



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Lentorahdin riskienhallinta ulkoisissa häiriötilanteissa

Toimitusketjujen johtamisen
kandidaattitutkielma

Laatija:
Aapo Kyöstiö

Ohjaaja:
Sini Laari

28.4.2026
Turku

Opiskelijan lausunto tekoölyn käytöstä tähän tutkielmaan liittyen:

En ole käyttänyt tekoälyä hyödyntäviä työkaluja tätä tutkielmaa kirjoittaessani.

Olen käyttänyt tekoälyä hyödyntäviä työkaluja tätä tutkielmaa kirjoittaessani. Tämä käyttö on dokumentoitu tutkielman liitteessä. Vakuutan, että tekoälyä käytettiin yliopiston ohjeistuksen mukaisella tavalla.

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatintutkielma

Oppiaine: Toimitusketjujen johtaminen

Tekijä: Aapo Kyöstiö

Otsikko: Lentorahdin riskienhallinta ulkoisissa häiriötilanteissa

Ohjaaja: KTT Sini Laari

Sivumäärä: 39 sivua + liitteet 3 sivua

Päivämäärä: 28.4.2026

Tiivistelmä

Lentorahdilla on merkittävä rooli arvokkaille ja aikakriittisille tuotteille globaaleissa toimitusketjuissa, mutta sen toimintaympäristö on altis ulkoisille häiriöille, kuten terveyskriiseille, luonnonkatastrofeille ja geopoliittisille konflikteille. Viimeaikaiset tapahtumat ovat korostaneet tarvetta tehokkaalle riskienhallinnan kehittämiselle lentorahdissa. Geopoliittiset häiriöt voivat johtaa ilmatilansulkemisiin, lentoreittien pitenemisiin, kustannusten kasvuun ja toimitusvarmuuden heikkenemiseen. Terveyskriisit voivat vähentää matkustajakoneiden ruumassa liikkuvan rahdin kapasiteettia ja samalla lisätä lentorahdin kysyntää kriittisten tuotteiden ja verkkokaupan kasvun seurauksena. Luonnonkatastrofit voivat aiheuttaa toimitusviiveitä, infrastruktuurin vaurioitumista, lentojen peruutuksia ja kapasiteettirajoitteita. Viimeaikaiset tapahtumat ovat korostaneet tehokasta riskienhallintaa ja sen jatkuvaa kehitystä.

Tutkielman tavoitteena on tarkastella, mitkä ovat suurimmat haasteet mitä lentorahdin toimintaympäristö kohtaa, mitä eri liiketoimintamalleja lentorahdissa esiintyy sekä millaisilla operatiivisilla ja strategisilla riskienhallintakeinoilla häiriöiden seurauksia voidaan hallita.

Riskienhallinta voidaan jaotella lyhyen aikavälin eli operatiivisiin keinoihin ja pitkän aikavälin eli strategiaan ratkaisuihin. Operatiivisia keinoja ovat esimerkiksi kapasiteetin uudelleenallokointi, uudelleenreititys ja väliaikaiset matkustajakoneiden konversiot. Strategisella tasolla korostuu laivastonhallinta, verkoston hajauttaminen ja digitalisaation hyödyntäminen. Jotta yhden kriittisimmän kuljetusmuodon toiminnan jatkuvuutta voidaan vahvistaa, molempien tasojen täytyy olla osa kokonaisvaltaista riskienhallintaa.

Avainsanat: Lentorahti, ulkoiset häiriötilanteet, riskienhallinta, toimitusketjun resilienssi, geopoliittiset häiriöt

SISÄLLYS

1	Johdanto	7
2	Lentorahdin toimintamallit ja haavoittuvuudet	10
2.1	Pelkästään rahtia kuljettavat operaattorit (<i>Dedicated cargo operators</i>)	10
2.2	Matkustaja- ja yhdistelmäoperaattorit (<i>Combined services, Passenger operators</i>)	10
2.3	Integraattorit (<i>Air freight integrators</i>)	12
2.4	Erikoistuneet rahtioperaattorit (<i>Specialized operators</i>)	12
3	Ulkoiset häiriötilanteet lentorahdin toimintaympäristössä	15
3.1	Ulkoiset häiriöt käsitteenä	15
3.2	Geopoliittisten häiriöiden vaikutukset lentoliikenteeseen ja globaaleihin toimitusketjuihin	17
3.3	Pandemiat ja terveyskriisit lentorahdissa	20
3.4	Luonnonkatastrofit lentoliikenteessä	20
4	Lentorahdin riskienhallinta ulkoisissa häiriötilanteissa	22
4.1	Resilienssi lentorahdissa	22
4.2	Operatiiviset riskienhallintakeinot	23
4.2.1	Uudelleenreititys	24
4.2.2	Matkustajakoneiden konvertointi, <i>freighter-koneet</i>	25
4.2.3	Riskien priorisointi	26
4.2.4	Reittien ja rahdin priorisointi	27
4.3	Strategiset riskienhallintakeinot	28
4.3.1	Verkoston hajauttaminen	29
4.3.2	Strateginen laivastonhallinta lentorahdissa	30
4.3.3	Digitalisaation hyödyntäminen lentorahdissa	32
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	33
	Lähteet	35
	Liitteet	40
	Liite 1 Selvitys tekoälyn käytöstä	40

KUVIOT (aloita uudelta sivulta)

- Kuvio 1 Lennon AY73 (Helsinki – Tokio) ylimääräinen lentoreitin pituus (ΔL) ja lentotehokkuus (HFE) (Ostroumov ym., 2025). 18
- Kuvio 2 Polttoaineen ja hiilidioksidipäästöjen lisääntyminen ilmatilan sulun seurauksena reitillä Helsinki – Tokio (Ostroumov ym., 2025). 19
- Kuvio 3 Ulkoisten häiriötekijöiden vaikutusmekanismit lentorahtiin ja riskienhallintakeinot 34

