

Helena Valdmees

LENTO-ONNETTOMUUDET, NIIDEN SYYT JA ENNALTAEHKÄISY

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Helmikuu 2025

TIIVISTELMÄ

Helena Valdmees: Lento-onnettomuudet, niiden syyt ja ennaltaehkäisy
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Tammikuu 2024

Vaikka lentäminen on nykypäivänä turvallisin matkustusmuoto ja ilmailualalla tapahtuu hyvin vähän onnettomuuksia, on tärkeää huomioida historian tapahtumat. Onnettomuuksista oppiminen on yksi tärkeimpiä keinoja edistää turvallisuutta ja ennaltaehkäistä uusia samanlaisia onnettomuuksia. Lento-onnettomuudet ja niihin liittyvät tekijät valikoituivatkin tutkielman aiheeksi syystä oppia ymmärtämään niitä paremmin. Myös aiheen ajankohtaisuus maailmalla tapahtuneiden onnettomuuksien vuoksi herätti mielenkiinnon.

Tässä tutkielmassa perehdytään lento-onnettomuuksiin siviili-ilmailussa. Tutkimuksella vastataan kolmeen tutkimuskysymykseen, joita ovat miten lento-onnettomuudet määritellään ja kuinka paljon niitä tapahtuu, mitkä ovat yleisimmät syyt lento-onnettomuuksille sekä miten lento-onnettomuuksia voidaan ennaltaehkäistä. Kysymyksiin vastataan kuvailevan kirjallisuuskatsauksen muodossa.

Tutkimuksessa selvisi odotetustikin, että lento-onnettomuudet ovat vähentyneet huomattavasti siviili-ilmailun yleistymisen alkupäästä nykypäivään siirtyen. Tärkeää oli kuitenkin huomata, että vaikka tekniikka ja koulutus ovat kehittyneet ei onnettomuuksista olla kuitenkaan päästy täysin eroon. Onnettomuuksien määrä lennettyjä lentoja kohden on kuitenkin monin kerroin vähentynyt, johon yhtenä edesauttajana voidaan pitää onnettomuuksien tutkimuksista saatuja tuloksia. Onnettomuuksien syitä tutkiessa todettiin erilaisten inhimillisten syiden olevan suurin tekijä lento-onnettomuuksissa. Näiden lisäksi kuitenkin huomattiin myös lentokoneiden moottoreiden herkkyys vaurioitumiselle sekä laadukkaiden suunnittelu-, testaus- ja rakennustöiden merkitys laitteistojen rikkoutumisen ennaltaehkäisijöinä. Laitteistojen vaurioitumisen ennaltaehkäisyyn todettiin myös olevan suuri vaikutus huollolla ja säännöllisillä tarkastuksilla, jotka ovat ilmailualalla perinteisesti jo hyvin korkealla tasolla.

Tämän tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan osata vielä ennaltaehkäistä moniakaan onnettomuuksia aiheuttavia tekijöitä. Suositeltavaa olisikin suorittaa jatkotutkimuksia onnettomuustekijöiden ennaltaehkäisykeinojen selvittämiseksi ja testaamiseksi. Ilmailualan turvallisuuden parantaminen on jatkuva ja hyvin tarpeellinen prosessi sen laajan mittakaavan vuoksi.

Avainsanat: Lento-onnettomuus, onnettomuustekijät, ennaltaehkäisy.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
 Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: [Listaa tähän kaikki tekoälysovellukset ja niiden versiot, joita olet käyttänyt tutkielmaprosessin aikana.]

Käyttötarkoitus: [Kuvaa tähän yksityiskohtaisesti, mihin tarkoitukseen ja miten tekoälyä on sovellettu opinnäytteeseen tutkielmaprosessin aikana.]

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: [Luettele tähän kaikki opinnäytteen vaiheet ja osiot, joissa tekoälyä on tutkielmaprosessin aikana käytetty.]

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. LENTO-ONNETTOMUUDET	3
2.1 Lento-onnettomuuden määritelmä	3
2.2 Onnettomuuksien statistiikka	4
3. YLEISIMMÄT SYYT LENTO-ONNETTOMUUKSILLE	8
3.1 Inhimilliset tekijät onnettomuuden aiheuttajana	9
3.2 Laitteistovika onnettomuuden aiheuttajana	10
3.3 Esimerkkejä onnettomuuksista	11
4. LENTO-ONNETTOMUUKSIEN ENNALTAEHKÄISY	14
4.1 Inhimillisten tekijöiden vähentäminen ja eliminoiminen	14
4.2 Laitteistovikojen vähentäminen ja eliminoiminen	15
5. POHDINTA	16
6. YHTEENVETO	19
LÄHTEET	21

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BEA	rans. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile, Ranskan siviili-ilmailuturvallisuusvirasto
ECAM	engl. Electronic Centralized Aircraft Monitor, keskitetty elektroninen monitori
IATA	engl. International Air Transport Association, Kansainvälinen ilmakuljetusliitto
ICAO	engl. International Civil Aviation Organization, Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö
NTSB	engl. National Transportation Safety Board, Yhdysvaltain kansallinen liikenneturvallisuuslautakunta

1. JOHDANTO

Nykypäivänä vuosittain matkustaa useita miljardeja ihmisiä lentäen (Our World in Data 2023). Vaikka lentäminen onkin turvallisin matkustusmuoto, ei onnettomuuksilta vältytä vielä tänäkään päivänä kokonaan (IATA 2018). Ilman onnettomuuksia lentämisen turvallisuus ei kuitenkaan voisi olla nykyisellä tasollaan, sillä jokaisesta onnettomuudesta opitaan edelleen jotakin uutta.

Tässä tutkielmassa perehdytään lento-onnettomuuksiin ja niiden määritelmiin sekä yleisiin onnettomuuteen johtaneisiin syihin esimerkkitapausten kera. Lisäksi tutkielmassa selvitetään keinoja ennaltaehkäistä lento-onnettomuuksia. Tutkimuksen tekemisen aikana on tapahtunut useita uusia lento-onnettomuuksia, joiden vuoksi aihe on hyvin ajankohtainen. Tapahtumien johdosta yleisten tilastojen ja syiden tutkimisen rinnalle lisättiin myös ennaltaehkäisy.

Tutkielmassa käsiteltävät onnettomuudet ja onnettomuuksiin liittyvät tilastot on rajattu siviili-ilmailuun. Ajanjakso on rajattu kattamaan onnettomuudet siviili-ilmailun yleistymisestä lähtien nykypäivään asti. Maantieteellistä rajausta tutkimukselle ei ole tehty, sillä tavoitteena on saada yleispäteviä vatsauksia. Tutkielmalla pyritään siis vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

K1. Mikä on lento-onnettomuuden määritelmä ja kuinka paljon niitä tapahtuu?

K2. Mitkä ovat yleisimmät syyt lento-onnettomuuksille?

K3. Miten lento-onnettomuuksia voidaan ennaltaehkäistä?

Tämä tutkimus on suoritettu kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tarkoittaa tutkittavaan ongelmaan liittyvän aikaisemman tutkimuksen ja kirjallisuuden kriittistä ja tiivistä erittelyä, jonka pohjalta tehdään omia päätelmiä (Mannila 2013). Lähteinä käytetään tarkoitukseen soveltuvia artikkeleita ja raportteja. Tiedonhaku on suoritettu pääosin Andorissa sekä Google Scholarissa.

