollut riittävästi energiaa ylläpitääkseen lennonohjausjärjestelmän ohjeistamaa pystynopeutta. Kone alkoi keinahtaa kevyesti puolelta toiselle, ja perämies reagoi jokaiseen pieneen kallistukseen ohjaussauvan sivuttaisliikkeillä.

Sitten kuului jälleen varoitusääni: sakkausvaroitin aktivoitui uudelleen, ja tällä kertaa se pysyi päällä seuraavat 45 sekuntia. Miehistö ei reagoinut sanallisesti sakkausvaroitukseen kertaakaan. (Palmer 2013, 14–15.)

Kello 02:10:57 koneen kohtauskulma saavutti sakkausrajan, ja lentokone alkoi tärinästä sakkauksen aiheuttaman tärinän seurauksena, mikä on ilmiö, joka syntyy, kun ilmavirta irtoaa siiven pinnasta ja aiheuttaa voimakasta koneen värähtelyä sakkauksen aikana. Moottoriteho nostettiin välittömästi täyteen, TOGA-asentoon (engl. Take Off/ Go Around). Tästä huolimatta perämies jatkoi nokka ylös-ohjauksia, vaikka kone oli jo sakkaustilassa ja lentoprofiili yhä matalassa mutta jatkuvassa nousussa. Moottorien kierrosluku (N1) nousi nopeasti 103 prosenttiin. (Palmer 2013, 15–16.)

Kello 02:11:00 varalentäjä sanoi: ”Ennen kaikkea, yritä koskea sivuttaisohjaimiin mahdollisimman vähän, jooko.” (Palmer 2013, 15–16.)

Kello 02:11:04 koneen sivuttaisheilunta jatkui edelleen: kallistuskulma vaihteli 9 astetta oikealle ja 16 astetta vasemmalle. Perämies reagoi yhä kiihtyvällä voimakkuudella, käyttäen välillä jopa täydet ohjaussauvan liikkeet molempiin suuntiin yrittäessään pysäyttää koneen keinunnan. (Palmer 2013, 15–16.)

Kello 02:11:07 varanopeusmittarin näyttämän ilmanopeuden lukema nousi 129 solmusta 183 solmuun. Tämä viittasi siihen, että viimeisetkin Pitot-putkiin kertyneet jäärakeet olivat sulaneet, ja kaikki kolme nopeusmittaria alkoivat jälleen

näyttää oikeita arvoja. Tästä huolimatta koneen tilanne oli yhä vakava: normaalisti ilmanopeus FL380-lentopinnalla oli noin 260 solmua, eli kone lensi huomattavasti tavanomaista hitaammin. (Palmer 2013, 15–16.)

Kello 02:11:10 lento 447 saavutti korkeimman pisteensä: 37 924 jalkaa. Tämä tarkoitti, että autopilotin poiskytketymisestä kuluneen yhden minuutin ja seitsemän sekunnin aikana kone oli noussut 3000 jalkaa, mutta samalla menettänyt 90 solmua ilmoitettua ilmanopeutta. (Palmer 2013, 15–16.)

Kello 02:11:20 sakkausvaroitusta jatkoi yhä katkeamatonta hälytystään, ja varalentäjä totesi: ”Mutta meillähän on moottorit... mitä oikein tapahtuu?” (Palmer 2013, 16.)

Kello 02:11:22 vaikka perämies jatkoi edelleen nokka ylös-ohjauskomentoja, kone ei enää noussut, vaan alkoi vajota. Samaan aikaan kone kallistui tasaisesti oikealle. Perämies reagoi vasemmanpuoleisilla ohjaussauvan liikkeillä, jotka hetkellisesti hidastivat kallistumisliikettä. (Palmer 2013, 16.)

Kello 02:11:24 varalentäjä kysyi jälleen: ”Ymmärrätkö, mitä on tapahtumassa vai et?” (Palmer 2013, 16.)

Kello 02:11:30 lentokoneen kallistuskulma oikealle jatkoi kasvuaan. Perämies piti ohjaussauvaa täysin vasemmalla, mutta siitä huolimatta kallistumiseen se ei tehnyt juuri mitään vaikutusta. Tässä vaiheessa lentokone ajautui loivaan oikeaan kaartoon. (Palmer 2013, 16.)

Kello 02:11:32 perämies totesi: ”Minulla ei ole enää mitään kontrollia koneesta. Ei mitään kontrollia.” (Palmer 2013, 16–17.)

Kello 02:11:38 varalentäjä sanoi ottaakseen ohjauksen itselleen: ”Ohjaimet vasemmalle,” ja teki kaksi nopeaa, vasemmanpuoleista täyttä ohjauskomentoa. Perämies puolestaan jatkoi omia toimiaan, hänen ohjaussauvansa pysyi täysin vasemmalla, ja nyt hän veti sen myös täysin taakse, missä sitä pidettiin lähes 40

sekunnin ajan. Tämän seurauksena koneen vajoamisnopeus kiihtyi dramaattisesti, ylittäen 10 000 jalkaa minuutissa. Samalla koneen nousukulma vaihteli 10 ja 16 asteen välillä, mutta kohtauskulma, mikä on ratkaiseva tekijä sakkauksessa, jatkoi tasaista nousuaan, saavuttaen 40 astetta. (Palmer 2013, 16–17.)

Kello 02:11:42 kapteeni palasi ohjaamoon juuri kriittisellä hetkellä. Nopeusmittarit näyttivät enää alle 60 solmua, mikä teki kohtauskulma-antureiden lukemista epäluotettavia. Tämän seurauksena sakkauksen varoitus lopulta vaiken, ei siksi, että kone olisi palautunut hallintaan, vaan koska mittausjärjestelmä ei enää kyennyt arvioimaan lentotilaa. Kun nopeus laski alle 30 solmun, nopeusmittarin tilalle ilmestyi punainen SPD-varoitusslippu, merkinä siitä, ettei nopeutta voitu enää mitata luotettavasti. Kone kallistui oikealle siivelle, ja kallistuskulmat vaihtelivat jopa 45 asteeseen, vaikka perämies piti ohjaussauvaansa yhä täydellä vasemmalla vedolla, yrittäen epätoivoisesti saada koneen takaisin hallintaan. Kapteeni kysyi: ”Mitä te oikein teette?” Varalentäjä vastasi: ”Mitä tapahtuu? En tiedä, en tiedä mitä tapahtuu.” Perämies lisäsi: ”Me menetämme koneen hallinnan täällä.” Lopuksi varalentäjä totesi: ”Menetimme kokonaan koneen hallinnan, emme ymmärrä mitään, olemme yrittäneet kaikkea.” (Palmer 2013, 16–17.)

Kello 02:11:47 koneen nousukulma alkoi heilahdella aaltoilevasti 8 ja 15 asteen välillä nokka ylhäällä. Tilanteen hallitsemattomuus jatkui, mutta kaasuvivut vedettiin tyhjäkäynnille. Tämän seurauksena koneen nokka kallistui lopulta alas noin 11 astetta horisontin alapuolelle. Samaan aikaan vajoamisnopeus kiihtyi rajusti ja saavutti 15 000 jalkaa minuutissa. Moottorien kierrosluku (N1) alkoi laskea ja putosi seuraavien 20 sekunnin aikana 58 prosenttiin. (Palmer 2013, 17.)

Kello 02:11:55 sakkausvaroitus aktivoitui jälleen hetkellisesti (Palmer 2013, 17).

Kello 02:12:04 perämies, yhä epävarmana tilanteen todellisesta luonteesta, sanoi: "Minusta tuntuu, että meillä on joku ihan hullu nopeus, vai mitä mieltä olet?" Hänen arvioonsa vaikutti todennäköisesti virheellinen aistitieto ja mittarilukemien epä johdonmukaisuus. Tämän epäilyn perusteella hän päätti avata spoilerit, eli ilmavirtaa vastustavat jarrupinnat, hidastaakseen konetta. Spoilerien aktivointi sai koneen nokan nousemaan takaisin horisontin tasalle. Varalentäjä kuitenkin puuttui tilanteeseen nopeasti ja sanoi, ettei spoilereita pidä käyttää. Hetkeä myöhemmin ne vedettiinkin sisään. Tämän jälkeen koneen nokka kääntyi jälleen kahdeksan astetta alaspäin, ennen kuin nousi uudelleen. Lento 447 jatkoi syöksyään pystynopeuden vaihdellessa 10 000 ja 15 000 jalan välillä minuutissa. Samaan aikaan koneen nousukulma heilahteli voimakkaasti: välillä 8 astetta nokka alaspäin ja 15 astetta nokka ylös. Jokaisella kerralla, kun nokka kallistui alaspäin, kohtauskulma pieneni hieman, mutta pysyi silti vaarallisen korkeana, yli 30 asteen, eli selvästi sakkausrajan yläpuolella. Kun kohtauskulma pieneni hetkeksi, nopeusmittari aktivoitui uudelleen ja näytti ilmanopeuksia 60–80 solmun välillä. Tämän sai myös sakkausvaroituksen menemään taas päälle. Koneen kallistuskulma keinui jatkuvasti 20 ja 40 asteen välillä oikealle, ja tätä säästi vastaava kääntyminen (engl. Yaw), koneen nokka heilui sivusuunnassa. Miehistö ja automaattinen yaw damper-järjestelmä tekivät ohjausliikkeitä välttääkseen ylösalaisin kääntymistä. (Palmer 2013, 17–18.)

Kello 02:12:10 tehonsäätövivut siirrettiin takaisin climb-asentoon, eli nousuteholle, ja N1-arvo nousi 58 prosentista täyteen 105 prosenttiin vain kymmenessä sekunnissa (Palmer 2013, 17–18).

Kello 02:12:30 ensimmäistä kertaa yli minuuttiin koneen kallistuskulma oli hetkelisesti siivet vaakatasossa, kun se jatkoi jatkuvaa heilahtelua vasemmalle ja oikealle. Perämies yritti epätoivoisesti vastata jokaiseen kallistusliikkeeseen suurilla sivuttaisohjainliikkeillä, tehden voimakkaita ohjaussauvan vetoja vasemmalle ja oikealle. (Palmer 2013, 18.)