TAULUKOT

- Taulukko 1 Lentorahdin liiketoimintamallit ja niiden keskeiset ominaispiirteet 13

1 Johdanto

Viime vuosikymmeninä maailmaa on koetelleet lukuisat ulkoiset häiriötekijät, joiden vaikutukset ovat kohdistuneet merkittävästi myös ilmakuljetusoperaattoreihin ja lentoyhtiöihin. COVID-19:n aiheuttamat häiriöt toimitusketjuissa edellyttivät alan yrityksiltä merkittävää muuntautumiskykyä, eikä toimialalta välttytty huomattavilta vaikutuksilta. (Belhadi ym., 2021) Esimerkiksi yhden maailman suurimman lentorahtihubin, Hong Kongin, kautta liikkuvan rahdin määrä väheni vuoden 2020 aikana 6 % (To & Lee, 2023), mikä kertoo pandemian aiheuttamien seuraamusten vakavuudesta. Heti koronapandemian jälkeen Venäjä hyökkäsi Ukrainaankin ja sota alkoi 2022. Valmiiksi huteralla pohjalla koronavuosien jälkeen olevat lentoyhtiöt ja lentorahtioperaattorit kokivat uuden šokin, johon ei ollut valmistauduttu. Venäjän ilmatila suljettiin, mikä johti lentorahtioperaattoreiden toimitusketjujen häiriöihin ja kustannusten huomattavaan kasvuun. Venäjän ilmatilan käyttö on ollut avaintekijä napareittejä käyttäville operaattoreille, ja melkein puolet näistä yhtiöistä hyödynsivät Venäjän ilmatilaa. (Chu ym., 2024; Ostroumov ym., 2025; Ennen & Wozny, 2024) Esimerkiksi Frankfurtista keski-Aasiaan lentoaika piteni 28,7 % (Chu ym. 2024), kun taas Helsingistä Aasiaan lentomatkat pitenivät ajallisesti jopa 36 % (Ambrose & Abdelghany, 2025).

Lentorahti on keskeisin kuljetusmuoto tuotteille, jotka ovat aikakriittisiä, helposti pilaantuvia, arvopainosuhteeltaan korkeita tai muutoin erikoiskäsittelyä vaativia kuljetuksia. Tällaisia ovat esimerkiksi hedelmät, elektroniikka, lääkkeet tai elävät eläimet, joiden kuljetuksessa korostuvat nopeus, toimitusvarmuus ja tarkat aikataulut. (Budd & Mayer, 2017; Rodrigue, 2020) Lisäksi viime vuosikymmenten aikana internet-teknologian kehitys on johtanut verkkokaupan räjähdysmäiseen kasvuun. Maailmanlaajuisten markkinoiden helpompi saatavuus ja verkkokauppojen yleistyminen ovat muuttaneet niin yritysten kuin kuluttajien ostokäyttäytymistä, minkä takia vähittäiskauppa verkossa on kasvanut merkittävästi kuluneen vuosikymmenen aikana. (Zheng ym., 2024; Rodbundith ym., 2021) Voidaan siis todeta, että ilmakuljetuksia hyödynnetään sellaisten tuotteiden kohdalla, joille nopeus ja toimitusvarmuus on tärkeämmät kuin kuljetuskustannukset.

Vaikka ilmakuljetukset muodostavat globaalisti vain 1 % kaikesta rahdista painon puolesta, rahassa mitattuna se liikuttaa jopa 35 % maailman rahdista. Lisäksi sen vaikutukset eivät ole merkittäviä pelkästään lentorahtioperaattoreille vaan myös kaupalliselle lentoyhtiölle, sillä rahtitoiminta voi kattaa jopa 45 % sen liikevaihdosta. Ilmakuljetukset kuljetusmuotona jatkavat kohti yhä suosittumpaa kuljetusmuotoa, sillä se on vahvasti sidoksissa kansainvälisen kaupan kasvuun. (Rodrigue, 2020) Lentorahtivolyymi kasvoi jopa kaksinkertaisen määrän verrattuna maailmanlaajuisen BKT:n kasvuun vuoteen 2002 asti (Zhang & Zhang, 2002) ja ennusteiden mukaan se tulee kasvamaan vuoteen 2042

asti jopa 4 % vuosittain (Boeing, 2024). Nettikauppojen suosio jatkaa kasvuaan ja sen arvioidaankin kasvavan 9 % vuosittain vuoteen 2042 asti ja lentorahtiverkostolla on sen laajentumisessa keskeinen rooli (Boeing, 2024).

Lentorahdin keskeinen rooli aikakriittisissä ja just-in-time-toimitusketjuissa, eli tavaroiden valmistaminen juuri oikeaan aikaan tekee siitä samalla hyvin haavoittuvasen ulkoisille häiriöille (Ke ym., 2025; Abdulraheem, 2018). Ilmakuljetukset ovat suoraan riippuvaisia ilmatilan käytöstä, poliittisista päätöksistä ja kansainvälisistä sopimuksista, minkä takia geopoliittiset häiriöt, pandemiat ja luonnonkatastrofit voivat aiheuttaa äkillisiä vaikutuksia kuljetusmuodon toimintaan (Ostroumov ym., 2025). Viime vuosien tapahtumat osoittavat, että ulkoiset häiriöt eivät ole enää poikkeuksia, vaan yhä useammin toistuvia ilmiöitä. Näin ollen lentorahdilta ja -yhtiöiltä vaaditaan yhä enemmän kykyä adaptoitua muuttuvaan ympäristöön ja kehittämään riskienhallintaa, jotta lentorahdin jatkuvuutta voidaan vahvistaa. Lisäksi ennakoivia eli strategisia muutoksia tarvitaan, jotta esimerkiksi COVID-19:n kaltaisiin tilanteisiin voidaan tulevaisuudessa varautua ja minimoida niiden aiheuttama vahinko. (Das ym., 2021) Enää pelkästään reaktiiviset hallintatavat eivät riitä, vaan riskienhallinta edellyttää ennakointia (Bednarski ym., 2025).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on käydä läpi, millaisia riskienhallintakeinoja lentorahtitoimijat hyödyntävät ulkoisessa häiriötilanteessa ja miten niitä voidaan hallita sekä strategisella että operatiivisella tasolla. Tarkoituksena on tunnistaa suurimmat häiriötekijät, jotka vaikuttavat lentorahdin toimintaympäristöön ja analysoida keinoja, joilla pyritään varmistamaan sen jatkuvuus epävarmoissa olosuhteissa. Tutkimuksen tavoitteena on myös luoda kokonaisvaltainen kuva siitä, miten ennakoiva ja strateginen riskienhallinta voi osaltaan auttaa lievittämään laajamittaisten häiriöiden vaikutuksia ilmakuljetusten liikkumiseen. Aiempi tutkimus käsittelee ulkoisia häiriöitä yleisesti toimitusketjuissa, mutta lentorahdin näkökulmasta aihetta on tutkittu vähemmän ja hajanaisemmin, eikä lentorahdin häiriötekijöitä ole tarkasteltu yhtenä kokonaisuutena. Erityisesti viimeaikaiset konfliktit, pandemiat ja sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen ilmastomuutoksen seurauksena ovat korostaneet tarvetta ymmärtää yhä enemmän lentorahdin haavoittuvuuksia ja kehittää alan riskienhallintaa.