Tutkielmassa käsitellään ensimmäisenä yleisesti lento-onnettomuuksia määrittelemällä onnettomuus ja tämän jälkeen tutkitaan onnettomuustilastoja eri pituisilta ajanjaksoilta. Kolmannessa luvussa perehdytään erilaisiin onnettomuustekijöihin tarkemmin erittelemällä inhimilliset onnettomuus tekijät ja laitteistoviat. Inhimilliset ja laitteistovialliset onnettomuustekijät jaetaan vielä edelleen yleisimmin esiintyviin alaluokkiin ja tutustutaan

esimerkkitapauksiin. Ennen pohdinnat ja yhteenveto -lukua tutkitaan vielä mahdollisia onnettomuuksia ennaltaehkäiseviä menetelmiä.

2. LENTO-ONNETTOMUUDET

Lentämisestä on tullut maailman turvallisin matkustusmuoto (Li et al. 2023). Kuitenkin onnettomuuden sattuessa ilmailussa, se on useimmiten tuhoisa ja monia henkiä vaativa. Onnettomuuksien tilastoja ylläpidetään kansainvälisten organisaatioiden kuten IATA:n (engl. International Air Transport Association, Kansainvälinen ilmakuljetusliitto) ja ICAO:n (engl. International Civil Aviation Organization, Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö) sekä johtavien lentokoneenvalmistajien, kuten Airbusin ja Boeingin, toimesta. Yleisten onnettomuuksien määrän lisäksi tilastoja pidetään myös esimerkiksi onnettomuuteen johtaneista syistä. (Das & Dey 2016) Ymmärtääksemme paremmin mitkä kaikki tapaukset sisältyvät analysoitavaan dataamme, perehdytään ensin lento-onnettomuuden määritelmään ja vasta tämän jälkeen käsitellään onnettomuuksien tilastoja.

2.1 Lento-onnettomuuden määritelmä

Lento-onnettomuus on määritetty kansainvälisen siviili-ilmailun yleissopimuksen liitteen 13 mukaan seuraavasti (ICAO Annex 13 2024):

”Lento-onnettomuus on lentokoneen toimintaan liittyvä tapahtuma, joka miehitetyn lentokoneen tapauksessa tarkoittaa aikaväliä, kun koneessa on yksikin ihminen aikomuksenaan lentää kyseisellä koneella. Miehitämättömän lentokoneen tapauksessa tapahtuma tapahtuu aikavälillä, kun lentokone alkaa liikkua lentämisaikaisissa ja se pysähtyy lennon päätyttyä ja sen päävoimalähde on sammutettuna. Näillä aikaväleillä sattunut tapahtuma on lento onnettomuus, jos:

a) henkilö kuolee tai loukkaantuu vakavasti seurauksena:

- lentokoneessa olemiselle, tai
- suorassa kosketuksessa mihin tahansa lentokoneen osaan olmiselle, mukaan lukien lentokoneesta irronneeseen osaan, tai
- suorassa suihkuvirran altistuksessa olemiselle,

pois lukien luonnollisista syistä johtuvat, itse tai toisen henkilön aiheuttamat ja salamattomilla esiintyvät vammat; tai

b) lentokone vaurioituu tai siinä ilmenee rakenteellinen vika, joka:

- on haitallinen lentokoneen rakenteelliselle lujuudelle, suorituskyvyille tai lento-ominaisuuksille, ja

- vaatisi normaalisti merkittäviä korjauksia tai vaurioituneen osan vaihtoa, pois lukien yhden moottorin viat ja vauriot, potkureihin, siiven kärkiin, antenneihin, antureihin, renkaisiin, jarruihin, suojuksiin, paneeleihin, laskutelineuukkuihin, tuulilaseihin ja lentokoneen pintaan kohdistuvat vauriot, pienet vauriot pääroottorin lapoihin, peräroottorin lapoihin ja laskutelineisiin sekä lintutörmäyksen tai raekuuron aiheuttamat pienet vauriot; tai

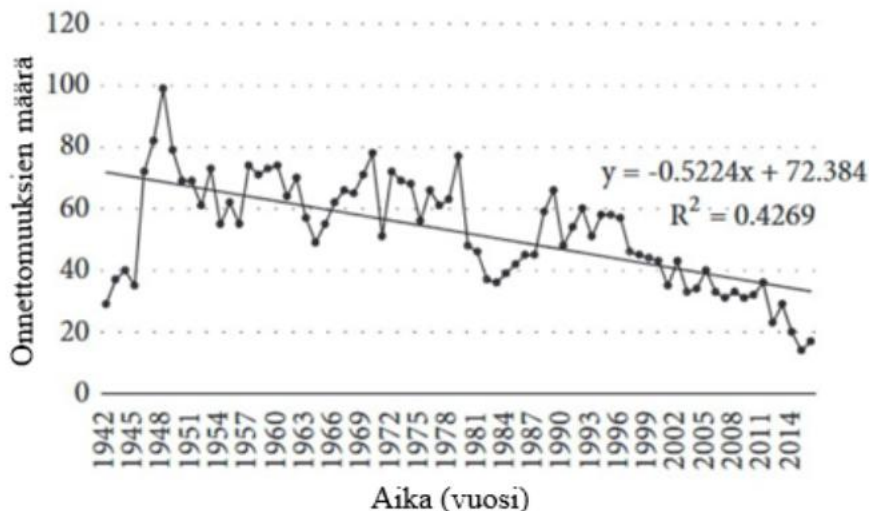
c) lentokone on kateissa tai täysin saavuttamattomissa.” (ICAO Annex 13 2024)

Tässä työssä käsiteltävät onnettomuudet noudattavat pääosin virallisen määritelmän ehtoja. Tutkimuksen ulkopuolelle jätetään kuitenkin miehittämättömät lentokoneet. Tutkimuksessa käsiteltävät onnettomuudet ovat siis yksinkertaisesti kuvailtuna ihmishenkiä tavalla tai toisella vaatineita tai vaarantaneita, lentokoneen rakenteeseen merkittäviä vaurioita aiheuttaneita tai lentokoneen katoamiseen johtaneita tai saavuttamattomaan paikkaan saattaneita.

2.2 Onnettomuuksien statistiikka

Tässä alaluvussa tutustutaan lento-onnettomuuksien määrään ja laatuun tarkemmin saatavilla olevan datan kautta. Statistiikkaa on sekä pidemmältä ajalta että myös aivan lähimenneisyydestä. Luvussa tarkastellaan pitkän ajan sekä myös viimeisimmän viiden vuoden onnettomuuksien kehitystä paremman tilannekuvan saamiseksi. Pitkänajan kehitystä tarkastellaan ajanjaksolla 1942–2014 ja lyhyen ajan kehitystä vuosien 2019 ja 2023 välillä.