Kello 02:12:33 tehonsäätövivut siirrettiin climb-asennosta täyteen tehoon, TOGA-asentoon (Palmer 2013, 18).

Kello 02:12:44 lentokone syöksyi alle 20 000 jalan korkeuden (Palmer 2013, 18). Nopeus ja kohtauskulma pysyivät kriittisinä, eikä koneen käyttäytymisessä ollut merkkejä palautumisesta hallittuun lentotilaan. Vaikka moottorit kävivät täydellä teholla, lentokone jatkoi nopeaa ja hallitsematonta vajoamistaan kohti merenpintaa, koska nokkaa ei laskettu alas.

Kello 02:12:45 lentokone alkoi jälleen kallistua oikealle, ja muutamassa sekunnissa kallistuskulma ylitti 40 astetta. Perämies reagoi tuttuun tapaan vetämällä ohjaussauvan jälleen täyteen vasemmalle, ja piti sen siinä 20 sekunnin ajan. (Palmer 2013, 18.)

Kello 02:13:18 lento 447 putosi alle 10 000 jalan korkeuden. Perämies ilmoitti: "Olemme siellä, olemme siellä, ohitamme tason 100." Taso 100 viittaa 10 000 jalan korkeuteen: kriittiseen rajaan lentotoiminnassa. He olivat tässä vaiheessa menettäneet jo 28 000 jalkaa korkeutta. Varalentäjä otti ohjaustilanteen haltuunsa ja sanoi: "Odota, minä, minä otan, minä otan ohjauksen, jooko." Hän teki

noin seitsemän sekunnin ajan vasemmanpuoleisia ohjausliikkeitä, mutta perämies ei koskaan vapauttanut omaa ohjaussauvaansa. Hetkeä myöhemmin ohjaamoon kaikui synteettinen varoitusääni: "DUAL INPUT." Se kertoi, että molemmat pilotit antoivan ohjauskäskyjä samanaikaisesti. Perämies, yhä ymmällään koneen käyttäytymisestä, kysyi turhautuneena: "Mitä... miksi me jatkamme alaspäin?" Etsien vielä viimeistä oljenkortta varalentäjä pyysi kapteenia kokeilemaan, auttaisiko ohjausjärjestelmien nollaus. Kapteeni vastasi epäilevästi: "Se ei tee mitään," mutta suoritti silti nollauksen: PRIM 1 ja SEC 1 -lentokoneen ensisijaiset ja toissijaiset ohjaustietokoneet käynnistettiin uudelleen. (Palmer 2013, 18–19.)

Kello 02:13:36 Perämies ilmoitti: "Yhdeksän tuhatta jalkaa", kone oli jo lähellä merenpintaa. Hänen ohjaussauvansa oli yhä noin puolivälissä taaksepäin, ja koneen korkeusperäsin sekä vakaaja olivat täysin trimmattuina nokka ylös -asennossa, johtuen jatkuvista pilottien tekemistä nokka ylös -komennoista. Tehonsäätövivut olivat edelleen täydessä TOGA-asennossa. Varalentäjä huusi: "Nosta nosta nosta nosta!" Perämies vastasi: "Mutta minä olen nostanut nokkaa jo pitkään." Varalentäjä työnsi ohjaussauvansa kokonaan eteen viiden sekunnin ajaksi, jolloin ohjaamoon kuului taas varoitus: "DUAL INPUT." Samalla kapteeni puuttui tilanteeseen ja huusi: "Ei ei ei, älkää nostako!" Varalentäjä sanoi: "Joten, mennään alas," samalla kun hän työnsi oman ohjaussauvansa eteenpäin. Tehonsäätövivut vedettiin samalla takaisin climb-asentoon, eli normaalille nousuteholle, vähentäen moottoritehoa. Mutta perämies jatkoi silti nokka ylös-ohjauskomentojen tekemistä, vetäen omaa ohjaussauvaansa taaksepäin. Tästä seurasi jälleen varoitusääni: "DUAL INPUT." (Palmer 2013, 18–19.)

Kello 02:13:45 varalentäjä sanoi: ”Anna ohjaimet minulle, ohjaimet minulle, minä ohjaan nyt.” Perämies vastasi: ”Ole hyvä, sinulla on ohjaimet. Olemme yhä TOGA-teholla, eikö niin.” Varalentäjä työnsi koneen nokkaa alaspäin, laskien sen noin 7 astetta horisontin alapuolelle. Samalla nopeusmittarit alkoivat jälleen näyttää ilmanopeuksia, ja sakkausvaroitus aktivoitui uudelleen. (Palmer 2013, 19.)

Kello 02:13:52 vain seitsemän sekuntia sen jälkeen, kun varalentäjä oli ottanut ohjauksen haltuunsa, perämies alkoi jälleen vetää omaa ohjaussauvaansa taaksepäin, vastoin aiempaa ilmoitustaan. Heti perään koneen järjestelmä antoi taas varoituksen ”DUAL INPUT.” Koneen nokka alkoi uudelleen nousta. (Palmer 2013, 19.)

Kello 02:14:05 kapteeni varoitti: ”Varo nyt, olet taas nostamassa nokkaa” (Palmer 2013, 19.)

Kello 02:14:07 Varalentäjä veti jälleen ohjaussauvaansa taakse ja sanoi ääneen: ”Minä nostan nokkaa, minä nostan nokkaa.” Samalla tehonsäätövivut vedettiin tyhjäkäynnille kahden sekunnin ajaksi. Koneen nokka nousi nopeasti ja saavutti 16 asteen nousukulman. Kapteeni varoitti taas: ”Sinä nostat nokkaa.” Perämies vastasi: ”No meidän täytyy, olemme neljässä tuhannessa jalassa!” (Palmer 2013, 19–20.)

Kello 02:14:16 kun lento 447 oli enää 2 500 jalan korkeudella merenpinnasta, GPWS (engl. Ground Proximity Warning System) aktivoitui ja sen ääni varoitti voimakkaasti: ”SINK RATE, PULL UP.” Kapteeni antoi luvan: ”Anna mennä, vedä.” Perämies vastasi toiveikkaasti: ”Anna mennä! Vedä ylös, vedä ylös, vedä

ylös!” Tehonsäätövivut siirrettiin takaisin TOGA-asentoon, ja molemmat ohjaajat antoivat nokka ylös-ohjauskomennon samanaikaisesti. Koneen nokka kohosi jälleen 16 asteen kulmaan. (Palmer 2013, 19–20.)

Kello 02:14:22 perämies painoi ohjaussauvansa takeover-painiketta, ottaen yksinään ohjausvastuun ja samalla katkaisten varalentäjän komennot. Heti perään koneen synteettinen ääni ilmoitti: ”PRIORITY RIGHT,” ja varalentäjän edessä oleva varoitusvalo syttyi punaisena, osoittaen perämieheen merkinä siitä, että oikeanpuoleinen ohjaussauva oli nyt määräävässä roolissa. Perämies totesi epätoivoisesti: ”[voimasana] Me tulemme törmäämään.” Samaan aikaan sakkausvaroitus aktivoitui jälleen: ”STALL, STALL.” GPWS huusi perään: ”PULL UP!” ”Tämä ei voi olla totta,” perämies sanoi epäuskoisesti. ”PULL UP!” jatkoi järjestelmä hälyttämistään. ”Mutta mitä oikein tapahtuu?” perämies kysyi viimeisen kerran, jääden ikuisesti epätietoiseksi. Kapteeni sanoi viimeiset sanat: ”Kymmenen astetta nokka ylös”. Varalentäjä työnsi omaa ohjaussauvaansa eteenpäin, mutta perämies piti yhä takeover-painiketta painettuna ja oman sauvansa täysin taaksevedettynä. Varalentäjän ohjaukset oli lukittu pois, eivätkä ne vaikuttaneet mihinkään. (Palmer 2013, 20–21.)

Kello 02:14:28, varttia yli keskiyön paikallista aikaa. Airbus A330 iskeytyi Atlantin valtameren 45 asteen kulmassa, nokka 16 astetta ylhäällä ja 5 astetta vasemmalle kallistuneena. Koneen etenemisnopeus ja vajoamisnopeus olivat molemmat 107 solmua (noin 198 km/h), ja pystysuuntainen vajoamisnopeus oli järjestyksessä 10 900 jalkaa minuutissa. Isku tuli alhaalta ylöspäin. Valtavat voimat murskasivat lentokoneen rungon ja hajottivat sen tuhansiksi kappaleiksi hetkessä. Sel-

viytyminen ei ollut mahdollista. Kaikki 228 matkustajaa ja miehistön jäsentä menehtyivät. Uhrit olivat kotoisin 32 eri maasta: 126 miestä, 82 naista, 7 lasta ja yksi vauva. (Palmer 2013, 21.)

Lento 447 oli menetetty, mutta sen tarina ja opetus muuttivat ilmailumaailmaa pysyvästi.

4 ONNETTOMUUTEEN VAIKUTTANEET TEKIJÄT

BEA:n virallisen raportin mukaan onnettomuus johtui seuraavista tekijöistä:

- Tilapäinen epäjohtonmukaisuus mitatuissa ilmanopeuksissa, joka todennäköisesti johtui jäärakeiden aiheuttaman Pitot-putkien tukkeutumisen seurauksena. Tämä johti muun muassa autopilotin poiskytketymiseen ja siirtymisen vaihtoehtoiseen ohjaustilaan.
- Epätarkat ohjausliikkeet, jotka horjuttivat lentokoneen lentoreitiltä.
- Miehistö ei toiminut oikealla menettelytavalla ilmanopeustietojen kadottua.
- Toisen pilotin (PNF) myöhäinen lentoreitin poikkeaman havaitseminen ja ohjaavan pilotin (PF) riittämätön korjaus.
- Miehistö ei tunnistanut sakkaukseen joutumista, eikä reagoinut ajoissa poistumalla sakkaustilasta.
- Miehistön epäonnistuminen toistuvan sakkauksen tunnistamisessa ja sen seurauksena puutteelliset toimenpiteet estivät toipumisen tilanteesta. (BEA 2012, 17.)