Tutkielmaa ohjaavat seuraavat tutkimuskysymykset:

- Mitkä ovat keskeisimmät ulkoiset häiriötekijät lentorahdin toimintaympäristössä?
- Millä operatiivisilla riskienhallintakeinoilla ulkoisten häiriöiden vaikutuksia voidaan minimoida?

- Millaisia strategisia riskienhallintakeinoja lentorahdissa hyödynnetään häiriötilanteissa?

Tutkimus etenee siten, että aluksi esitellään lentorahdin erilaisia liiketoimintamalleja, eli sitä, millaisten palvelumallien kautta lentorahtia kuljetetaan ja millaisia haavoittuvuuksia näihin toimintamalleihin liittyy. Kolmannessa kappaleessa esitellään lentorahdin toimintaympäristöön kohdistuvia keskeisimpiä ulkoisia häiriöitä ja niiden vaikutuksia muun muassa kustannuksiin ja kapasiteettiin. Tämän jälkeen analysoidaan operatiivisia ja strategisia riskienhallintakeinoja, minkä jälkeen tutkielma päättyy johtopäätöksiin siitä, miten riskienhallintaa voidaan kehittää muuttuvassa toimintaympäristössä.

2 Lentorahdin toimintamallit ja haavoittuvuudet

Lentorahdin toimijat voidaan luokitella eri liiketoimintamalleihin niiden operatiivisen rakenteen ja palvelukonseptin perusteella. Esimerkiksi Rodrigue (2020) jäsentää toimijat kategorioihin niiden verkostorakenteen ja integraatioasteen mukaan, mitkä ovat:

1. Pelkästään rahtia kuljettavat operaattorit (engl. Dedicated cargo operators)
2. Yhdistelmäpalvelut (engl. Combined services)
3. Matkustajaoperaattorit (engl. Passenger operators)
4. Lentorahdin integraattorit (engl. Air freight integrators)
5. Erikoistuneet operaattorit (engl. Specialized operators)

2.1 Pelkästään rahtia kuljettavat operaattorit (*Dedicated cargo operators*)

Dedikoituun rahtikapasiteettiin perustuvassa toimintamallissa operaattoreilla on käytössä lentokoneita, jotka on konvertoitu yksinomaan tavarankuljettamiseen (Rodrigue, 2020). All-cargo-toiminta ei ole sidottuna matkustajaliikenteen aikatauluihin tai reittirakenteisiin, mikä tuo edun kapasiteetin hallintaan ja joustavaan reittisuunnitteluun (Budd & Ison, 2017). Etenkin pandemian aikana, kun belly cargo -kapasiteetti väheni äkillisesti (Ningsseh & Tohir, 2025), all-cargo-operaattorit olivat erityisen tärkeässä roolissa tavarankuljettamisen kannalta. Tämän takia omaan kalustoon ja verkostoon perustuva liiketoimintamalli mahdollistaa vakaasti hallittavan kuljetusjärjestelmän, jossa kapasiteetin ennakoitavuus ja reagointikyky markkinoiden heilahteluille ovat keskeisiä kilpailuetuja. Yleisesti tällaiset operaattorit ovat tarkoitettu painavalle, suurikokoiselle tai muutoin normaalista rahdista poikkeaville kuljetuksille. (Budd & Ison, 2017)

Koska all-cargo toiminta ei ole riippuvainen matkustajalentojen määrästä, sen merkitys korostuu erityisesti tilanteissa, joissa matkustajaliikenne vähenee. Pandemian aikaan belly cargo -kapasiteetin katoaminen aiheutti kapasiteettivajeen, vaikka kysyntä lentorahdille samanaikaisesti kasvoi. Näin ollen rahtikoneet muodostivat suuren osan lentorahdin kapasiteetista ja mahdollistivat tavarankuljettamisen. (Deng ym., 2022)

2.2 Matkustaja- ja yhdistelmäoperaattorit (*Combined services, Passenger operators*)

Belly cargo -mallissa rahtia liikutetaan kaupallisen rahtikoneen ruumatilassa osana matkustajaliikenteen operointia, mikä on tyypillistä yhdistelmä- ja matkustajaoperaattoreille.