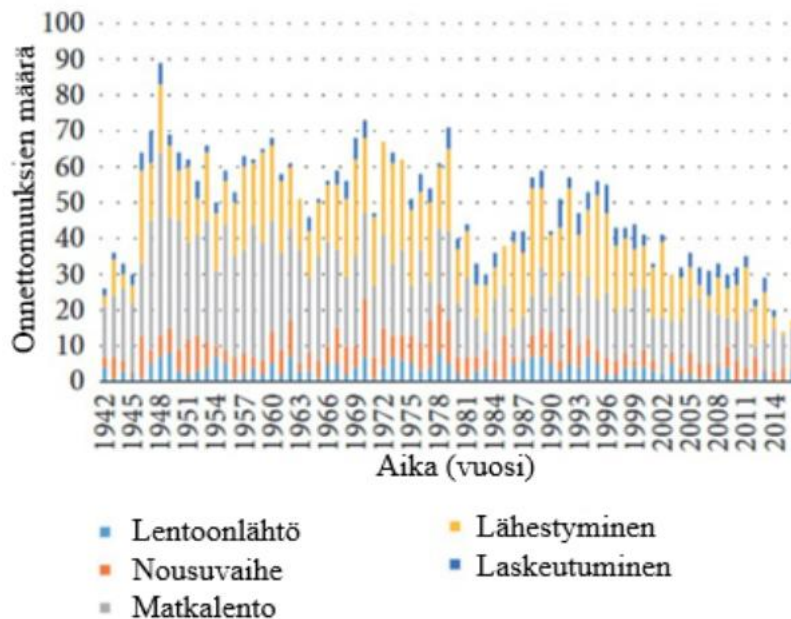
Lento-onnettomuuksien esiintyvyyttä tarkastellaan kuvassa 1, jonka kuvaajassa esitetään sekä vuosittainen esiintyvyys, että tarkasteltavan ajanjakson lineaarinen kehitys. Kuvasta huomataan, että onnettomuuksien määrä on selkeästi laskussa. Tämä voidaan selittää lentokoneiden teknisellä kehityksellä ja ilmailualan henkilökunnan koulutuksen paranemisella. (Li et al. 2019)



Kuva 1 Globaalit siviili-ilmailuonnettomuudet vuosien varrella (muokattu lähteestä Li et al. 2019)

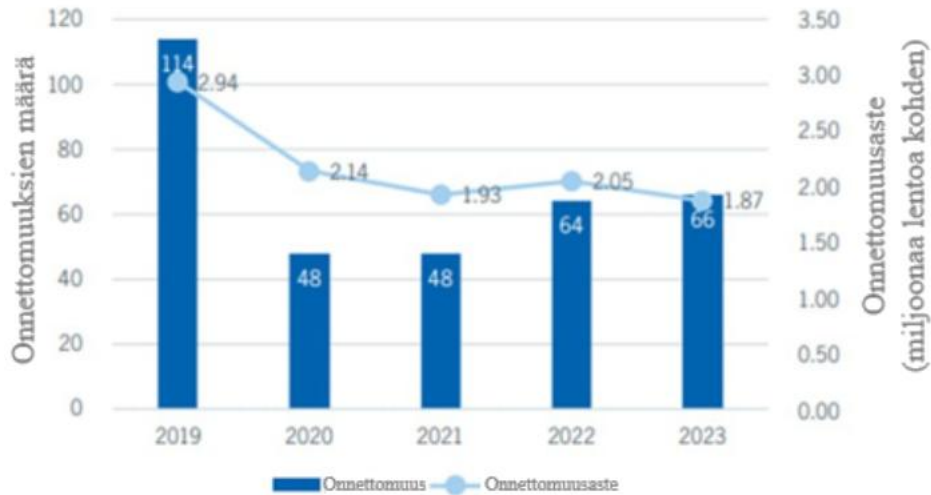
Tarkemmin kuvaa 1 tarkastellessa huomataan kahdessa kohtaa, vuosien 1942–1948 ja 1983–1989 välillä, suurempi lisäys onnettomuuksien vuosittaisessa määrässä. Kumpaa-kin periodia seuraa pidemmät ajanjaksot, jolloin onnettomuuksien määrä väheni. Kasvuvaiheita vertaillaessa huomataan, että jälkimmäisellä ajanjaksolla kasvun huippu jää huomattavasti alemmaksi kuin ensimmäisen kasvuvaiheen huippu.

Onnettomuuksien esiintyvyydestä on mielekästä tarkastella, missä lennon vaiheessa onnettomuudet tapahtuvat. Näin saadaan kuva siitä, mitkä lennon vaiheet ovat riskialtimpia. Kuvassa 2 olevasta kuvaajasta nähdään vuosien 1942 ja 2014 välisellä ajalla tapahtuneiden onnettomuuksien ajoittuminen lennoille. Kuvasta huomataan, että matkalennossa (engl. En-route) tapahtuneiden onnettomuuksien määrä on laskussa, kun taas lähestymisvaiheessa (engl. Approach) ja lentoonlähdössä (engl. Take-off) tapahtuvien onnettomuuksien määrä on pysynyt pitkälti samana. Tämä voidaan selittää sillä, että lähestymisvaiheessa ja lentoonlähdössä tapahtuvat onnettomuudet ovat useimmiten olosuhteista kuten jäätymisestä tai tuuliväärteestä johtuvia, eivätkä ole ratkaistavissa teknologisella kehityksellä. (Li, 2019)



Kuva 2 Onnettomuuksien määrä eri lennon vaiheissa (muokattu lähteestä Li et al. 2019)

Viimeisin ICAO:n turvallisuusraportti on julkaistu vuonna 2024, jossa esitellään edellisen vuoden siviili-ilmailun yhteenveto. Kuvassa 3 on kyseisen raportin viimeisen viiden vuoden onnettomuuksien kehityksen kuvaaja. Kuvassa on nähtävillä sekä onnettomuuksien puhdas määrä että myös onnettomuuksien määrä suhteessa tapahtuneisiin lentoönlähtöihin eli onnettomuusaste. Kuvaajasta voidaan huomata suuri ero vuoden 2019 ja 2020 onnettomuuksien lukumäärän välillä, mutta melko pieni ero onnettomuusasteessa. Tämä selittyy globaalilla pandemialla, jonka johdosta lentomatkestaminen väheni (ICAO Safety Report 2024). Vuosi 2023 on ollut kyseisellä viiden vuoden ajanjaksolla onnettomuusasteen perusteella turvallisin vuosi, vaikka onnettomuuksien määrä onkin hieman kasvanut alimpaan nähden.



Kuva 3 Lento-onnettomuuksien määrä ja aste vuosina 2019–2023 (muokattu lähteestä ICAO Safety Report 2024)

Kaikkien edellä tarkasteltujen tilastojen valossa voidaan todeta lentoturvallisuuden parantuneen huomattavasti vuosien saatossa. Ilmailun yleistymisen ja tekniikan kehityksen myötä säädökset ovat tiukentuneet ja lentokoneeseen voi nykypäivänä istua hyvinkin rauhallisin mielin. Saatavilla olevien tilastojen perusteella voidaan myös ennustaa onnettomuuksien määrän kehityksen jatkavan laskua.

3. YLEISIMMÄT SYYT LENTO-ONNETTOMUUKSILLE

Lento-onnettomuuksia tarkastellessa on hyvä perehtyä myös niiden syihin. Vaikka usein onnettomuuteen johtaa useamman tekijän yhteensattuma, voidaan useimmiten pääsyy kuitenkin tunnistaa. Tarkastellaan seuraavaksi esimerkkiä vuosien 1990 ja 2006 välisellä ajalla tapahtuneiden onnettomuuksien pääsyytä.