Lisäksi BEA:n raportin mukaan tapahtumat johtuivat seuraavien tekijöiden yhteisvaikutuksesta:

- Valmistajien, operaattorien, lentomiehistöjen ja viranomaisten kesken tapahtuva turvallisuusyhteistyö oli puutteellista. Esimerkiksi lennoilla toistuvaa ilmanopeustiedon menetyksen menettelyn noudattamatta jättämistä ei kyetty tunnistamaan. Lisäksi ei varmistettu, että miehistöt saivat riittävää koulutusta Pitot-putkien jäätymiseen ja sen seurauksiin.
- Miehistöltä puuttui käytännön koulutusta lentokoneen manuaalisesta ohjauksesta sekä suurilla korkeuksilla että nopeusnäyttöjen poikkeamatilanteissa.
- Tehtävänjako heikkeni autopilotin poiskytketymisen yhteydessä, mikä johtui sekä tilanteen väärinymmärryksestä että niin sanotun säikähdysfektin huonosta hallinnasta. Tämä jätti miehistön emotionaalisesti kuormittuneeseen tilaan.
- Ohjaamoon ei välittynyt riittävästi tietoa nopeuslukemien ristiriitaisuuksista, jotka lentotietokoneet olivat jo tunnistaneeet. (BEA 2012, 200–201.)
- Miehistö ei reagoinut sakkauksen varoitukseen. Tämä saattoi johtua useista tekijöistä, kuten:

- kuulovaroituksen tunnistamatta jättämisestä,
- varoitusten lyhytaikaisuudesta ja niiden virheellisestä tulkinnasta,
- visuaalisen informaation puuttumisesta nopeusraja-arvojen kadotusta, mikä olisi voinut vahvistaa sakkauksen lähestymisen,
- sakkaukseen liittyvän tärinän sekoittamisesta ylinopeustärinään,
- lennonohjausjärjestelmän antamista virheellisistä vahvistuksista miehistön virheelliselle käsitykselle tilanteesta,
- sekä vaikeudesta ymmärtää ohjaustilan vaihtumista, joka ei suojaa kohtauskulmalta. (BEA 2012, 200–201.)

4.1 Sääolosuhteet

AF447:n kohtalonyön aikana lentoreitti kulki pasaatituulten kohtaamisvyöhykkeellä (engl. Intertropical Convergence Zone (ITCZ)). ITCZ on trooppinen sääalue, joka sijaitsee päiväntasaajan tuntumassa ja tunnetaan voimakkaista ukkosmyrskyistä. ITCZ:n myrskyt eroavat tavallisista myrskyistä siinä, että ne syntyvät laajoista konvektiovyöhykkeistä, joissa lämmin, kostea ilma nousee nopeasti ylemmäs troposfääriin yläosiin. Tropopausin korkeus tällä alueella voi olla jopa 60 000 jalkaa, mikä tarkoittaa, että myrskyt voivat kehittyä niin korkealle, ettei niiden ylittäminen ole mahdollista kaupallisella matkustajakoneella. (Palmer 2013, 42.)

ITCZ-myrskyjen erityispiirteisiin kuuluu, että ne näkyvät huonosti sääutkassa ja sisältävät vähän salamointia, mikä vaikeuttaa niiden vaarallisuuden visuaalista tai instrumenttipohjaista arviointia, etenkin yöaikaan. AF447:n tapauksessa myrskyalueen visuaalinen havaitseminen oli lähes mahdotonta, sillä kuunvalo ei valaissut aluetta, ja ukkospilvet eivät tuottaneet havaittavaa salamointia. Satelliittikuvista ja lentoradasta käy ilmi, että kone teki vain pienen poikkeaman kurssiltaan ennen myrskyn kohtaamista, mikä oli liian pieni välttämään vaarallisimmat kohdat. (Palmer 2013, 43.)

Yksi keskeisimmistä teknisistä ongelmista turmassa oli Pitot-putkien jäätyminen, joka aiheutti ilmanopeusmittarien toimintahäiriön ja autopilotin pois kytkeytymi-

sen. Yleisesti ottaen Pitot-putket on varustettu lämmityksellä, mutta AF447:n tapauksessa tämä ei riittänyt. Bill Palmerin (2013) mukaan ilmiö selittyy ns. graupel-jääkiteillä, eli lumirakeilla, jotka syntyvät, kun alijäätäneet vesipisarat osuvat lumihiuksiksi. Nämä hiukkaset ovat merkittävästi tiheämpiä kuin lumi ja kykenevät tunkeutumaan Pitot-putken sisään muodostaen fyysisen esteen, jota lämmitys ei ehdi sulattaa ennen kuin tukos muodostuu. Ilmiötä tukee äänitallenteista havaittu ääni, jossa kiteet iskeytyvät rungon pintaan noin 20 sekuntia ennen autopilotin poiskytkemistä. (Palmer 2013, 49.)

Palmerin mukaan Pitot-putkien testausmenettely ei täysin kata tämänkaltaisia ääriolosuhteita: testit tehdään eri korkeuksilla ja jääkiteiden koostumukset voivat poiketa todellisesta tilanteesta. (Palmer 2013, 50.)

Lentäjien keskustelu St. Elmon tulesta ja jääkiteiden äänistä viittaa siihen, että miehistö tunnisti vaaran merkkejä, mutta eivät saaneet muodostettua selkeää yhtenäistä tilannekuvaa. (Palmer 2013, 49.) St. Elmon tuli on harvinainen sääilmiö, jossa sinertävä tai violetinsävyinen hehku ilmestyy terävien esineiden kärkiin, kuten laivojen mastoihin tai lentokoneiden siipien kärkiin. Ilmiö syntyy, kun ilma on voimakkaasti varautunut sähköisesti. (Skybrary 2025.)

4.2 Pitot-putkien tukkeutuminen

Pitot-putki on ranskalaisen Henri Pitotin alun perin 1700-luvulla kehittämä laite, jonka modernisoituja versioita käytetään lentokoneissa mittaamaan ilman kokonaispainetta, joka muunnetaan lentonopeudeksi. A330-koneessa näitä putkia on kolme, ja ne sijaitsevat lentokoneen nokan alaosassa. Putket lämpenevät automaattisesti, kun moottorit käyvät tai kone on lennossa. Tämä sulkee pois mahdollisuuden, että niiden lämmitys olisi voinut olla vahingossa pois päältä AF447:n lennolla. (Palmer 2013, 60–61.)

Vuoteen 2009 mennessä käytössä oli kolmea eri Pitot-putkimallia: Thales AA, Thales BA ja Goodrich HL. Air France 447 oli varustettu alkuperäisillä Thales AA-putkilla. Onnettomuuden jälkeen suoritetuissa tuulitunnelikokeissa selvisi, että

Thalesin AA-putki oli erityisen altis tukkeutumaan jääkiteiden vaikutuksesta, verrattuna, Thales BA ja Goodrichin HL-putkiin. (Palmer 2013, 67–68.)

Air France oli jo ennen onnettomuutta tietoinen ongelmista, joita liittyi Thales AA-putken tukkeutumisiin. Tällaisia Pitot-putkien tukkeutumisia oli raportoitu Air Francella useita vuosien 2008 ja 2009 aikana ennen onnettomuutta. Airbus suosittelee jo vuonna 2007 siirtymistä BA-malliin, mutta Air France ei toteuttanut muutosta systemaattisesti. Ensimmäinen muutos toteutettiin vain kaksi päivää ennen AF447:n onnettomuutta, ja kohtalon sattumaa oli, että turmakoneeseen uudet Thales BA Pitot-putket oli tarkoitus asentaa perillä Pariisissa. (Palmer 2013, 66–67.)

4.3 Pitot-staattisen-järjestelmän toiminta ja sen häiriöt

Pitot-staattinen järjestelmä määrittää lentokoneen ilmanopeuden ja korkeuden mittaamalla kokonaispainetta (dynaaminen paine + staattinen paine) sekä pelkkää staattista painetta. Dynaaminen paine, joka kuvaa ilmapirran nopeutta suhteessa koneeseen, saadaan vähentämällä staattinen paine Pitot-putken mittaamasta kokonaispaineesta. Näiden arvojen perusteella lasketaan muun muassa kalibroitu ilmanopeus (CAS), Mach-luku, staattinen ja todellinen ilman lämpötila (SAT ja TAT) sekä todellinen ilmanopeus (TAS). (Palmer 2013, 68–69.)

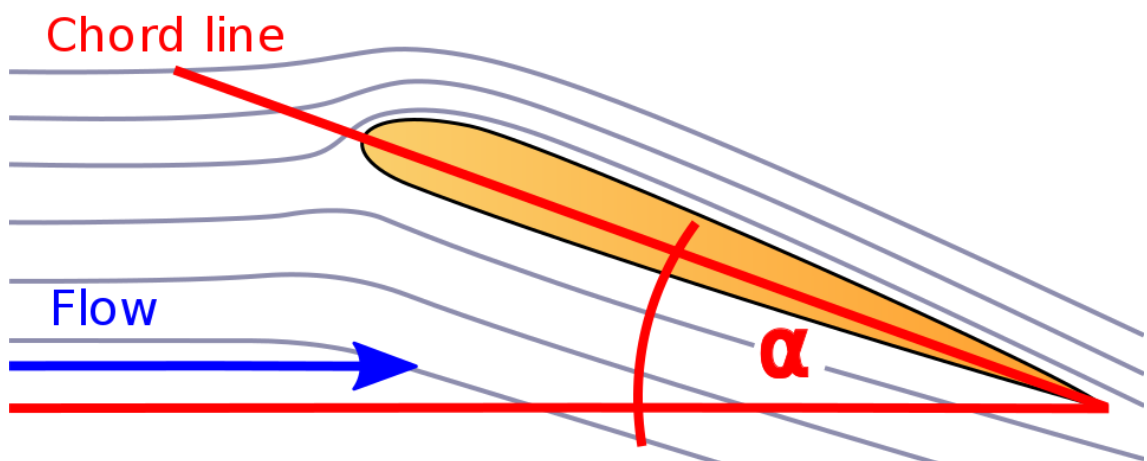
Ilmanopeuden ja korkeuden mittaustulokset syötetään edelleen inertianavigointijärjestelmälle (IR), joka laskee muun muassa tuulen nopeuden, maanpinnan suhteen mitatun nopeuden sekä pystynopeuden. Näin saatuja arvoja käytetään lentonäyttöissä kuten PFD:ssä (engl. Primary Flight Display). (Palmer 2013, 69.)