Yhdistelmäoperaattoreilla on käytössään sekä rahti- että matkustajalaivastoa, kun taas matkustajaoperaattorit tarjoavat rahtipalveluita ainoastaan matkustajakoneiden ruumassa, joille rahtipalvelut ovat usein toissijainen tulonlähde. (Rodrigue, 2020) Ruumarahdilla on kuitenkin suuri rooli matkustajayhtiöiden kannalta, sillä se kattaa keskimäärin jopa 45 % koko yhtiön tuloista ja noin 50 % kaikesta ilmarahdista kuljetetaan matkustajakoneiden ruumassa (Budd & Ison, 2017; Rodrigue, 2020). Belly cargo on suoraan riippuvainen matkustajien määrästä ja matkatavaroista, koska ruumatilan ensisijainen käyttötarkoitus on matkatavaroiden kuljettaminen. Tämän takia rahtia voidaan ottaa kyytiin vain sen verran, kun tila- ja painorajoitukset sallivat. Näin ollen rahtikapasiteetti on luonteeltaan jäännöskapasiteettia (engl. Residual capacity), jonka suuruus riippuu matkustajien lukumäärästä ja matkatavaroiden yhteenlasketusta painosta. (Wong ym., 2009) Varsinkin lentoonlähtöpaino (engl. Maximum Take-Off Weight, MTOW) muodostaa keskeisen rajoitteen rahdille, sillä jokainen lisäkilo matkatavaroita vähentää potentiaalista maksullista rahtikapasiteettia (Wong ym., 2009).

Taloudellisesta näkökulmasta belly cargo tarjoaa lentoyhtiölle mahdollisuuden kasvattaa tuottoja ilman erillisiä operointikustannuksia, koska rahti kuljetetaan jo operoitavien lentojen yhteydessä (Rodrigue, 2020). Vaikka matkustajat ovat perinteisesti olleet keskiössä, rahtituotoista on tullut elintärkeitä lentoyhtiöiden toiminnassa ja osaksi niiden strategiaa. Tämä korostuu nimenomaan yhdistelmäoperaattoreiden kohdalla. Wong ym. (2009) havaitsivat tutkimuksessaan, että monissa tapauksissa rahdin tuottama marginaalinen hyöty on suurempi kuin matkustajien ylimääräisen matkatavarakiintiön tarjoamisesta saatava hyöty. Tämän takia lentoyhtiön on mietittävä matkatavarapolitiikkaansa strategisena työkaluna, jotta matkustaja- ja rahtikapasiteetin välinen suhde voidaan optimoida kokonaisvoiton maksimoimiseksi. Tutkimuksessa todetaan myös, että kapasiteetin vaihtoehtoiskustannusta on tärkeä tarkastella ja matkatavaroiden määrää pitäisi kiristää erityisesti silloin, kun rahdin kuljetukselle on suurta kysyntää. Näin lentoyhtiö varmistaa, että koneiden painokapasiteetti täytetään mahdollisimman tuottavaan käyttöön siten, ja että maksullisen rahdin osuus optimoidaan suhteessa matkatavaroihin, joista ei välttämättä synny erillisiä lisätuloja. Juuri tällainen kapasiteetin joustava kohdentaminen on keskeisessä roolissa tilanteissa, joissa matkustajaliikenteen kysyntä heilahtelee suhdanteiden ja sesonkien mukaan. Belly cargo toimii tällöin ikään kuin puskurina, joka tasapainottaa tulojen vaihtelua ja tukee lentoyhtiön taloudellista vakautta. (Wong ym., 2009)

Poikkeuksena belly cargo -operaattoreihin ovat halpalentoyhtiöt (engl. Low-cost carrier, LCC), joiden liiketoimintamalliin eivät lähtökohtaisesti kuulu ruumassa kuljetettavan rahdin operointi. Toimintamallin perustana on koneiden nopeat kääntöajat, sujuva palvelu ja kustannustehokkuus.

Lisäksi halpalentoyhtiöt usein myös operoivat pienemmille lentokentille, jotka eivät tarjoa suuria rahtivolyymeita. (Rodrigue, 2020)

2.3 Integraattorit (*Air freight integrators*)

Toisin kuin muut Rodriguen (2020) esittämät lentorahdin liiketoimintamallit, jotka tarjoavat pelkästään lentokuljetuspalveluita lentokenttien välillä ja hyödyntävät ulkoisia huolintapalveluita, integraattorit tarjoavat asiakkailleen ovelta ovelle -palvelun sekä hallitsevat koko toimitusketjun. (Rodrigue, 2020; Bombelli, 2020) Toisin sanoen integraattoreiden ydinajatuksena on vertikaalinen integraatio eli koko toimitusketjun hallinta alusta loppuun saman organisaation sisällä. Toimintamalli perustuu keskitettyyn hub-and-spoke-verkostoon, joka koostuu keskeisistä solmukohtista (engl. hubit) ja niihin kytkeytyvistä muista pisteistä (engl. spokes). Hub-and-spoke-verkostoissa hubit, kuten Leipzig (DHL), Memphis (FedEx) ja Louisville (UPS), toimivat lajittelu-, jälleenlaivaus- ja yhdistelypisteinä. Keskeisenä tavoitteena tällaisessa verkostossa on mittakaavaedut. Kun tavaravirrat yhdistetään hubeissa ja reititetään uudelleen, tulee toiminnasta kustannustehokkaampaa verrattuna suoriin yhteyksiin pisteiden välillä. (Bombelli, 2020; Zhalechian ym., 2018)

Integraattoreiden taloudellinen ideologia perustuu verkoston tiukkaan synkronointiin ja korkean lisäarvon palveluihin. Yleisesti lajittelu tapahtuu keskitetysti öisin, jotta seuraavan päivän toimitukset saadaan aikaisin perille, mikä luo mahdollisuuden korkealle hinnoittelulle. Yleisesti integraattorit eivät havittele koneiden maksimaalista täyttöastetta, vaan korkeaa toimitusvarmuutta ja aikakriittisten lähetysten mutkatonta hallintaa. (Bombelli, 2020; Zhalechian ym., 2018) Vertikaalisesti integroituneilla toimijoilla on täysi kontrolli verkostosta, mikä vähentää riippuvuutta ulkopuolisista toimijoista ja vahvistaa kilpailuetua. Lisäksi se mahdollistaa prosessien optimoinnin koko arvoketjun tasolla, mikä puolestaan lisää kustannustehokkuutta ja toimitusvarmuutta. Verkoston sisäisellä kontrollilla voidaan varmistaa joustavuus kysyntäpiikkien tai -laantumien kohdalla, koska resurssien allokointia ja kapasiteetin säätelyä voidaan ohjata yrityksen omien prioriteettien mukaan ilman huolta ulkoisista kumppanuuksista. (Wu ym., 2025a)