Taulukosta 4 nähdään, että tarkasteltavalla ajanjaksolla lentäjän virhe (engl. Pilot error) on yleisin syy onnettomuudelle. Tämä kategoria, kuten myös muut kategoriat, voidaan edelleen jakaa erilaisiin alasyihin, joita on lentäjän virheen tapauksessa esimerkiksi taidon puutteeseen tai virheelliseen päätöksentekoon. Toiseksi eniten onnettomuuksia aiheuttava tekijä on laitteistovika (engl. Equipment failure) ja kolmanneksi muut luokittelemattomat syyt (engl. Other).

Taulukko 1 Onnettomuuksien pääsyytä vuosina 1990–2006 (muokattu lähteestä Oster et al. 2010)

Onnettomuuden syy	Matkustajien kuolemat		Kuolemaan johtaneet onnettomuudet		Lennolla olleiden matkustajien kuolleiden osuus
	Määrä	Osuus	Määrä	Osuus	
Lentäjän virhe	5928	34 %	278	40 %	65 %
Laitteistovika	4694	27 %	158	23 %	72 %
Muut tekijät	2150	12 %	134	19 %	93 %
Ympäristötekijät	1751	10 %	71	10 %	71 %
Terrorismi/Rikollisuus	1308	7 %	30	4 %	62 %
Toinen lentokone	907	5 %	14	2 %	100 %
Lennonjohto	443	3 %	9	1 %	87 %
Maa/matkustamohenkilökunnan virhe	303	2 %	4	1 %	92 %
Turbulenssi (Turvavyön puute)	2	0 %	2	0 %	0.3 %

Tarkastellaan seuraavaksi omissa alaluvuissa inhimillisiin onnettomuustekijöihin ja erilaisia onnettomuuksia aiheuttavia laiterikkoja. Tarkastellaan hieman niiden määritelmiä ja esiintyvyyksiä. Viimeiseksi tutustutaan esimerkkitapauksiin sekä inhimillisestä virheestä että laitteistoviasta. Esimerkkitapaukset ovat oikeita onnettomuuksia, joiden tutkinta on jo loppunut ja raportit ovat julkisesti saatavilla.

3.1 Inhimilliset tekijät onnettomuuden aiheuttajana

Edellisessä kohdassa todettiin inhimillisten onnettomuustekijöiden, erityisesti lentäjän virheen, olevan suurin lento-onnettomuuksien syy. Inhimillisiä onnettomuustekijöitä ovat määritelmän mukaan kaikki ne ihmisen suorittamat toimet, jotka eivät ole ennalta sovitun ja hyväksytyyn käytänteen mukaisia (Kharoufah et al. 2018). Seuraavaksi perehdytään erilaisiin inhimillisiin tekijöihin tarkemmin.

Uupumus

Uupumus on yksi suurimmista ja kriittisimmistä inhimillisistä tekijöistä lento-onnettomuuksissa. Jopa yli 4 % kaikista ilmailun onnettomuuksista ja vaaratilanteista johtaa juurensa miehistön uupumukseen. Yleisimmin uupumus esiintyy uneliaisuutena, kognitiivisena hitautena ja keskittymisvaikeuksina. Uupumuksen johdosta mm. lentomiehistön ongelmanratkaisukyky, reaktionopeus ja -tarkkuus sekä fyysiset kyvyt alenevat merkittävästi vaarantaen lennon turvallisuutta ja mahdollista onnettomuuksia. (Kharoufah et al. 2018)

Kommunikaatio

Kommunikaatio ja sen puute ovat yksi inhimillisistä tekijöistä lento-onnettomuuksissa ja vaaratilanteissa. Kommunikointiin liittyvät ongelmat voivat esiintyä monissa eri muodoissa. Lentoa edeltävän käskynjaon (engl. preflight briefing) puutteellisuus, standardointimenetelmien ymmärtämättömyys ja teknisen sanaston yhtenemättömyys ovat esimerkkejä kommunikointiin liittyvistä tekijöistä onnettomuuksien aiheuttajina. (Kharoufah et al. 2018) Kommunikaation puute tai informaation väärin välittyminen johtaa lentäjien välillä keskenään ristiriidassa olevaan tilannetietoisuuteen (Krivonos 2007).

Tilannetietoisuus

Tilannetietoisuus tarkoittaa lentäjän sisäistämää mielenmallia vallitsevasta ympäristöstä ja tilanteesta. Korkealla tasolla olevan tilannetietoisuuden ylläpitäminen on yksi kriittisimmistä lentäjän tehtävistä, sillä sen perusteella tapahtuu lennon operointi. Tilannetietoisuuteen voi mm. vaikuttaa työkuorma, stressi ja systeemien monimutkaisuus. (Endsley 1999)

Tilannetietoisuutta voidaan tarkastella yksilöllisesti yhden lentäjän näkökulmasta tai kahdesta tai useammasta jäsenestä koostuvan miehistön näkökulmasta. Paremmen kuvan lennon tilasta antaa miehistön yhteisen tilannetietoisuuden tarkastelu. Se voi olla jaettua

tai osittain päällekkäistä. Jaetussa tilannetietoisuudessa miehistön kaikki jäsenet jakavat täysin saman kuvan tilanteesta, kun taas päällekkäisessä tilannetietoisuudessa osa tilannekuvasta on jaettua ja osa tiedosta eroaa miehistön jäsenten välillä. (Kharoufah et al. 2018)

3.2 Laitteistovika onnettomuuden aiheuttajana

Kuten aikaisemmin todettiin, niin laitteistoviat ovat toiseksi suurin lento-onnettomuuksia aiheuttava tekijä. Laitteistolla tarkoitetaan tässä tapauksessa koko lentokonetta ja sen rakennetta. Näin ollen laitteistovika tarkoittaa mitä tahansa lentokoneen rakenteeseen tai operationaalisiin kykyihin vaikuttavaa vikaa. Yleisimmin laitteistovikoja esiintyy, kun kuormankantokyky ylittyy. Kuormankantokyvyn ylittyminen voi aiheutua esimerkiksi suunnitteluvirheistä, materiaalin mikrorakenteen puutteellisista ominaisuuksista tai korroosiosta. (Findlay & Harrison 2002)

Kuvassa 5 esitellään vuosien 1990 ja 2006 välisellä ajalla tapahtuneiden laitteistoviasta johtuvien onnettomuuksien jakaantumista. Huomattavasti eniten kuolemaan johtaneita onnettomuuksia on kyseisellä ajalla aiheuttaneet moottoriviat. Lisäksi onnettomuuksia aiheutui mittaristo- ja sähkövioista sekä rakenteellisesta rikkoutumisesta. Molempien kategorioiden onnettomuuksia on tarkasteltavalta ajalta kirjattu vajaa 20 ja henkilövahinkoja ne aiheuttivat kummatkin hieman yli tuhat.