Anturien sijoittelussa pyritään mahdollisimman tarkkaan mittaukseen koko koneen suorituskuoren alueella, mutta esimerkiksi staattisten paineporttien sijoittelu runkoon aiheuttaa aina jonkin verran paikallisia virheitä. Nämä virheet huomioidaan lentotestauksessa ja niistä johdetut korjauskertoimet ohjelmoidaan lentotietokoneisiin. (Palmer 2013, 68.)

AF447:n tapauksessa A330-200-mallin rungossa staattiset paineportit sijaitsevat siiven etupuolella rungon alaosassa, mikä aiheutti mittausvirheitä suurilla kohtauskulmilla. Tämä johti siihen, että vaikka tukkeutuminen lopulta poistui Pitot-putkista, lentokoneen suuri kohtauskulma aiheutti häiriöitä staattiseen porttiin. Järjestelmä tulkitsi ilmanopeuden lähes olemattomaksi. Kun perämies laski nokkaa, kohtauskulma pieneni, jolloin staattinen portti toimi jälleen normaalisti, mikä puolestaan laukaisi sakkauksen varoituksen. Näin varoitus aktivoitui epäintuitiivisesti juuri silloin, kun perämies toimi oikein. Tämä saattoi johtaa siihen, että perämies alkoi mieluummin vetää nokkaa ylöspäin, sillä silloin varoitusta ei tullut. (Palmer 2013, 122–123.)

4.4 Sakkkaus

Lentokoneen lentonopeudelle on alaraja, jonka alittaminen johtaa sakkaukseen. Mitä hitaammin kone liikkuu, sitä suurempi kohtauskulma (engl. Angle of attack, (AOA)) vaaditaan nostovoiman säilyttämiseksi. Kohtauskulma muodostuu siiven jänteen (engl. Chord line) ja suhteellisen ilmvirran suunnan välille (engl. Flow) (kuva 2). Toisin sanoen se kuvaa, kuinka jyrkästi siipi kohtaa ilmvirran. Kohtauskulman kasvaessa siipi tuottaa enemmän nostetta, mutta samalla myös enemmän indusoitua vastusta. (Skybrary 2025.) Kun kohtauskulma ylittää kriittisen arvon (tyypillisesti n. 15 astetta merenpinnan tasolla), ilmvirta ei enää virtaa siipien yli sujuvasti vaan muuttuu turbulentiksi. Tämä johtaa nostovoiman äkilliseen vähenemiseen, ilmiö tunnetaan sakkauksena. (Palmer 2013, 80–81.)



Kuva 2 Kohtauskulma α (Wikimedia Commons 2017)

Sakkaus aiheuttaa ohjattavuuden heikkenemistä ja koneen tärinää. Lentäjien peruskoulutuksessa opetetaan, että kone sakkaa aina tietyssä kohtauskulmassa, riippumatta nopeudesta tai korkeudesta. Tämä pitää paikkansa normaalissa lentotoiminnassa matalammilla korkeuksilla, mutta korkealla lennettäessä tilanne on monimutkaisempi. Sakkauksesta palautuminen edellyttää kohtauskulman pienentämistä työntämällä nokkaa alas. (Palmer 2013, 81.)

Suurilla nopeuksilla puolestaan kohtaavat lentokoneen rakenteelliset rajat. Näitä rajoja ovat suora ilmanopeusraja sekä Mach-lukuraja. Jälkimmäinen liittyy siihen, milloin siiven ympärillä oleva ilmavirtaus saavuttaa äänennopeuden, mikä aiheuttaa shokkiaaltoja, nostovoiman vähenemistä ja voimakkaan vastuksen kasvun, ilmiö tunnetaan nimellä Mach buffet. (Palmer 2013. 81–82.)

Vanhemmissa koneissa tämä saattoi johtaa Mach tuck -ilmiöön, jossa nostovoiman painopiste siirtyy taaksepäin ja aiheuttaa äkillisen syöksyn. Uudemmat koneet, kuten A330, käyttävät superkriittistä siipiprofiilia, joka kehitettiin NASA:n toimesta vuodesta 1965 alkaen. Nämä profiilit vähentävät merkittävästi shokkiaaltojen muodostumista ja mahdollistavat paremman ohjattavuuden suuremmilla Mach-luvuilla ilman dramaattista vastuksen kasvua. (Palmer 2013. 81–82.)

Vaikka nämä ominaisuudet tekevät lentokoneista turvallisempia, ne voivat myös johtaa siihen, että lentäjät eivät aina hahmota tarkasti, kuinka lähellä he ovat aerodynamiikan rajoja. Superkriittisten siipien ominaisuudet ja niiden vaikutus esimerkiksi Mach buffetin vähenemiseen eivät ole aina laajalti tunnettuja lentäjien keskuudessa. (Palmer 2013. 82–83.)

4.5 Sakkaus ja sen erityispiirteet suurilla korkeuksilla

Sakkauksen ymmärtäminen on keskeistä turvallisen lentotoiminnan kannalta, erityisesti suurilla nopeuksilla ja korkeuksilla. Kun lentonopeus laskee, siiven on tuotettava enemmän nostetta, mikä vaatii suurempaa kohtauskulmaa. Korkeilla Mach-luvuilla tilanne monimutkaistuu: kriittinen kohtauskulma pienenee merkittävästi ilman puristuvuuden vaikutuksesta. Esimerkiksi A330-lentokoneella Mach

0.3:ssa sakkauksen varoitus annetaan noin 10 asteen kulmassa, mutta Mach 0.82:ssa jo neljän asteen kohdalla. (Palmer 2013, 83–84.) Tämä tekee sakkauksesta vähemmän intuitiivisen ja vaikeammin tunnistettavan.

Sakkauksen varoitusjärjestelmä on suunniteltu antamaan varoitus ennen varsinaista sakkaamista, mutta se ei ole täysin luotettava poikkeustilanteissa. AF447-tapauksessa ilmanopeusantureiden häiriintyminen vaikutti siihen, ettei varoitus toiminut aina oikein. Tietyissä tilanteissa järjestelmä käytti väärää Mach-lukua, jolloin varoitus ei aktivoitunut ennen kuin kohtauskulma oli kaksinkertainen todelliseen kriittiseen kulmaan verrattuna. (Palmer 2013, 83–84.)

Tehoasetuksilla on myös vaikutusta sakkauksen hallintaan. A330:n moottorien sijainti painopisteen alapuolella aiheutti tehoa lisätessä nousumomentin, mikä voi vaikeuttaa koneen nokan painamisesta alas sakkauksen purkamiseksi.

AF447-tapauksessa lentäjien tekemät lyhytaikaiset nokka-alas-ohjaukset eivät riittäneet palauttamaan hallittua lentotilaa. Vaikka kone kallistui jyrkästi alaspäin (8° horisontista), kohtauskulma laski vain vähän, pysyen yli kaksinkertaisena sakkauksen raja-arvoon verrattuna. (Palmer 2013, 84–85.)

On huomionarvoista, että onnettomuuden jälkeen tärkeimmät viranomaiset ja valmistajat (kuten FAA, Airbus, ATR, Boeing, Bombardier ja Embraer) muuttivat koulutuslinjauksiaan. Uudessa ohjeistuksessa korostetaan nokan painamista alas ensisijaisena toimena sakkauksen purkamiseksi, ennen tehon lisäämistä. (Palmer 2013, 85–86.)

4.6 Automaatiojärjestelmän haasteet

AF447:n onnettomuus korostaa sitä, kuinka lentäjän ymmärrys automaation toiminnasta ja koneen erityispiirteistä voi olla ratkaisevaa poikkeustilanteissa. Heti kun autopilotti kytketyi pois päältä, vastuu siirtyi perämiehelle, jonka piti yhdistää lentotaitonsa, järjestelmäosaamisensa ja koneen suorituskyvyn tuntemus käytännön toiminnaksi, samanaikaisesti ja nopeasti. (BEA 2012, 17, 200–201.)

Airbus A330:n automaatio eroaa monilta osin muista siviilikoneista: ohjaus perustuu fly-by-wire-järjestelmään, missä perinteisten ohjusrattien sijaan käytetään ohjassauvoja, sekä esimerkiksi tehonsäätövipujen ja peräsintrimmin toiminnassa on enemmän automatiikkaa, kuin perinteisissä järjestelmissä. Vaikka järjestelmä on nykyaikainen ja tarjoaa erinomaisen suojan esimerkiksi sakkaukselta ja ylinopeuksilta, se edellyttää lentäjältä syvällistä ymmärrystä erityisesti silloin, kun järjestelmä ei enää toimi normaalisti. (Skybrary 2025.)

4.7 Fly-by-wire-järjestelmä ja sidestick-ohjaus

Airbus A330:n fly-by-wire-järjestelmässä lentäjien ohjausliikkeet välittyvät sähköisten signaalien kautta tietokoneille, jotka edelleen ohjaavat lentopintoja. Näitä sääntöjä, joilla tietokoneet tulkitsevat ohjausliikkeitä, kutsutaan flight control laws -säännöiksi, joista kerrotaan lisää seuraavassa osiossa. Tietokoneet on ohjelmoitu rajoittamaan ei-toivottuja ohjausliikkeitä ja tukemaan turvallista lentotoimintaa. Järjestelmä mahdollistaa lentokoneen hallittavuuden myös sellaisissa tilanteissa, joissa mekaanisesti ohjattu kone voisi olla mahdoton hallita. (Palmer 2013, 86.)