2.4 Erikoistuneet rahtioperaattorit (*Specialized operators*)

Erikoistuneet rahtioperaattorit tarjoavat palveluita, jotka ovat suunnattu tiettyihin, poikkeuksellisia vaatimuksia sisältäviin rahtikuljetuksiin, kuten erittäin raskaisiin ja ylisuuriin lasteihin, joita tavanomaisen rahtilentokoneiden tekniset ominaisuudet tai kapasiteetti eivät mahdollista. (Rodrigue, 2020) Tällaiset kuljetukset vaativat usein myös erityislaatuista dokumentointi-, käsittely- ja turvallisuusmenetelmiä sekä sertifioituja prosesseja. Erikoiskuljetuksia vaativia lähetyksiä voivat olla

esimerkiksi vaaralliset aineet, elävät eläimet, lämpöherkkä farmaseuttinen rahti, pilaantuvat elintarvikkeet sekä arvokuljetukset. (IATA, 2022)

Erikoiskuljetukset edellyttävät paljon erikoissääntelyitä ja Kansainvälinen ilmakuljetusliitto (IATA, 2022) korostaakin, että niiden kuljettaminen perustuu kansainvälisesti harmonisoituihin sääntöihin ja ohjeistuksiin, kuten Dangerous Goods Regulations (DGR) ja Live Animals Regulations (LAR), joiden tarkoituksena on varmistaa jäljitettävyyttä, turvallisuus ja laatu koko toimitusketjussa. Näin ollen erityiskuljetukset eivät ole pelkästään tuoteryhmä, vaan suuri kokonaisuus, joka vaatii infrastruktuuria, erityisosaamista ja suuria investointeja. Tästä syystä pelkästään erikoisrahtiin erikoistuvia yhtiöitä ei ole markkinoilla monia. (IATA, 2022) Taloudellisesta näkökulmasta erikoisrahti muodostaa normaalia rahtia suuremman lisäarvon, koska tarjontaa on vähän, toiminta on vahvasti säänneltyä ja asiakkailta on korkeampi maksuhalukkuus, kun puhutaan pilaantuvista tai muuten aikakriittisistä lähetyksistä. (Rodrigue, 2020; IATA, 2022)

Taulukko 1 Lentorahdin liiketoimintamallit ja niiden keskeiset ominaispiirteet

<i>Liiketoimintamalli</i>	Operatiivinen rakenne	Kapasiteetin luonne	Tulonmuodostuksen logiikka	Strateginen vahvuus	Keskeinen riskirajoite
<i>Dedicated cargo</i>	Rahtikoneet, ei matkustajaliikennettä	Täysin hallittu, ei sidottu matkustajiin	Kapasiteetin myynti suoraan rahdille	Joustava reittisuunnittelu ja riippumattomuus belly cargosta	Herkkä kysyntävaihteluille ja markkinasuhteiden heilahteluille
<i>Passenger operations</i>	Matkustajakoneiden ruumassa liikkuva rahti	Jäännöskapasiteetti	Jo operoitavien koneiden lisätuotto	Korkea kustannustehokkuus	Riippuvuus matkustajaliikenteestä ja painorajoitteista (MTOW)
<i>Combined services</i>	Laivasto koostuu sekä rahti-, että matkustajakoneista	Osin hallittu, osin jäännöskapasiteettia	Sekä erillinen rahtikapasiteetti että jäännöskapasiteetin hyödyntäminen	Riskien hajautus ja operatiivinen joustavuus	Operatiivinen kompleksisuus
<i>Air freight integrators</i>	Vertikaalisesti integroitunut, hub-and-spoke toimintamalli	Verkostosta täysi kontrolli	Ovelta ovelle - palvelu ja lisäarvoa	Ensiluokkainen toimitusvarmuus ja kontrolli koko verkostosta	Koko verkoston hallinta vaatii suuria kiinteitä kustannuksia

Specialized operators

		aikakriittisyydestä		
Erikoiskalusto, sertifioidut prosessit	Volyymiltaan rajallinen, mutta teknisesti vaativa kapasiteetti	Korkean riskin ja erityisvaatimusten rahdista korkeaa lisäarvoa	Luo korkeaa lisäarvoa ja vaikea korvata muulla (vähäinen substituutio)	Paljon sääntelyä ja korkea markkinoille tulon kynnys

3 Ulkoiset häiriötilanteet lentorahdin toimintaympäristössä

3.1 Ulkoiset häiriöt käsitteenä

Toimitusketjujen riskienhallinnassa on tärkeää erottaa riskin ja häiriön ero, vaikka ne ovat käsitteellistetty toisiinsa liittyviksi ilmiöiksi. Tang (2006) määrittelee operatiivisen riskin osaksi normaalin toiminnan epävarmuutta, jolla viitataan esimerkiksi asiakaskysynnän, tarjonnan tai kustannusten vaihteluun. Häiriöriskeillä taas viitataan laajempiin, luonnonkatastrofin tai ihmisen aiheuttamiin häiriöihin, joihin lukeutuvat mm. sodat, pandemiat, terrori-iskut ja maanjäristykset. Riskit siis kuvaavat potentiaalisia uhkia ja epävarmuuksia toimitusketjun toiminnassa, kun taas häiriö viittaa riskiin, joka realisoituu tai keskeyttää toiminnan. Vaikka häiriöiden esiintymistodennäköisyys on alhaista, useissa tapauksissa häiriöriskeihin liittyvät liiketoimintavaikutukset ovat merkittävästi suurempia kuin operatiivisten riskien. (Tang, 2006)