Taulukko 2 Onnettomuuteen johtaneiden laitteistovikojen jakautuminen vuosina 1990–2006 (muokattu lähteestä Oster et al. 2010)

Onnettomuuden syy	Matkustajien kuolemat		Kuolemaan johtaneet onnettomuudet		Lennolla olleiden matkustajien kuolleiden osuus
	Määrä	Osuus	Määrä	Osuus	
Moottorivika	1913	41 %	101	64 %	64 %
Mittaristo-/sähkövika	1139	24 %	19	12 %	81 %
Mittaristo CFIT	221	5 %	3	2 %	100 %
Laskutelineet/renkaat	165	4 %	8	5 %	65 %
Rakenteet	1067	23 %	18	11 %	78 %
Muut	189	4 %	9	6 %	63 %

Moottorivika

Vuosien 1990 ja 2006 välillä moottorivika on ollut syynä jopa kahteen kolmasosaan laitteistovian aiheuttamista lento-onnettomuuksista. Moottorivialla tarkoitetaan mitä tahansa

lentoalähdössä tai matkalennossa tapahtuvaa tehonlähteen vaurioitumista. Tämä sisältää vauriot potkureihin, moottorin sisäisiin osiin, turboihin, induktoreihin, polttoainesäiliöstä alavirrassa oleviin polttoaineputkiin ja moottorin ohjaimiin sekä muut kuin ennen lentoa havaittavissa olevat polttoaineen saastumat. Myös vahingoittuneen apuvoimantalteen aiheuttamat onnettomuudet kuuluvat tähän kategoriaan. (Oster et al. 2010)

Mittaristoon liittyvät viat

Toisiksi eniten onnettomuuksia vuosina 1990–2006 aiheutti yleiset mittariston sähköviat. Mittaristolla tarkoitetaan tässä tapauksessa kaikkia miehistön käytettävissä olevia mittareita pois lukien polttoainemittari. Tällaisia mittareita ovat esimerkiksi korkeus- ja nopeusmittarit. Yleisellä mittariston sähkövialla tarkoitetaan mitä tahansa mittariston viikaantumista muun kuin induktorin sähkövian vuoksi. Näiden lisäksi mittaristoviat aiheuttivat kyseisinä vuosina myös hallittuja maastoon lentoja (CFIT engl. controlled flight into terrain), jotka olivat seurausta heikentyneessä näkyvyydessä sattuneille laitteiston viikaantumisille. (Oster et al. 2010)

Rakenteelliset viat ja vauriot

Lentokoneen rakenteellisilla vioilla ja vaurioilla tarkoitetaan koneen rakenteeseen kuten siipiin tai ohjainpintoihin kohdistuvia vikoja ja vaurioita (Oster et al. 2010). Yleisimmin vauriot syntyvät materiaalin väsymisen vuoksi. Väsyminen tapahtuu kolmessa vaiheessa. Väsymishalkeama voi alkaa muodostua esimerkiksi, kun kuormitus keskittyy materiaali- tai suunnitteluvirheen kohdalle. Tämän jälkeen tapahtuu halkeaman progressiivista syklistä kasvua. Viimeiseksi halkeaman saavuttaessa kriittisen koon, jossa muu materiaali ei enää pysty kannattelemaan kuormaa, halkeama muuttuu repeämäksi ja osa rikkoutuu lopullisesti. Kuormituskeskittymän lisäksi materiaalin väsymistä edistää myös ympäristölliset tekijät, lämpötila ja erilaiset materiaalin ominaisuudet. (Findlay & Harrison 2002)

3.3 Esimerkkejä onnettomuuksista

Konkreettisemmän ymmärryksen saamiseksi erilaisista onnettomuustekijöistä on hyvä tarkastella muutamaa esimerkkitapausta. Seuraavaksi tutustutaan kahteen onnettomuuteen, joissa voidaan havaita selkeitä piirteitä määrittelemistämme onnettomuustekijöistä. Inhimillisen tekijän esimerkkinä toimii Air Francen lento 447 ja laitteistorikon esimerkkinä on Northwest Airlinesin lento 85.

Esimerkki inhimillisestä tekijästä onnettomuudessa

Miehistön tilannetietoisuuden ja -ymmärryksen katoamisesta sekä kommunikoinnin puutteesta voidaan hyvänä esimerkkinä pitää Air Francen lentoa 447, joka putosi Atlantin valtameren 1. kesäkuuta 2009. Kyseiseen onnettomuuteen vaikutti monta tekijää, mutta miehistön välistä tilannetajuttomuutta ja kommunikoinnin puutteellisuutta voidaan pitää yhtenä sinetöivistä tekijöistä. (BEA 2012)

Air Francen onnettomuuden laukaisevaksi tekijäksi on tutkimuksessa paikannettu pitotputkien tukkiutuminen. Tämän myötä Airbus A330 tyyppin koneen keskitettyyn elektroniseen monitoriin (ECAM engl. Electronic Centralized Aircraft Monitor) on saapunut virheellisiä nopeustietoja, minkä vuoksi autopilotti kytkeytyi pois päältä ja kone siirtyi manuaaliohjaukseen. Tämän jälkeen ECAM:iin on ilmestynyt useita virheilmoituksia, joiden selvittämiseen miehistön huomio kiinnittyi. Samaan aikaan kone joutui sakkaukseen ja alkoi vajota miehistön huomaamatta. (BEA 2012)

Lentokoneen alas putoamiseen lopulta reagoiva lentäjä ei kuitenkaan tilannetajunsa menetyksen johdosta tunnista tilannetta sakkaukseksi ja yrittää oikeaoppisen korjausliikkeen nokan alas suuntaamisen sijasta nostaa nokkaa ja saada konetta nousemaan. Tämä johtaa kuitenkin vain pahempaan sakkaukseen. Lopulta tilanteeseen avuksi liittyvä toinen lentäjä on yrittänyt laskea koneen nokkaa, mutta vastakkaisuuntaiset ohjausliikkeet kumosivat toisensa ja kone jatkoi sakaten putoamista. Miehistö ymmärtää tilanteensa kuitenkin liian myöhään ja tajuaa virheensä vasta silloin, kun ensimmäinen väärin reagoinut lentäjä kertoo toimistaan. (BEA 2012)

Tapauksessa yhdistyivät sekä olosuhteisiin ja laitteisiin liittyvät tekijät että miehistön tilannetajuttomuus ja kommunikaation puute. Lisäksi monimutkaisesti toimivilla ECAM:in vikailmoituksilla on osansa hämmennyksen aikaansaamiseksi. Kyseisestä onnettomuudesta voidaan myös huomata, mitä usean tekijä yhteisvaikutus voi saada aikaan. (BEA 2012)

Esimerkki laitteistoviasta onnettomuudessa

Laitteistoviat ilmenevät yleensä kesken lennon yllättäen. Northwest Airlinesin lennon 85 miehistö koki juuri tällaisen yllättävän laiterikon vuonna 2002. Kyseinen tapaus sattui Boeing 747 -malliselle koneelle, jonka sivuperäsin koostuu kahdesta päällekkäisestä osasta, jotka normaalisti liikkuvat yhdessä. Northwest Airlines 85 -lennon tapauksessa kuitenkin sivuperäsimen alempi osa jumittui ääriasentoon kesken matkalennon kallistaen konetta äkillisesti jopa 40 astetta vasempaan. (NTSB 2004)

Tilanteen vakavuus vaati sekä parhaillaan operoivan että myös lepotaulla olevan miehistön täyden huomion. Vikaantuneen koneen ohjaaminen vaati nelihenkiseltä miehistöltä normaalia monin kerroin enemmän fyysistä voimaa ja kekseliäitä ratkaisuja. Tärkein ratkaiseva tekijä onnistuneeseen laskuun oli koneen neljän moottorin tehojen säätäminen eri asetuksille kompensoimaan vikaantuneen sivuperäsimen kallistavaa ohjausliikettä. (NTSB 2004)