Airbus käyttää ohjauksessa sidestick-tyyppistä ohjassauvaa (kuva 3) perinteisen ohjauspyörän sijaan. Nämä ohjaamon sivuilla sijaitsevat ohjassauvat eivät ole mekaanisesti toisiinsa kytketyt, eivätkä liiku toisen mukana. Tämä aiheuttaa haasteita, koska lentäjät eivät näe tai tunne toistensa ohjausliikkeitä lennon aikana. Jos molemmat tekevät samanaikaisia liikkeitä, ohjaukset summataan, mikä voi johtaa ristiriitaisiin komentoihin ilman näkyvää vaikutusta koneen käyttäytymiseen. (Palmer, 86–87.)



Kuva 3 Airbus sidestick-ohjassauva (Wikimedia Commons 2009)

Lentäjillä on mahdollisuus ottaa yksipuolinen hallinta käyttöön takeover-painikkeella, mutta tämä toiminto on tarkoitettu vikatilanteiden hallintaa, ei ohjausvastuusta kiistelyyn. AF447-lennolla DUAL INPUT-varoitusta aktivoitui useita kertoja, mikä viittaa samanaikaisiin, osin kumoutuneisiin ohjaisliikkeisiin. (Palmer, 87–88.) Ohjainten näkymättömyys toisille lentäjille oli yksi keskeinen haaste AF447-tapauksessa. Lentäjien keskinäinen ohjausvastuun epäselvyys ja ohjaussauvojen asentojen piiloutuminen muiden lentäjien näkökentästä vaikuttivat tilanteen kehittymiseen. Esimerkiksi kapteenin oli vaikea havaita perämiehen taaksevedettyä ohjainta tilanteen kriittisellä hetkellä. (Palmer 2013, 88–89.)

4.8 Lento-ohjauslait

Airbusin lentokoneiden lentokontrollijärjestelmä perustuu niin sanottuihin ”lento-ohjauslakeihin” (engl. Flight control laws), joita hallinnoidaan useilla lentokoneen tietokoneilla. A330-lentokoneessa näitä tietokoneita on viisi: kolme primääriä (PRIM/FCPC) ja kaksi sekundaarista (SEC/FCSC), jotka ohjaavat muun muassa siivekkeitä, korkeusvakaajaa ja -peräsintä ja sivuvakaajaa. Jokainen ohjainpinta on yhteydessä useaan hydrauliseen toimilaitteeseen, mikä lisää järjestelmän luotettavuutta. (Palmer 2013, 89–90.)

Lento-ohjauslakeja on neljä päätyyppiä:

- 1) normaalitila (normal law)
- 2) vaihtoehtoinen tila (alternate law, versiot 1 ja 2)
- 3) suoratila (direct law)
- 4) varatila (backup control) (Palmer 2013, 90).

Normaalitilassa kone reagoi ohjaussauvan liikkeisiin suorituskykypohjaisesti: sama ohjaussauvalla tehty liike tuottaa aina saman liikevasteen, riippumatta ulkoisista tekijöistä, kuten ilmanopeudesta tai lentokorkeudesta. Siinä missä perinteisellä ohjauspyörällä joutuisi tekemään suurempia liikkeitä matalilla nopeuksilla ja pienempiä suurilla nopeuksilla, Airbusin fly-by-wire-järjestelmässä ohjaussauvan liikkeet pysyvät samoina molemmissa tapauksissa, koska automatiikka hu-

lehtii suorituskyvyn säilymisestä. Ohjaussauvalla tehty liikekomento muuttaa automaattisesti trimmausta siten, että lentokone ylläpitää edellisen komennon mukaista nokan asentoa tai kallistusta myös sen jälkeen, kun ohjaussauva vapautetaan takaisin keskiasentoon. Tämä vaatii pilotilta ymmärrystä järjestelmän toiminnasta, jotta esimerkiksi tuulen aiheuttamiin lentokoneen liikkeisiin ei reagoida liiallisesti. Lähtökohtaisesti normaalitilassa automatiikka pitää lentokoneen vaakaana, jolloin jokaiseen tuulen aiheuttamaan töytäisyyn ei tarvitse reagoida antamalla ohjauskomentoja. Fly-by-wire-lentokoneen ohjaamisen voikin tiivistää näin: ohjaussauvalla kerrotaan lentokoneelle mitä tehdään, ei miten se tehdään. (Palmer 2013, 90–91, 92–93).

Normaalitila sisältää myös useita suojaustoimintoja, kuten yliohjauksen eston sekä korkeus-, kallistus- ja nopeusrajoitteet. Yksi keskeinen suojatoiminto on alpha protect ja alpha max, jotka liittyvät sakkauksen estoon. Alpha protect aktivoituu ennen sakkauksen rajaa, ja alpha max määrittää suurimman sallitun kohtauskulman. Kun kohtauskulma nousee liian korkeaksi, lentokone automaattisesti säättää asentoaan estääkseen sakkauksen. Nämä suojaustoiminnot mahdollistavat pilotin lentää maksimaalisella suorituskyvyllä ilman pelkoa sakkauksesta tai rakenteiden ylikuormittumisesta. Air France 447 -lennolla siirtyminen normaalitilasta vaihtoehtoiseen tilaan kaksi (engl. Alternate Law 2) poisti nämä suojaukset käytöstä. (Palmer 2013, 91–92.)

4.9 Vaihtoehtoinen tila

Normaalitila ja sen antamien suojauksien toimiminen edellyttää, että kolmen ilmanopeusmittarin tiedoista vähintään kaksi on yhteneviä (Palmer 2013, 96). Jos näin ei ole, kuten AF447-lennolla, järjestelmä siirtyy vaihtoehtoiseen tilaan (engl. Alternate law). Tämä tuo mukanaan selkeitä muutoksia ohjattavuuteen ja suojausten menetyksiä.

Vaihtoehtoisen tilan kaksi versiota, alternate 1 ja alternate 2, eroavat toisistaan erityisesti sivuttaisliikkeen hallinnan osalta. Alternate 2:ssa ohjaus on suora ilman suojausta, ja pienikin liike voi johtaa liialliseen kallistumiseen. (Palmer 2013, 97–

98.) Tämä näkyi myös AF447 -lennolla, jossa ohjaaja kamppaili pitkään pitääkseen koneen vaakatasossa, samalla kun pystysuuntainen nousu kiihtyi vaarallisesti (Palmer 2013, 98).

AF447:n siirtyminen alternate 2:een johtui ilmanopeuden jyrkästä laskusta: nopeus putosi mittareissa 274 solmusta 52 solmuun kolmessa sekunnissa (Palmer 2013, 98–99). Nopeuden lasku ja tietojen ristiriitaisuus estivät myös ns. low speed stabilityn toiminnan. Tämä tarkoitti, että kone ei automaattisesti pyrkinyt estämään vaarallisen hidasta lentoa, vaan ohjaajan oli itse havaittava ja estettävä lähestyvä sakkaus. (Palmer 2013, 99–100.)

4.10 Lentokoneen ohjauspinnat ja trimmi

Perinteisesti lentokoneiden ohjaimet liikuttavat suoraan ohjauspintoja, mutta suuremmissa koneissa tämä tapahtuu yleensä hydraulisten tai sähköisten järjestelmien kautta. Koska voimia ei voi tuntea samalla tavalla, järjestelmiin lisätään keinokehoista vastetta, joka jäljittelee luonnollista tuntumaa. Nopeuden vaihdellessa saman ohjausliikkeen vaikutus muuttuu: suurella nopeudella tarvitaan vähemmän ohjauspinnan liikettä saman vasteen aikaansaamiseksi kuin hitaalla nopeudella. (Palmer 2013, 76.)

Korkealla lennettäessä ohjausvaste on herkempi ohuemman ilman vuoksi, mikä voi johtaa koneen liikaan ohjaamiseen, jos ohjausliikkeet ovat suuria. Tämä ei ole ongelma Airbus fly-by-wire-järjestelmän kanssa normaalitilassa, kuten jo aiemmin todettiin. Tasapainossa oleva lentokone pyrkii vakauttamaan nopeutensa trimmin avulla. Trimmaaminen tapahtuu säätämällä korkeusvakain (engl. Horizontal stabilizer) ja korkeusperäsin (engl. Elevator) tasapainoon, jolloin kone säilyttää halutun lentonopeuden ilman jatkuvaa ohjaamista. (Palmer 2013, 76–77.)

Jos kone hidastuu eikä trimmiä säädetä, nokka alkaa laskea nopeuden lisäämiseksi, ja päinvastoin. Kun nopeutta muutetaan, trimmi säädetään uuteen tasapainopisteeseen, tämä tapahtuu toistuvasti lennon aikana. Moottorien työntö-

voima vaikuttaa myös tasapainoon: koska moottorit ovat siiven alapuolella, lisääntynyt teho nostaa nokkaa, mikä vaatii uutta trimmausta. (Palmer 2013, 77–78.)

4.11 Trimmin toiminta

Airbusin fly-by-wire-järjestelmissä trimmaaminen toimii automaattisesti normaali-tilassa: järjestelmä säätää korkeusvakaajaa siten, että korkeusperäsin pysyy neutraalissa asennossa, mikä parantaa aerodynaamista tehokkuutta ja ohjattavuutta. Trimmaaminen mahdollistaa koneen tasapainottamisen eri nopeuksille ja painopisteille ilman jatkuvaa ohjausvoiman käyttöä. (Palmer 2013, 78–79.)

Vaikka manuaalinen trimmipyörä on edelleen ohjaamossa, sen käyttö on poikkeustilanteita varten. Trimmipyörä toimii mekaanisena varajärjestelmänä, joka liikuttaa vakaajaa hydraulisesti. Sen manuaalinen käyttö ohittaa automaattisen trimmin. (Palmer 2013, 78–79.)

Normaali- ja alternate law -tiloissa automaattinen trimmi toimii taustalla vaikuttamatta ohjaustuntumaan. Pilotti antaa halutun nousu- tai laskunopeuden ohjaussauvalla, ja järjestelmä säätää korkeusvakaajaa ja -peräsinä tarpeen mukaan. Esimerkiksi jos lentäjä nostaa nokkaa 15 astetta ja päästää irti ohjaussauvasta, automaattinen trimmi pitää tuon asennon, kunnes lentäjä antaa uuden ohjauskomennon. (Palmer 2013, 79–80.)