Craighead ym. (2007) kuvailee toimitusketjujen häiriöitä (engl. Disruption) odottamattomiksi ja suunnittele mattomiksi tapahtumiksi, jotka häiritsevät toimitusketjun normaalia tavaroiden ja materiaalien virtaa sekä altistavat yritykset operatiivisille ja taloudellisille riskeille. Häiriön riski voi syntyä monesta eri tekijästä, jotka yhdessä tai yksin voivat aiheuttaa toimimattomuutta toimitusketjussa. Toimitusketjujen riskienhallintaa koskevassa kirjallisuudessa esiintyy useita typologioita, jotka on laadittu erottamaan operatiiviset ja häiriöriskit yleisestä yritysriskien kentästä (Wagner & Bode, 2008). Kleindorfer & Saad (2005) määrittelevät toimitusketjun häiriön juurisyiksi kolme eri luokkaa, jotka ovat operatiiviset häiriötekijät, luonnonkatastrofit ja terrorismi sekä poliittinen epävakaus. Riskejä on jäsenneilty entistä yksityiskohtaisemmin joidenkin asiantuntijoiden mukaan, jotta yritykset voisivat paremmin erottaa logistiset uhat operatiivisten riskien joukosta. Tästä esimerkki on Chopran ja Sodhin (2004) tutkimus, jossa tunnistettiin yhdeksän riskilähdettä: häiriöt, viivästykset, järjestelmät, ennusteet, immateriaalioikeudet, hankinnat, saatavat, varasto ja kapasiteetti. Toisaalta taas Jüttner (2005) luokittelee häiriöt kolmeen luokkaan, jotka ovat ympäristölliset tekijät, tarjonta ja kysyntäriskit. Ympäristöön liittyvät riskilähteet käsittävät kaikki toimitusketjun ulkopuoliset epävarmuustekijät, jotka voivat johtua poliittisista, luonnonmukaisista tai sosiaalisista tekijöistä. Kysyntäriski liittyy erityisesti lähtevän logistiikan virtoihin ja tuotekysynnän ennakkointiin, eikä se rajoitu ainoastaan tilausmäärien vaihteluun, vaan siihen vaikuttavat keskeisesti markkinoiden dynamiikka, kuten tuotteiden lyhentyneet elinkaaret, uusien teknologioiden käyttöönotto sekä kulutustottumusten ja muotitrendien voimakas vaihtelu. Tarjontariski taas kytkeytyy saapuvien palveluiden ja tavaroiden virtaan ja yleisesti toimittajasuhteiden hallintaan. Se ilmenee usein toimittajien kyvyttömyytenä vastata laatustandardeihin tai toimitusaikoihin, joiden aiheuttajina ovat voineet olla esimerkiksi resurssipula tai taloudelliset haasteet.

Edellä esitetyt luokittelut osoittavat, että toimitusketjuihin kohdistuvat riskit voivat syntyä useista eri lähteistä, kuten operatiivisista prosesseista, kysynnän ja tarjonnan vaihtelusta sekä toimitusketjun ulkopuolisista ympäristötekijöistä. Vaikka kaikki riskityypit vaikuttavat toimitusketjun hallintaan, niiden luonne, vaikutusmekanismit ja hallintamahdollisuudet eroavat toisistaan merkittävästi. Operatiiviset riskit liittyvät tyypillisesti päivittäiseen toimintaan, kun taas ympäristölliset riskilähteet syntyvät toimitusketjun ulkopuolella ja niillä saattaa olla vaikutus moniin toimijoihin ja toimitusketjuverkostoihin. (Wagner & Bode, 2008)

Vaikka riskit voidaan analyttisesti jakaa ulkoisiin ja sisäisiin tekijöihin, ovat riskiluokat käytännössä kytköksissä usein toisiinsa. Ulkoiset häiriöt voivat realisoitua yritykselle toimitusketjun sisäisinä ongelmina, kuten yhtäkkisenä tarjontahäiriönä, kapasiteettirajoitteena tai kysynnän heilahteluna. Esimerkiksi pandemia, poliittinen epävakaus tai muu luonnonkatastrofi voivat vaikuttaa samanaikaisesti tuotantoon, kuljetusverkostoihin tai markkinakysyntään, mikä hämärtää riskitekijöiden välisiä rajoja. (Jüttner, 2005) Tämän takia Jüttner (2005) painottaa tehokkaassa riskienhallinnassa sekä ulkoisen toimintaympäristön seurantaan että sisäisten operatiivisten prosessien joustavuutta ja varatoimenpiteitä.

Tämän tutkielman tarkastelu kohdistuu nimenomaan ympäristöllisiin riskilähteisiin, kuten geopoliittisiin konflikteihin, terveysriskeihin ja luonnonkatastrofeihin, joiden vaikutukset ulottuvat globaalien toimitusketjujen toimintaan ja voivat muuttaa logististen verkostojen rakenteita.

Häiriötilanteet vaikuttavat usein negatiivisesti toimitusketjuihin ja niiden vaikutukset voivat ulottua aina operatiivisiin riskeihin, kuten tuotannon pysähtyminen ja taloudellisiin riskeihin sekä rahallisiin tappioihin (Novoszel & Wakolbinger, 2022). Ulkoiset häiriötekijät, kuten geopoliittiset epävakaudet, pandemiat ja sään ääri-ilmiöt, syntyvät yritysten toiminnan ulkopuolella. Toisin kuin sisäisiin häiriöihin, kuten tuotannon häiriöihin tai henkilöstöongelmiin, ulkoisiin häiriöihin yksittäinen yritys ei pysty vaikuttamaan, vaan ainoastaan lieventämään niiden aiheuttamia seuraamuksia. (Agrawal & Alikhani, 2025) Toimitusketjuihin kohdistuu tämän päivän maailmassa häiriöitä, kuten valtioiden välisiä konflikteja, maailmanlaajuisia pandemioita ja yleistä poliittista epävakautta sekä kauppapoliittisia muutoksia. Nämä häiriöt voivat aiheuttaa toimituskatkoksia, viiveitä, kapasiteettipulaa ja kustannusten kasvua. (Bednarski ym., 2025) Häiriöiden tunnistaminen ja vaikutusten minimoiminen on erityisen tärkeässä roolissa, koska ilmakuljetukset hyödyntävät enemmän tai vähemmän hub-and-spoke verkostoja. Vaikka tällaiset verkostot parantavat tehokkuutta, ne altistavat koko järjestelmän yksittäisten solmukohtien häiriöille, jolloin yhden hubin ongelmat voivat heijastua laajasti koko verkostolle. (Zhalechian ym., 2018) Ilmakuljetusten