Tapauksen koneen turvallisen laskeutumisen ansiosta vikaantunutta osaa voitiin tutkia tarkasti. NTSB:n (engl. National Transportation Safety Board, Yhdysvaltain kansallinen liikenneturvallisuuslautakunta) tutkimuksissa onnettomuuden aiheuttajaksi tunnistettiin sivuperäsintä ohjaavan hydraulisen voimansäätömoduulin (PCM engl. Power control module) jakotukin päätyosan vaurioituminen. Päädyn vaurioitumisen johdosta sivuperäsimen aktuaattorin mäntä pääsi liikkumaan tarkoitettua enemmän ja jumittui epäluonnolliseen asentoon. (NTSB 2004)

Vaikka vaurioitunut osa tunnistettiin ja tapahtumien kulku selvisi, ei virallisesti tutkimuksessa koskaan selvinnyt päätykannen hajoamisen syytä. Raportissa sen arvioidaan johtuneen metallin väsymisestä. (NTSB 2004) Selvää on kuitenkin, että kyseisessä tapauksessa laitteiston vikaantumisen pahemmilta seurauksilta vältyttiin miehistön erinomaisten kykyjen ansiosta.

4. LENTO-ONNETTOMUUKSIEN ENNALTAEHKÄISY

Ilmailuteollisuudessa turvallisuus ja luotettavuus ovat hyvällä mallilla, sillä onnettomuuksia tapahtuu hyvin vähän suhteessa lentomatkustuksen volyyymiin. Tekniikan kehitys ja toimintamallien standardisoituminen ovat edesauttaneet turvallisuuden kehityksessä. Kuitenkin vielä nykypäivänäkin onnettomuuksien sattuesssa on tärkeää ottaa tapahtuneista opiksi ja löytää keinoja parantaa turvallisuutta entisestään (Oster et al. 2010). Seuraavaksi keskitytään eri onnettomuustekijöiden ennaltaehkäisyyn ja niiden vaikutusten vähentämiseen ja eliminointiin.

4.1 Inhimillisten tekijöiden vähentäminen ja eliminoiminen

Vaikka moni onnettomuus johtaakin juurensa inhimillisiin tekijöihin ja virheisiin, ei ihmistä pystytä kuitenkaan vielä kokonaan ilmailusta erottamaan. Inhimillisten virheiden määrää pystytään kuitenkin vähentämään. (Kharoufah et al. 2018) Seuraavaksi tutkitaan, miten edellä käsitellyjä inhimillisiä tekijöitä pystytään vähentämään ja eliminoimaan.

Uupumus

Aikaisemmin käsiteltiin lentäjien oikean vireystilan kriittisyyttä ja uupumuksen merkittävyyttä lento-onnettomuuksissa. Uupumuksen kehittymiseltä ei valitettavasti voida kuitenkaan kokonaan välttyä, sillä lentäminen ammattina sisältää useimmiten yövuoroja, aikaisia herätyksiä, aikaerorasitusta, aikataulupaineita, monen lennon työputkia ja työvuorojen vaihtelua ilman palauttavaa lepo. Tästä syystä väsymyksen ja uupumuksen vähentämiseen tulee löytää muita keinoja. (Kharoufah et al. 2018)

Paras tapa vähentää väsymystä ja estää suurempaa uupumista on lennonaikaiset vuoronvaihdot ja nukkumatauot. Tämä kuitenkin vaatii miehistön koon suurentamista ja erillisten lepotilojen sisällyttämistä lentokoneeseen, minkä vuoksi monet yhtiöt eivät pystytä vaihtoehtoa tarjoamaan. Toisena hyvin tehokkaana uupumusta vähentävänä vaihtoehtona voidaan pitää lennonaikaista torkkumista. Lyhytkestoisilla torkkuilla pystyy vähentämään yhtäjaksoista hereillä oloa ja vähentämään väsymyksen muodostumista. Tämä ei kuitenkaan ole kaikkien yhtiöiden hyväksymä tapa. Lisäksi väsymyksen oireita voidaan vähentää perinteisillä keinoilla kuten nauttimalla kofeiinia ja pitämällä huolta nesteytyksestä ja ravitsemuksesta. (Kharoufah et al. 2018)

Kommunikaatio

Viestin välittyminen oikein on ensiarvoisen tärkeää ilmailussa. Ilmailualan virallinen kieli on jo pitkään ollut englanti ja sillä onkin pyritty yhtenäistämään kommunikaatiota. Lisäksi alalla käytetään vakiintuneita termejä, jotka kaikkien ammattilaisten tulisi osata. Yksiselitteisillä termeillä ja kansainvälisesti puhuttavalla kielellä pyritään ennaltaehkäisemään väärinymmärrykset. (Krivonos 2007)

Olettamusten muodostuminen on myös yksi uhka ilmailuturvallisuudelle kommunikaation osalta. Vaikka useimmiten samat toimintamallit toistuvatkin normaalissa operoinnissa, ei lentäjä saisi tehdä oletuksia esimerkiksi radioviesteistä tai toisen lentäjän tekemistä toimista. Tätä pyritään ilmailussa vähentämään ja estämään ohjeiden uudelleen toistamisella ja kuittauksilla. (Krivonos 2007)

Tilannetietoisuus

Lentäjän henkilökohtaisen ja lentäjien yhteisen tilannetietoisuuden todenmukaisuuden ollessa avainasemassa lentokoneen operoinnin kannalta, on olemassa monia tapoja sen ylläpitämiseen. Tilanteen jatkuvaa tarkkailua voidaan pitää lähes itsestään selvänä. Seuraavaksi tärkein tilannetietoisuuden vääristymisen ennaltaehkäisykeino on toiminnan koordinointi siten, että kaikki miehistön jäsenet ovat tietoisia omista ja muiden toimista. Näiden lisäksi tiedon ristiin tarkistus, kuten lentoonlähdössä nopeusmittareiden saman lukeman varmistaminen, ja yleinen selkeä kommunikointi edesauttavat tilannetietoisuuden ylläpidossa. (Kharoufah et al. 2018)

4.2 Laitteistovikojen vähentäminen ja eliminoiminen

Laitteistoihin kohdistuvien vikojen ennaltaehkäisy saa alkunsa jo osan suunnitteluvaiheessa. Ilmailualalla lentokoneet ja niiden osat suunnitellaankin aina kestäväksi moninkertaisia rasituksia kuin mitä normaaleissa tilanteissa syntyy. Kuitenkaan yleiseltä materiaalin väsymiseltä ja kulumiselta ei parhaimmallaakaan suunnittelu- ja testaustyöllä voida välttyä. Siksi onkin tärkeää, että koneita huolletaan ja osia vaihdetaan säännöllisesti. (Veillette 2024)

Huolto onkin toinen keino ennaltaehkäistä monia laitteistoihin kohdistuvia vikoja ja hajoamisia. Huoltotoimenpiteitä ilmailussa tehdään sekä ennakoivasti säädösten mukaisesti että myös vian ilmaantuessa ja tarpeen vaatiessa. Lentokoneen silmämääräisen kunnan tarkastus suoritetaan ennen jokaista lentoa. Sen lisäksi koneille suoritetaan määräaikaistarkistuksia ja -huoltoja. (Veillette 2024)

5. POHDINTA

Tutkielman tavoitteena oli kartuttaa tietoa lento-onnettomuuksista ja niiden syistä, sekä ennaltaehkäisystä. Tutkiminen aloitettiin aivan perustiedoista, joita käsiteltiin ensimmäisessä luvussa. Luvulla pyrittiin vastaamaan kattavasti ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, joka oli, että miten lento-onnettomuudet määritellään ja kuinka paljon niitä tapahtuu.