Jos automaattinen trimmi epäonnistuu, ohjeistuksen mukaan pilotti säätää korkeusvakaajan manuaalisesti ECAM-näytön tietojen perusteella. Tämä on tärkeää, jotta korkeusperäsin ei kuluta koko liikematkaansa pelkästään väärän trimmin kompensoimiseen. (Palmer 2013, 80.)

4.12 Flight director -järjestelmä

Airbus A330 -koneessa flight director-järjestelmä, eli lennonohjausjärjestelmä, muodostuu korkeus- ja kallistuspalkeista, jotka näkyvät Primary Flight Display -

näytössä (PFD) (kuva 4). Järjestelmä antaa visuaalista ohjausta siitä, mihin suuntaan lentokonetta tulisi ohjata valittujen lentotilojen perusteella. Lennohjausjärjestelmä mahdollistaa tarkan käsiohjauksen ja vähentää pilotin kuormitusta. Lennohjausjärjestelmä tarjoaa ohjausta normaalitilanteissa, mutta se ei ole luotettava esteiden väistämässä tai sakkauksen aikana. (Palmer 2013, 101–102.)

Lennohjausjärjestelmä katoaa näkyvistä automaattisesti, jos taustadataa ei ole riittävästi tai se on ristiriitaista. Se voi kadota tai vaihtaa tilaa, jos nopeus, korkeus tai kulmat ylittävät määritetyt rajat. Jos se palaa näkyviin, se jatkaa toimintaansa ohjastaen pitämään nykyistä pystynopeutta ja suuntaa. Air France 447-tapauksessa lennohjausjärjestelmä katosi nopeusmittaustietojen ristiriidan ja autopilotin poiskytketymisen vuoksi. Se palasi hetkellisesti, mutta ei antanut luotettavaa ohjausta, eikä ole selvää, yrittivätkö pilotit seurata sitä. (Palmer 2013, 103.)



Kuva 4 Lennohjausjärjestelmän korkeutta ja kallistusta ohjeistavat palkit näkyvissä keskellä PFD-näyttöä. (Wikimedia Commons 2018)

4.13 ECAM

ECAM (engl. Electronic Centralized Aircraft Monitor) koostuu kahdesta ohjaamon keskellä olevasta näytöstä. Näytöiltä saa näkymään mm. moottorin tietoja, siivekkeiden asentoja, polttoaineen määrän ja muita lentokoneen tilaan ja toimenpiteisiin liittyviä viestejä ja ohjeistuksia. Näytöllä esitetään myös lentokoneen viat, varoitukset ja niihin liittyvät toimenpiteet. Ensimmäiset ECAM-viestit AF447-lennolla liittyivät autopilotin ja automaattisen tehonsäädön poiskytketymiseen sekä

siirtymiseen alternate law -lento-tilaan. Miehistö ehti lukea vain osan viesteistä ennen kuin ECAM:n seuraaminen ilmeisesti keskeytyi kokonaan. (Palmer 2013, 105–109.)

Viimeiset ECAM-viestit ilmoittivat PRIM 1:n ja SEC 1:n nollaamisesta, joka ei ollut osa virallisia toimenpiteitä. Nollaaminen oli improvisoitu korjausyritys, joka ei vaikuttanut mihinkään. (Palmer 2013, 110–111.)

4.14 Autothrust-järjestelmä

Airbusin autothrust, eli automaattinen tehonsäätö eroaa muista valmistajista, kuten Boeingista, siten että Airbusin tehonsäätövivut eivät liiku automaattisesti moottorinohjauksen mukaan. Pilotin tulee itse sijoittaa vivut tiettyihin kohtiin (engl. Detents), kuten climb, MCT (engl. Maximum Continuous Thrust) tai TOGA (engl. Take-Off/Go-Around), joiden sisällä teho säätyy automaattisesti. (Palmer, 2013, 111–113.)

Kaasuvivut asetetaan yleensä Climb-kohtaan ja jäävät siihen suurimman osan lennosta. Jos automaattinen tehonsäätö epäonnistuu, järjestelmä siirtyy thrust lock -tilaan, jolloin teho pysyy siinä arvossa, missä se oli vikatilanteen sattuessa, eikä muutu tehonsäätövivun sen hetkisen asentoon. ECAM-järjestelmä varoittaa tästä viestillä: "THRUST LOCK, THR LEVERS ... MOVE". (Palmer, 2013, 113.)

Alpha floor -toiminto tarjoaa ylimääräisen suojan valitsemalla automaattisesti TOGA-tehon, kun järjestelmä havaitsee suuren kohtauskulman riskin. Tämä toimii vain normaalissa lennonhallintatilassa (normal law) ja vain kun automaattinen tehonsäätö on toiminnassa. AF447:n tapauksessa tämä suoja ei ollut käytettävissä. (Palmer 2013, 113.)

Seitsemän sekuntia ennen autopilotin ja automaattisen tehonsäädön poiskytketymistä, miehistö oli vähentänyt moottoritehoa lievän turbulenssin vuoksi. Tämän seurauksena moottoriteho jäi 84 %:iin, ja pysyi siinä, kun järjestelmä siirtyi thrust

lock -tilaan. Vasta 15 sekuntia myöhemmin ohjaajat painoivat automaattisen tehonsäädön poiskytkentäpainiketta, jolloin teho nousi climb-asetukseen. (Palmer 2013, 113–114.)

Noin minuutti tapahtumien alusta, perämies siirsi kaasuvivut *TOGA*-asentoon. Hän totesi: ”Minulla on kaasu *TOGA*:ssa, vai?”, mikä viittaa hänen mahdolliseen väärinkäsitykseensä: *TOGA* yhdistettiin hänen mielessään lähtöön tai nokan nostamiseen. Hän ei näyttänyt ymmärtävän, että sakkaus oli kohtauskulmaongelma, ei tehon puutteesta johtuva ongelma. Tämä saattoi johtaa virhearvioon, jossa odotettiin *TOGA*-tehon ratkaisevan tilanteen yksinään. (Palmer 2013, 114–115.)

4.15 Inhimilliset tekijät

AF447-lennon onnettomuuteen vaikuttivat olennaisesti inhimilliset tekijät. Vaikka sääolosuhteet ja Pitot-putkien tukkeutuminen loivat onnettomuuden lähtökohdan, suurin tragedia oli ohjaajien kyvyttömyys hallita konetta kriittisen ensimmäisen minuutin aikana, kun ilmanopeustietoja ei ollut. (Palmer 2013, 144.)

4.15.1 Stressi, väsymys ja kuormitus

AF447-lennon miehistön toiminta tuo esiin lentoturvallisuuden kannalta keskeisen ulottuvuuden: inhimillisen suorituskyvyn rajoitteet korkean stressin, väsymyksen ja ylikuormituksen tilanteissa. Heti autopilotin poiskytkemisen jälkeen tilanne muuttui äkillisesti monimutkaiseksi. Instrumenttilukemat ja koneen käyttäytyminen eivät vastanneet toisiaan, ja miehistö joutui toimimaan ilman visuaalisia viitteitä tai yksiselitteistä käsitystä lentotilasta. (Palmer 2013, 147–148.)

Tutkimuksissa tunnistetut ylikuormituksen aikaiset ilmiöt, kuten tunnelinäkö, kuulon osittainen sulkeutuminen, hienomotoriikan menetys ja irrationaalinen toiminta, näkyivät erityisesti perämiehen toiminnassa. Useat hälytykset, kuten autopilotin katkeamisen äänimerkki, toistuva sakkausvaroitusta ja ECAM-viestit, loivat

tilanteen, jossa ärsykkeiden määrä ylitti käsittelykyvyn. Tämä johti ilmeiseen reagoitakyvyn heikkenemiseen sekä mekaaniseen ja toistuvaan, mutta virheelliseen ohjaamiseen. (Palmer 2013, 148–150, 157–158.)

Väsymyksen vaikutus oli myös selvästi havaittavissa. Varalentäjä oli aiemmin tarjonnut perämiehelle mahdollisuutta levätä, viitaten mahdolliseen väsymyksen havaitsemiseen. Perämies kieltäytyi, mutta myöhemmin sekä hänen että kapteenin kommentit viittasivat unen puutteisiin: ”En nukkunut viime yönä tarpeeksi. Yksi tunti, ei riitä”. (Palmer 2013, 155–156.) Unenpuute yhdistettynä yölliseen työaikaan ja korkean stressin tilanteeseen altistaa virhearvioinneille. Tutkimusten mukaan 17 tunnin valvominen vastaa noin 0,5 promillen humalatilaa, mikä vaikuttaa suoraan päättelykykyyn ja tarkkaavaisuuteen. (Palmer 2013, 158.)

Hätätilanteissa toiminta perustuu usein koulutuksesta opittuun muistijälkeen eikä luovaan ongelmanratkaisuun. Tässä tapauksessa perämiehen koulutuksen pohjalta automatisoitu reaktio sakkausvaroitukseen oli TOGA-tehon asettaminen. Tämä toimi matalilla korkeuksilla, mutta ei ollut tehokas ratkaisumalli 38 000 jalan korkeudessa, jossa moottoreista ei saada riittävästi lisätyöntövoimaa. Oikea ratkaisukeino olisi ollut nokan painaminen alas kohtauskulman vähentämiseksi. (Palmer 2013, 150–151, 158.)