erityispiirteet, kuten riippuvuus ilmatilan avoimuudesta, poliittisista päätöksistä ja aikakriittisten tuotteiden kuljetuksesta, korostaa häiriöiden ennakoivan tunnistamisen merkitystä.

3.2 Geopoliittisten häiriöiden vaikutukset lentoliikenteeseen ja globaaleihin toimitusketjuihin

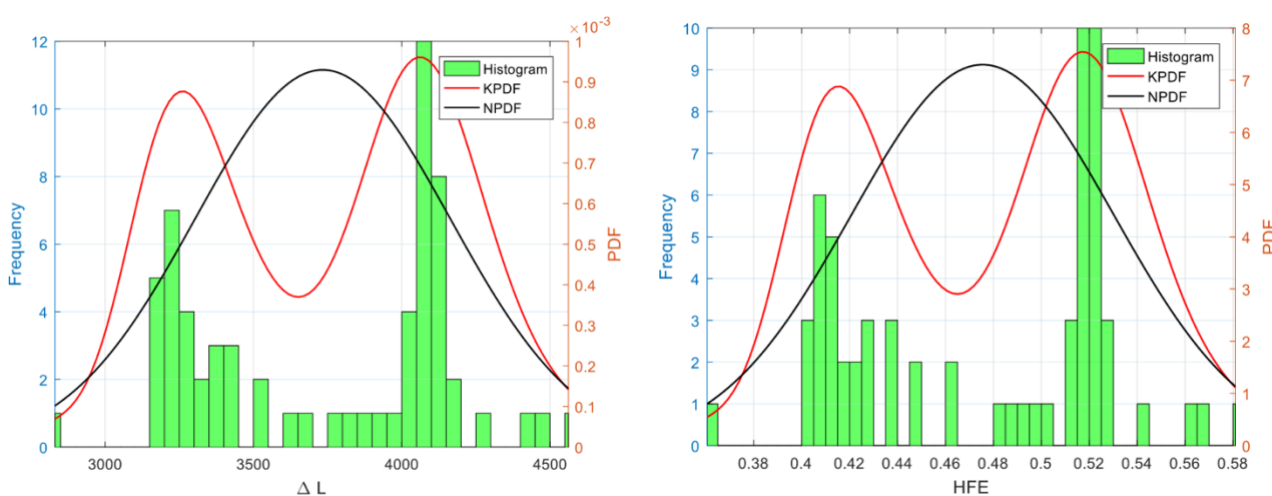
Geopoliittinen epävarmuus on viime vuosina kasvanut merkittävästi konfliktien, kauppapoliittisten jännitteiden ja pakotepolitiikan lisääntymisen seurauksena, mikä on lisännyt toimitusketjujen haavoittuvuutta. Tutkimukset ovat osoittaneet, kuinka geopoliittiset riskit voivat heikentää toimitusketjujen resilienssiä aiheuttamalla häiriöitä tavaroiden ja pääoman globaaleihin virtoihin. (Chang ym., 2025) Lentoliikenne on erityisen herkkä geopoliittisille häiriöille, koska sen toiminta perustuu valtioiden myöntämiin ylilento-oikeuksiin ja kansainvälisiin ilmatilajärjestelyihin. Poliittiset konfliktit, jotka johtavat ilmatilan sulkemisiin, voivat tämän takia vaikuttaa nopeallakin aikavälillä negatiivisesti rajojen ylittäviin logistiikkaverkostoihin. (Ostroumov ym., 2025)

Sotilaallinen aktiivisuus edellyttää erityisen tarkkaa riskienhallintaa, minkä vuoksi ilmatiloja joudutaan sulkemaan kokonaan tai rajoittamaan. Näillä keinoilla pyritään ehkäisemään siviili- ja rahtiliikenteeseen kohdistuvia turvallisuusuhkia ja minimoimaan vaaratilanteiden sattumista. Ilmatilan käytön rajoituksia voidaan asettaa vain osaan maan pinta-alasta tai kokonaan ja näistä ilmoitetaan julkisesti. (Ostroumov ym., 2025) Vuonna 2022 helmikuussa Venäjän aloittama hyökkäyssota Ukrainaan johti pakotepolitiikan asettamiseen länsimailta Venäjää kohtaan ja Venäjän vastatoimiin. Vain muutama päivä sodan alettua, Venäjä perui monien länsimaalaisten lentoyhtiöiden ylilento-oikeudet sen alueella, mikä vaikeutti yhtiöiden operatiivisia toimia erityisesti Länsi-Euroopan ja Aasian välistä liikennettä. (Ennen & Wozny, 2024) Tämä on toisaalta taas avannut uusia mahdollisuuksia monille aasialaisyhtiöille, jotka hyödyntävät Venäjän ilmatilan käytön tuomaa etua lentoliikenteessä sekä matkustaja- että rahtiliikenteessä, kuten Walsh (2023) toteaa. Tilanne on kuitenkin länsimaisille operaattoreille hankala, sillä niiden kustannukset, päästöt ja lentoajat ovat nousseet huomattavasti, samalla heikentäen yhtiöiden kilpailuetua suhteessa toimijoihin, jotka pystyvät hyödyntämään lyhyempiä lentoreittejä. (Ostroumov ym., 2025)

Lähi-itä on yksi maailman kiistanalaisimmista alueista ja sen poliittiset sekä taloudelliset toimintojen vaikutukset näkyvät maailmanlaajuisesti. Vuonna 2017 erimielisyydet poliittisista asioista johtivat monen Lähi-idän maan, kuten Saudi-Arabian, Bahrainin, Arabiemiirikuntien ja Egyptin, laatimiin ilmatilan sulkemisiin qatarilaisille lentoyhtiöille. Sululla oli suuri negatiivinen vaikutus mm. Qatar Airwaysin toiminnalle ja kiinalaisille yhtiöille, jotka joutuivat uudelleen reitittämään lentonsa.