Lento-onnettomuuden määritelmä tutkielmaan saatiin virallisesta kansainvälisen siviili-ilmailun yleissopimuksen määritelmästä. Määritelmän mukaan lento-onnettomuudeksi luokitellaan tapaus, jossa kuolee tai loukkaantuu vakavasti lentokoneessa, siihen kosketuksissa tai suorassa suihkuvirrassa ollut vähintään yksi henkilö, lentokoneessa ilmenee rakenteellinen vika tai se vaurioituu siten että se haittaa lento-ominaisuuksia ja normaalisti vaatisi laajoja korjaustoimenpiteitä tai vaurioituneen osan vaihtoa tai lentokone on kateissa tai täysin saavuttamattomissa. Vaikka virallinen määritelmä vaikuttikin monimutkaiselta tulkita, voidaan sen todeta olevan melkein pä itsestään selvyyttä. Määritelmän tuntemuksen myötä tiedettiin millaiset onnettomuudet ovat mukana seuraavaksi käsitellyissä tilastoissa.

Lento-onnettomuuksien määrää tutkittiin kahdella eri aikajaksolla. Laajemmasta aikajaksosta, joka yletyi aivan siviili-ilmailun yleistymiseen saakka, saatiin tietää, että onnettomuuksien määrä on ollut tasaisessa laskussa useiden vuosikymmenten ajan, vaikka aikajaksolta löytyikin myös isompia piikkejä. Lyhyemmän tarkastelujakson, enemmän nykypäivän tilannetta kuvaavan, tutkimuksista saatiin selville tämänhetkinen onnettomuuksien määrä ja aste. Onnettomuusaste ajantasaisimman lähteen mukaan on tällä hetkellä alle kaksi onnettomuutta miljoonaa lentoa kohden. Tilastoja tutkiessa oli ensiarvoisen tärkeää ymmärtää, mistä muutokset johtuivat. Kauempana historiassa tapahtuneiden onnettomuusmäärien lisääntyminen voitiin selittää uudenlaisten teknologioiden markkinoille tulemisella, kun taas nykypäivän tilannetta kuvaavassa tilastossa onnettomuuksien määrän väheneminen selitettiin yleisellä lentojen määrän laskulla.

Seuraavaksi lähdettiin etsimään vastausta toiseen tutkimuskysymyksen eli mitkä ovat yleisimmät lento-onnettomuuksien syyt. Aihetta käsiteltiin tutkimuksen kolmannessa luvussa. Alun perin onnettomuussyyt jaettiin kahteen kategoriaan, inhimilliset tekijät ja laitteistorikot. Alaluvuissa kategoriat jaettiin vielä edelleen tarkempiin syihin.

Inhimillisten tekijöiden käsittelyluvussa tarkasteltiin alasyinä uupumusta, kommunikointia ja tilannetietoisuutta. Uupumuksen todettiin olevan suurin inhimillinen onnettomuuksiin vaikuttava yksittäinen tekijä. Tätä ei voida sinällään pitää yllätyksenä sillä lentäjän työtä usein kuvataan hektiseksi, minkä vuoksi uupumuksen syntyminen on lähes väistämätöntä. Tutkielman edetessä ja esimerkkitapausta tarkastellessa huomattiin kommunikointiin liittyvien tekijöiden ja tilannetaujan huononemisen tai menetyksen kulkevan rinnakkain ja vahvistaen toinen toistaan. Esimerkistä huomattiin miten pienikin häiriötekijä voi johtaa suureen onnettomuuteen miehistön ollessa valmiiksi herkässä tilassa.

Myös laitteistojen rikkoutumisista valikoituivat tarkasteltaviksi eniten onnettomuuksia aiheuttavat syyt, joita olivat moottorivika, mittaristoihin liittyvät viat sekä rakenteelliset viat ja vauriot. Moottorivikoja tarkasteltaessa voitiin huomata moottorivian määritelmästä, miten monia eri osia moottoreissa voi olla alttiina vaurioille. Lentokoneen moottoreiden voidaan siis todeta olevan hyvinkin herkkiä niiden toiminnan ollessa myös fyysisesti kriittisiä lentämisen kannalta. Mittaristoon liittyvien ongelmien käsittelystä voidaan huomata niiden olevan erityisen alttiita onnettomuuden aiheuttajiksi mittarilennossa, jossa alentuneen näkyvyyden vuoksi lentäjien tulee turvautua vain mittaristoihin. Visuaalisten vihjeiden puuttuessa koneen asennosta ja sijainnista sekä mittareiden pettäessä on onnettomuus lähes väistämätön. Rakenteellisista vaurioista saatiin selville niiden muodostumistapa sekä muodostumista edesauttavat tekijät. Näillä tiedoilla voidaan päätellä rakenteellisten vaurioiden olevan hyvinkin ennalta arvaamattomia, vaikka suunnitteluvaiheessa pyrittäisiin ottamaan huomioon kaikki mahdolliset ja mahdottomat skenaariot.

Edellä mainituin tiedoin onnettomuuksien syistä voidaan vastata niihin liittyvään tutkimuskysymykseen. Inhimillisten syiden voidaan nähdä olevan edelleen tänäkin päivänä eniten onnettomuuksia aiheuttava tekijä. Tämä voidaan selittää sillä, että ihmisluonne on melko huonosti ennakoitavissa, vaikka toimintamallit olisivatkin säädelyjä. Tärkeää on myös huomata, että vaikka tekniikka on kehittynyt vuosien varrella paljon, ei laitteiston erilaisilta rikkoutumisilta voida vieläkään välttyä.

Viimeisessä käsittelyluvussa otettiin selvää, miten lento-onnettomuuksia voidaan ennaltaehkäistä. Kyseinen luku vastaakin suoraan kolmanteen tutkimuskysymykseen. Inhimillisistä tekijöistä uupumukseen löydettiin useita vaihtoehtoja ennaltaehkäisyyn tai vähentämiseen. Perinteisten tapojen lisäksi esiin nousi lennonaikainen ohjaamossa torkkuminen. Kyseinen toimintamalli ei kuitenkaan ole vielä kovin suosittu, vaikka tieteellistä pohjaa väitettä tukemaan löytyykin (Kharoufah et al. 2018). Lisäksi voidaan todeta kommunikointi- ja tilannetajutekijöiden vaikutuksen minimoituvan, kun toimintatavat ja ohjeistukset ovat kaikille miehistönjäsenille selkeät ja miehistön jäsenten välillä vallitsee harmonia.