Miehistön keskusteluista ilmenee selkeästi sekavuus. Komennot, kuten ”Ollaan menossa ylös, ei kun alas”, ja kysymykset kuten ”Mitä täällä tapahtuu?”, osoittavat, että yhtenäistä ymmärrystä koneen tilasta ei ollut. Kolmen pilotin kokoonpano ei myöskään tuottanut tehokasta yhteistyötä tai kriittistä tarkastelua: kaikki kolme vaikuttivat hämmentyneiltä ja kykenemättömiltä tekemään oikeita toimenpiteitä ajoissa. (Palmer 2013, 152–154)

4.15.2 Muut miehistön tilannetietoisuutta mahdollisesti häirinneet tekijät

Muita miehistön tilannetietoisuutta mahdollisesti häirinneitä tekijöitä oli välittömästi Pitot-putkien jäätyminen jälkeen tapahtunut lentotietokoneiden suorittama korkeuden uudelleen laskenta, mikä sai korkeusmittarin näyttämään äkillistä 300

jalan korkeudenmenetystä ja laskunopeudeksi 600 jalkaa minuutissa. Se sai mahdollisesti perämiehen vaistomaisesti aloittamaan nokan nostamisen samalla kun hän yritti korjata koneen kallistumaa ohjaamalla vasemmalle. (Palmer 2013, 70.)

Myöhemmin myös lennonohjausjärjestelmä opasti pitämään nokkaa ylhäällä, koska se oli siirtynyt korkeudenpitotilaan (engl. Altitude hold mode), ja opasti pitämään sen hetkistä nousunopeutta, mikä oli peräti 6000 jalkaa minuutissa (Palmer 2013, 13–14).

Yksi tapauksen jälkipyykissä usein mainittu asia on sakkausvaroituksen epäjohdonmukainen toiminta (Palmer 2013, 119). Klo 02:11:45 kohtauskulma ylitti 45 astetta, jolloin sakkausvaroitus hiljeni. Mittareiden näyttämä ilmanopeus putosi 40 solmuun, minkä seurauksena tietokoneet tulkitsivat ilmanopeustiedon epäluotettavaksi. Tässä vaiheessa epäluotettava ilmanopeustieto ei johtunut enää Pitot-putkesta, vaan äärimmäisen suuresta kohtauskulmasta. Tällöin Pitot-staattinen järjestelmä ei pystynyt mittaamaan luotettavasti ilmanopeutta, koska Pitot-putkeen ja staattiseen aukkoon kohdistui lähes yhtä suuri ilmanpaine samasta kulmasta. Tämä esti järjestelmää havaitsemasta tarvittavaa paine-eroa nopeuden mittaamiseksi. Kun koneen nokkaa laskettiin myöhemmin, kohtauskulma laski, minkä seurauksena mittareiden näyttämä ilmanopeus nousi, ja sakkausvaroitus aktivoitui uudelleen. Myöhemmin nokkaa nostettiin taas, ja kohtauskulma kasvoi jälleen, mikä johti sakkausvaroituksen hiljenemiseen. (Palmer 2013, 123.) Tämä saattoi kannustaa miehistöä nostamaan nokkaa, koska tällöin epäintuitiivisesti sakkausvaroitusta ei kuulunut, vaikka todellisuudessa nokan nostamisen oli se syy, miksi lentokone oli jatkuvasti syvässä sakkauksessa.

Sakkauksessa lentokone alkaa tärisemään. Sakkauksen aiheuttama värinä talentui myös mustiin laatikoihin (Palmer 2013, 121). Perämies totesi klo 02:12:04: ”Minusta tuntuu, että meillä on joku ihan hullu nopeus, vai mitä mieltä olet?”, tämä todistaa, että perämies ajatteli ainakin tuossa vaiheessa lentokoneen lentävän liian nopeasti kaikista aikaisemmista sakkausvaroituksista huolimatta, ja hän jopa käytti hetkellisesti spoilereita jarruttaakseen konetta tuossa vaiheessa (Palmer 2013, 123).

Sakkausvaroitusta on keinotekoinen ääni, joka sanoo englanniksi ”STALL, STALL, STALL”. Äänen lisäksi kuuluu sirkuttava hälytysääni ja punainen varoitusvalo syttyy molempien lentäjien edessä. Toisin kuin monissa muissa matkustajalentokoneissa, Airbusin sakkausvaroitusta ei aiheuta tärinää tai muuta tuntumaa ohjaimissa. Merkillepantavaa on, että varoitus on pääosin kuuloaistin varassa, lukuun ottamatta yleistä varoitusvaloa. Korkean stressitilanne voi aiheuttaa kuulohavainnoinnin laskua, minkä takia lentäjät saattoivat jättää äänen huomioimatta. (Palmer 2013, 119.)

4.16 Epäselvän nopeustiedon muistinvaraiset toimenpiteet

Air Francella oli jo ennen onnettomuutta olemassa selkeät toimenpiteet, jotka piti suorittaa muistinvaraisesti, jos nopeustieto menetettäisiin. Skenaarion nimi oli epäselvä nopeustieto (ransk. ”IAS DOUTEUSE”), ja sen toimenpiteiden harjoittelu oli sisällytetty kaikkien Air Francen lentäjien koulutukseen vuosina 2008 ja 2009. Harjoittelu oli tosin tehty ainoastaan matalilla lentokorkeuksilla, koska se nähtiin vaarallisemmaksi skenaarioksi maan läheisyyden takia, ja jonka takia koulutuksessa painotettiin työntövoiman lisäämistä ja nokan nostamista. (BEA 2012, 120.) Air Francen epäselvän nopeustiedon koulutuksissa myöskään autopilotti ei poiskytkeytynyt, ohjauksen normaalitila säilyi, eikä ohjaamossa kuulunut hälytysääniä (BEA 2012, 121). Lentäjien mieleen saattoi jäädä tuosta koulutuksesta työntövoiman lisääminen ja nokan nostaminen ensisijaisena toimenpiteenä sakkauksesta poistumiseen, mikä pitää paikkansa matalilla lentokorkeuksilla, mutta ei korkealla, missä oikea toimenpide on ainoastaan laskea nokkaa.

5 POHDINTA

Air France 447:n onnettomuus paljasti karulla tavalla, kuinka haavoittuva lentokoneen ja miehistön muodostama järjestelmä voi olla tilanteessa, jossa automaatio lopettaa yllättäen tehtäviensä tekemisen ja lentäjien tilannetietoisuus romahuttaa äkillisen tilanteen edessä. Tässä osiossa vastataan opinnäytetyön kahteen tutkimuskysymykseen edellä käydyn tutkimusaineiston perusteella: 1. kuinka lentokoneen automaatiojärjestelmän ja lentäjien välinen vuorovaikutus vaikutti Air France 447 -onnettomuuden kehittymiseen? 2. miten hyvin onnettomuus tukee James T. Reasonin reikäjuustomallia lento-onnettomuuksien analysoinnissa?

5.1 Kuinka lentokoneen automaatiojärjestelmän ja lentäjien välinen vuorovaikutus vaikutti Air France 447 -onnettomuuden kehittymiseen?

Automaation ja lentäjien välinen vuorovaikutus oli yksi keskeisimmistä tekijöistä AF447 -onnettomuuden kehittymisessä. Lentokone siirtyi manuaaliohjaukseen autopilotin poiskytkettyä Pitot-putkien jääntymisen takia. Tämä siirtymä tapahtui yllättäen, mikä horjutti miehistön tilannetietoisuutta.

Lentäjien reaktiot osoittivat, että heillä ei ollut riittävää ymmärrystä automaation logiikasta. Automaatio toimi kuten vikatilanteessa pitääkin, mutta lentäjät eivät osanneet reagoida tilanteeseen oikein. Esimerkiksi kun lentokone siirtyi vaihtoehtoiseen ohjaustilaan, lentäjien olisi pitänyt ymmärtää, että ohjaamisen suojaustoiminnot poistuivat ja ohjauskomennoista tuli muutenkin herkempiä, mikä lisäsi riskiä menettää lentokoneen hallinta. Koska miehistö ei ymmärtänyt, ettei suojaustoimintoja enää ollut, he tekivät virheellisiä ohjausliikkeitä ennen sakkaustilannetta ja sakkaustilanteen vallitessa. Tämä näkyi esimerkiksi siinä, että ohjaava pilotti piti jatkuvasti ohjaussauvaa taaksevedettynä, eli nosti koneen nokkaa, vaikka kone oli sakkaustilassa, josta olisi pitänyt poistua laskemalla nokkaa. Normaalityltilassa ohjaussauvan vetäminen ei olisi aiheuttanut sakkausta, vaan automatiikka olisi säätänyt koneen parhaaseen mahdolliseen nousukulmaan. Vaihtoehtoisessa tilassa ohjaussauvan veto sen sijaan vain ylläpiti sakkaustilaa. Lisäksi nokan nostaminen aiheutti niin suuren kohtauskulman, että sakkausvaroitukset lopuivat kokonaan Pitot-staattisen ja kohtauskulma-antureiden häiriöiden vuoksi.

Tässä vaiheessa Pitot-putket olivat jo sulaneet, joten ainoat häiriöt johtuivat enää liian suuresta kohtauskulmasta. Tämä johti siihen, että sakkausvaroitusta palasi takaisin hälyttämään aina silloin, kun miehistö toimi hetkellisesti oikein, eli laski nokkaa, mikä saattoi vaikeuttaa tilanteen hahmottamista entisestään, sekä mahdollisesti lisäsi miehistön halua jatkaa nokan nostamista, koska tällöin varoitusta ei kuulunut. Myös lennonohjausjärjestelmä ohjeisti ajoittain pitämään nokkaa yllä, mikä saattoi vaikuttaa miehistön ajatteluun. Myös sidestick-ohjaussauvojen puutteellinen näkyvyys ohjaajien välillä heikensi kokonaiskuvan hahmottamista, sillä lentäjät eivät nähneet tai havainneet toistensa ohjaustoimia. Esimerkiksi kapteeni ymmärsi perämiehen vetäneen ohjaussauva kaiken aikaa taaksepäin vasta silloin, kun perämies itse mainitsi asiasta.

Vuorovaikutus automaatiojärjestelmän ja lentäjien välillä oli heikkoa ja se vaikutti onnettomuuden kehittymiseen seuraavilla tavoilla:

- Lentäjät eivät tunnistanee, että automaatio oli kytkeytynyt pois päältä, eivätkä he havainneet suojaustoimintojen heikentymistä ja siihen liittyviä riskejä.
- Puutteellinen käsitys automaatiojärjestelmän toimintalogiikasta: lentäjät eivät tieneet miksi tietyt automaation osa-alueet lopettivat toimintansa ja miten silloin tulisi toimia (autopilotti, ohjaustilat ja automaattinen tehonsäätö) ja milloin automaatioon ei voi luottaa (korkeustiedon epävarmuus nopeustiedon epävarmuuden aikana, sakkausvaroituksen epäjohdonmukaisuudet, lennonohjausjärjestelmän epäjohdonmukaisuudet).
- Lentäjien koulutus ja kokemus manuaaliohjauksesta korkealla lentokorkeudella oli riittämätöntä, jolloin tilanteen hallinta vaikeutui. Manuaaliohjaukseen tarvittiin vuorovaikutustaitoja automaation kanssa, jotta esimerkiksi ohjauskomennot olisivat turvallisia vaihtoehdoisen tilan aikana.
- Automaatiojärjestelmän antamat varoitukset olivat epäselviä ja sekavia, esimerkiksi sakkausvaroituksen hiljentymisen nokkaa nostaessa, mikä vaikeutti oikean tilannekuvan muodostamista ja heikensi vuorovaikutusta automaatiojärjestelmän ja lentäjien välillä entisestään.

Tapaus osoittaa selvästi, että automaatio voi vapauttaa lentäjän rutiinitehtävistä, mutta samalla se myös vaatii uutta osaamista ja kykyä ymmärtää, milloin automaatioon ei voi enää luottaa ja milloin ihmisen on otettava aktiivinen rooli. AF447

osoitti, että ilman tätä osaamista automaatiosta voi muodostua turvallisuutta heikentävä tekijä.

5.2 Miten hyvin Air France 447 -tapaus tukee James T. Reasonin reikäjuustomallia lento-onnettomuuksia analysoidessa?

AF447-onnettomuus tukee erinomaisesti James T. Reasonin reikäjuustomallin periaatteita. Onnettomuuteen ei johtanut yksittäinen virhe, vaan useiden toisiinsa kytkeytyneiden tekijöiden yhteisvaikutus, juuri kuten reikäjuustomalli ennustaa.

Latentit virheet olivat nähtävissä organisaation tasolla: Thalesin AA-Pitot-putkien tunnetut heikkoudet, joiden vaihto nykyaikaisempiin malleihin oli viivästynyt; miehistön puutteellinen koulutus korkealla tapahtuvan sakkauksen käsittelystä. Näitä virheitä ei havaittu tai korjattu ajoissa.

Aktiiviset virheet syntyivät ohjaamossa: väärät ohjausliikkeet, epäselvä roolijako, kommunikaation puute sekä tilannetietoisuuden romahdus. Nämä virheet osuivat ”juustoviipaleiden reikien” kohdalle ja pääsivät tapahtumaketjun etenemään ilman katkaisua onnettomuuteen.

James T. Reasonin reikäjuustomalli toteutui tässä tapauksessa selvästi: mallin avulla voidaan nähdä, miten yksittäiset suojauskerrokset, kuten koulutus, suunnittelu, automaation ja ihmisen vuorovaikutus, ohjaamotyöskentely, kaikki pettivät yhtä aikaa. Virheitä oli niin teknisellä, organisatorisella kuin yksilönkin tasolla. Juuri tämä tekee reikäjuustomallista tehokkaan työkalun tämänkaltaisten monimutkaisten onnettomuuksien ymmärtämiseen ja AF447:n tapaus tukee reikäjuustomallia lento-onnettomuuksia analysoitaessa erinomaisesti.

5.3 Ehdotukset jatkotutkimukselle

Vaikka Air France 447:n tapaus on tutkittu laajasti, muutamat kysymykset ansaitsevat edelleen tarkempaa huomiota. Esimerkiksi edelleen kaivataan syvempää ymmärrystä, miten lentäjien henkiset ja fysiologiset tekijät, kuten stressin hallinta ja kognitiivinen kuormitus, vaikuttivat kriittisissä poikkeustilanteissa tapahtuvaan päätöksentekoon. Myös lentäjien vuorovaikutusta automaation kanssa tulisi tutkia tarkemmin, erityisesti sitä kuinka lentäjien havainto- ja reagointikykyä voidaan ylläpitää pitkillä lennoilla, jolloin lentäjät ovat pitkään passiivisessa tarkkailuroolissa.

LÄHTEET

- Airbus. 2023. Flight Training. Viitattu 9.5.2025.
https://aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2023-10/20230121_ext_flighttrainingbrochureupdate_v5.pdf
- Aviation Safety Network. A330 Accidents. Viitattu 5.5.2025.
<https://asn.flightsafety.org/asndb/type/A330>
- BEA. 2012. Final Report. On the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris. Viitattu 5.5.2025.
https://aaiu.ie/sites/default/files/FRA/BEA%20France%20Accident%20Airbus%20A330-203%20F-GZCP%20AF447%20Atlantic%20Ocean%2001-06-2012_opt.pdf
- EASA. 2025. Easa and you. Viitattu 9.5.2025.
<https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/easa-and-you>
- Endsley, M. 2004. Designing for Situation Awareness. An Approach to User-Centered Design. 2. painos. Boca Raton, FL: CRC Press.
- FAA. 2007. Human Factors Handbook. Viitattu 9.5.2025.
https://www.faasafety.gov/files/gslac/courses/content/258/1097/AMT_Handbook_Addendum_Human_Factors.pdf
- FAA. 2025. Mission. Viitattu 9.5.2025.
<https://www.faa.gov/about/mission>
- FAA. 2025. The Role of Human Factors in the FAA. Viitattu 12.5.2025.
<https://www.hf.faa.gov/role.aspx>
- IATA. 2024. Interactive Safety Report. Viitattu 5.5.2025.
<https://www.iata.org/en/publications/safety-report/interactive-safety-report/>
- ICAO. 2025. About ICAO. Viitattu 9.5.2025.
<https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>
- ICAO. 2025. ICAO Global Aviation Safety Plan. Viitattu 9.5.2025.
<https://www.icao.int/safety/GASP/Pages/Home.aspx>
- Kanki, B., Helmreich, R., & Anca, J. 2010. Crew Resource Management. 2. painos. Yhdysvallat: Elsevier Inc.
- Kierzkowski, P. 2007. Air France A330-203 F-GZCP lands at Paris-Charles de Gaulle Airport. – The aircraft was destroyed in Air France Flight 447. Kuva. Katsoitu 16.5.2025.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PKIERZ-KOWSKI_070328_FGZCP_CDG_crop.jpg

Michael32710. 2017. Airfoil in airflow. Showing angle of attack α . Katsottu 16.5.2025.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SketchAngleOfAttack.svg>

Naddsy. 2009. Airbus A380 cockpit zoom on sidestick. Katsottu 26.5.2025.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Airbus_A380_cockpit_zoom_on_sidestick.JPG

Norris, G. & Wagner, M. 2001. Airbus A340 and A330. Yhdysvallat: MBI Publishing Company.

NTSB. 2000. Controlled Flight Into Terrain Korean Air Flight 801. Viitattu 25.3.2025.

<https://www.nts.gov/investigations/accidentreports/reports/aar0001.pdf>

NTSB. 2006. Attempted Takeoff From Wrong Runway Comair Flight 5191. Viitattu 25.3.2025.

<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR0705.pdf>

NTSB. 2018. Left Engine Failure and Subsequent Depressurization Southwest Airlines Flight 1380. Viitattu 25.3.2025.

<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR1903.pdf>

Numberwatch. 2001. The risk of travel. Viitattu 9.5.2025.

https://www.numberwatch.co.uk/risks_of_travel.html

Orasanu, J. & Fischer, U. 1997. Finding decisions in natural environments: The view from the cockpit. Yhdysvallat: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Our World In Data. 2024. Fatal airliner accidents per million commercial flights. Viitattu 24.3.2025.

<https://ourworldindata.org/grapher/fatal-airliner-accidents-per-million-flights>

Prayitno, H., Ekohariadi, E., Cholikh, M., Suprianto, B., & Qiram, I. 2023. Impact of Flight Simulator Training on Enhancing Situational Awareness among Aviation Vocational Education Cadets. Viitattu 9.5.2025

https://www.researchgate.net/publication/376838453_Impact_of_Flight_Simulator_Training_on_Enhancing_Situational_Awareness_among_Aviation_Vocational_Education_Cadets

Roelen, A., Lin, P., Hale, A. 2010. Accident models and organisational factors in air transport: The need for multi-method models. Viitattu 9.5.2025. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0925753510000366>

Sheldor 2000. Attitude Indicator With FD. Katsottu 26.5.2025.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Attitude_indicator_with_FD.png

SKYbrary. 2025. Angle of Attack (AOA)

<https://skybrary.aero/articles/angle-attack-aoa>

SKYbrary. 2025. Cockpit Automation – Advantages and Safety Challenges. Viitattu 16.5.2025.

<https://skybrary.aero/articles/cockpit-automation-advantages-and-safety-challenges>

SKYbrary. 2025. Crew Resource Management. Viitattu 5.5.2025.

<https://skybrary.aero/articles/crew-resource-management-crm>

SKYbrary. 2025. Fly-By-Wire. Viitattu 9.5.2025.

<https://skybrary.aero/articles/fly-wire>

SKYbrary. 2025. Human Error Types. Viitattu 14.5.2025.

<https://skybrary.aero/articles/human-error-types>

Skybrary. 2025. St Elmo's Fire. Viitattu 9.5.2025.

<https://skybrary.aero/articles/st-elmos-fire>

Traficom. 2025. Suomen ilmailun turvallisuuspolitiikka. Viitattu 12.5.2025.

<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/ilmailu/suomen-ilmailun-turvallisuusohjelma?toggle=Suomen%20ilmailun%20turvallisuuspolitiikka>

Wiegmann, D. & Shappell, S. 2003. A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System. Yhdysvallat: Ashgate Publishing Company.

Wise, J., Hopkin, V., & Garland, D. 2010. Handbook of Aviation Human Factors. 2. painos. Boca Raton, FL: CRC Press.