Laitteistoon kohdistuvien vikaantumisten johdosta tapahtuvia onnettomuuksia voidaan ennaltaehkäistä ja ennaltaehkäistäänkin tällä hetkellä jatkuvilla tarkistus- ja huoltotöillä. Ilmailussa perinteisesti korkealla tasolla olevan ja turvallisuuteen pyrkivän suunnittelun, rakennuksen ja huollon lisäksi ei oikeastaan muita ennaltaehkäiseviä toimia ole. Tarkasti ja ajallaan suoritettavat määräaikaishuollot ja osien vaihdot pyrkivät estämään materiaalin kulumisen, mutta esimerkiksi vierasesineen moottoriin joutumisen aiheuttama moottoririkko on väistämätön. Tarkemmin huoltotoimenpiteisiin perehtymällä voitaisiin varmasti löytää kohteita, joita edelleen kehittämällä saataisiin huoltotoimenpiteitä entistäkin ennaltaehkäisevimmiksi.

6. YHTEENVETO

Työssä lähdettiin tutkimaan lento-onnettomuuksia niiden ajankohtaisuuden vuoksi sekä yleisesti ilmailualan laajuuden ja merkittävyyden johdosta. Työllä pyrittiin omaksumaan yleistä tietoa lento-onnettomuuksista ja niiden määrästä sekä ymmärrystä erilaisista onnettomuuteen johtavista syistä ja niiden ennaltaehkäisystä. Tutkimus toteutettiin kuvailvana kirjallisuuskatsauksena käyttämällä soveltuvia artikkeleita ja tilastoja.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, miten lento-onnettomuudet määritellään ja miten paljon niitä tapahtuu, saatiin kattavat vastaukset luvussa 2. Onnettomuuden määritelmäksi todettiin tapaukset, joissa ihmishenkiä vaarannetaan tai menetetään, jossa lentokone vaurioituu pahoin tai tuhoutuu tai, jossa lentokone katoaa tai se joutuu saavuttamattomaan paikkaan. Onnettomuuksien määrästä saatiin selville, että ne ovat ajan saatossa tasaisesti vähentyneet, vaikka tilastoista voidaankin havaita myös ajoittaisia suurempia kertymiä. Vähennemistä selitettiin yleisellä lentoturvallisuuden paranemisella ja korkeampia piikkejä esimerkiksi lentojen määrän nousulla ja uusien teknologioiden markkinoille tulemisella.

Toisessa tutkimuskysymyksessä pohdittiin yleisimpiä syitä lento-onnettomuuksille. Syihin perehdyttiinkin luvussa kolme, jossa tarkasteluun otettiin kahdeksi pääsyyksi inhimilliset tekijät ja laitteiston rikkoutumiset. Inhimilliset tekijät jaettiin edelleen uupumukseen, kommunikointiin liittyviin ongelmiin ja tilannetietoisuuteen, kun taas laitteistovaurioista tarkasteltiin moottoririkkoa, mittaristojen viat sekä rakenteelliset vaurioitumiset. Kaikkein yleisimmäksi syyksi saatiin lopulta odotetusti inhimilliset syyt. Tuloksen ennalta arvattu vuus johtuu ihmisen toiminnan arvaamattomuudesta. Lisäksi onnettomuustekijöitä tarkasteltiin lähemmin esimerkkitapausten kautta.

Viimeisessä käsittelykappaleessa vastattiin kolmanteen tutkimuskysymykseen eli miten lento-onnettomuuksia voidaan ennaltaehkäistä. Inhimillisten alasyiden ehkäisyyn saatiin monia eri vaihtoehtoja, joista toiset ovat enemmän yleisessä käytössä olevia kuin toiset. Laitteistojen vaurioitumisen ennaltaehkäisyyn todettiin olevan ratkaisuna lähinnä säännöllinen tarkastaminen ja huoltaminen. Lisäksi alati kehittyvä suunnittelu-, testaus- ja rakennustyöt edesauttavat lentokoneiden rakenteellisen kestävyuden parantamisessa.

Työn tavoitteeseen päästiin ja kaikkiin tutkimuskysymyksiin pystyttiin vastaamaan perustellusti. Jatkotutkimuksena voisi olla tärkeää perehtyä lisää onnettomuuksien ennaltaehkäisyyn. Inhimillisten onnettomuustekijöiden täyteen eliminointiin tuskin koskaan

päästään ilman ihmisen poistamista ohjaamosta, mutta ennaltaehkäisevien toimien jatkojalostus voisi parantaa ilmailuturvallisuutta entisestään.

LÄHTEET

- Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile. (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. https://asn.flightsafety.org/reports/2009/20090601_A332_F-GZCP.pdf
- Das, K. P., & Dey, A. K. (2016). Quantifying the risk of extreme aviation accidents. *Physica A*, 463, 345–355. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.07.023>
- Endsley, M. R., (1999). Situation awareness in aviation systems. *Handbook of aviation human factors*, 11, pp.257-276.
- Findlay, S. J., & Harrison, N. D. (2002). Why aircraft fail. *Materials Today*, 5(11), 18–25. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(02\)01138-0](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(02)01138-0)
- International Air Transport Association (2018) Flying is by far the safest form of transportation. *Economics' Chart of the Week*. <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/flying-is-by-far-the-safest-form-of-transport/>
- International Civil Aviation Organization (2024) Annex 13 to the Convention on International Civil Aviation (Aircraft Accident and Incident Investigation), 13. Paines.
- International Civil Aviation Organization (2024) Safety Report. https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2024.pdf
- Kharoufah, H., Murray, J., Baxter, G., & Wild, G. (2018). A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: From to 2000–2016. *Progress in Aerospace Sciences*, 99, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.002>
- Krivos, P.D. (2007) Communication in aviation safety: lessons learned and lessons required. In *Regional Seminar of the Australia and New Zealand Societies of Air Safety Investigators*.
- Li, Q., Leung, H. C., Ho, M. H., Leung, K. L., Ng, K. K. H., & Yiu, C. Y. (2023). The Effects of Aeronautical Decision-Making Models on Student Pilots' Situational Awareness and Cognitive Workload in Simulated Non-Normal Flight Deck Environment. *International Journal of Aerospace Psychology*, 33(3), 197–213. <https://doi.org/10.1080/24721840.2023.2231506>
- Li, Y., Spagnolo, B., & Bernardo Spagnolo. (2019). Analysis and Forecast of Global Civil Aviation Accidents for the Period 1942-2016. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019(2019), 1–12. <https://doi.org/10.1155/2019/5710984>
- Mannila, M. (2013). Kirjallisuuskatsaus opinnäytetyön muotona. *Energiaa*. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202102114568>
- National Transportation Safety Board (2004) Aviation Incident Final Report (Incident number: ANC031A001). <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20021018X05344&AKey=1&RType=Final&IType=IA>
- Oster, C. V., Strong, J. S., & Zorn, C. K. (2010) 'Why airplanes crash: Causes of accidents worldwide', in *51st Annual Transportation Research Forum 2010*. 2010 pp. 853–872.
- Our World in Data. (2023) *Global airline passengers per year*. Haettu 28.1.2025. <https://our-worldindata.org/grapher/number-airline-passengers>

Veillette, P. (2024) *Despite Good Upkeep, Mechanical Failures Still Happen, Part 3*. Aviation Week Network. <https://aviationweek.com/business-aviation/aircraft-propulsion/despite-good-upkeep-mechanical-failures-still-happen-part-3>