Ilmatilan sekä vesialueiden käytön takia Qatar menetti sen logistisen edun, joka kattoi koko maan bruttokansantuotteesta jopa 90 %. (Kucsera, 2021)

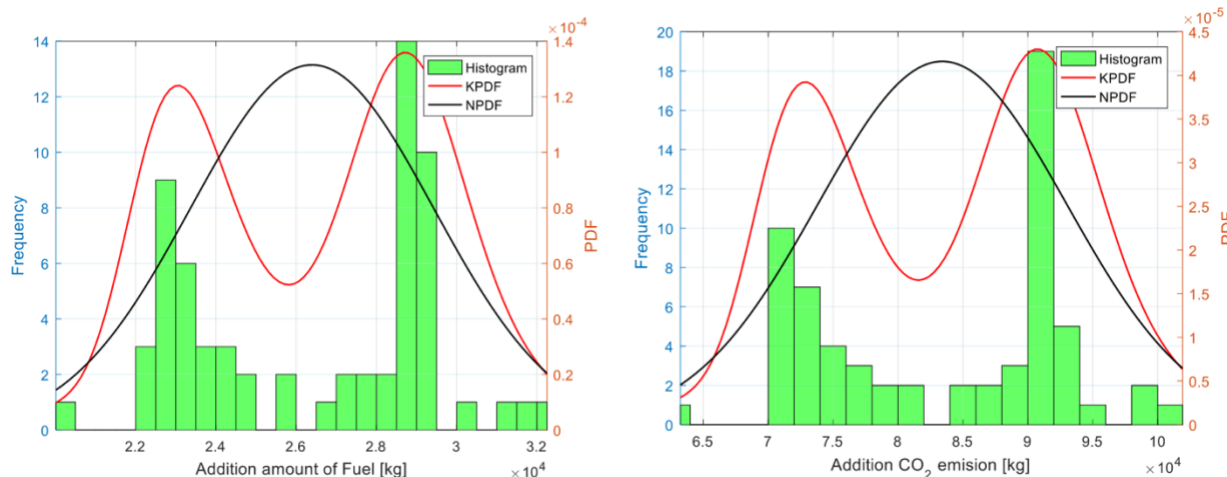
Lentoliikenteen operatiivista tehokkuutta voidaan arvioida HFE-mittarilla (Horizontal Flight Efficiency), joka kuvaa kuinka lähellä todellinen reitti on optimaalista reittiä kahden lentokentän välillä. Mitä lähempänä lennetty reitti on lyhyintä mahdollista reittiä, sitä korkeampi on HFE-arvo sekä sitä tehokkaampi lento on. Asteikko vaihtelee nollan ja yhden välillä, ja mitä lähempänä arvo on yhtä, sitä tehokkaammin lento noudattaa kahden pisteen välistä optimaalista reittiä. Poikkeamat mittarissa saattavat johtua mm. ilmatilarajoituksista, sääolosuhteista, sotilaallisista rajoituksista tai muista turvallisuusjärjestelyistä, kuten ilmenee Ostroumovin ym. (2025) tutkimuksesta.



Kuvio 1 Lennon AY73 (Helsinki – Tokio) ylimääräinen lentoreitin pituus (ΔL) ja lentotehokkuus (HFE) (Ostroumov ym., 2025).

Kuten kuvion 1 vasemmanpuoleisesta histogrammista voidaan huomata, että lento Helsingistä Tokion Naritan kentälle pitenee merkittävästi ja sen vaihteluväli on noin 2900 kilometrin ja 4600 kilometrin paikkeilla, mikä korostaa pituuseroja normaaliin reittiin verrattuna. Tämä näkyy erityisesti eurooppalaisten yhtiöiden keskuudessa, kun konfliktialuetta jouduttiin kiertämään. Suurimmassa osassa tapauksista ero optimaaliseen reittiin on 3200–3400 kilometrin tai 4000–4100 kilometrin välillä eli jakaumassa on selvästi kaksi huippua, mikä johtuu valinnasta lentää joko Jäämeren yli tai Venäjän eteläpuolen kautta. (Ostroumov ym., 2025)

HFE:n ja ylimääräisen lentoreitin välillä on selvä korrelaatio – mitä enemmän reitti pitenee, sitä pienempi lentotehokkuus on. Tämä selittää diagrammien samankaltaisen jakautumisen. Näin ollen voidaan myös oikeanpuoleisesta histogrammista todeta, että todellinen lentoreitti on tyypillisesti huomattavasti optimaalista reittiä pidempi. (Ostroumov ym., 2025)



Kuvio 2 Polttoaineen ja hiilidioksidipäästöjen lisääntyminen ilmatilan sulun seurauksena reitillä Helsinki – Tokio (Ostroumov ym., 2025).

Pidemmillä lentoreitillä on myös vaikutuksensa polttoaineen kasvavaan kulutukseen, kuten Ostroumovin ym. (2025) taulukosta voidaan havaita. Ylimääräisen polttoaineen kulutuksen määrä vaihtelee reitillä suurin piirtein 21 000 kilogramman ja 32 000 kilogramman välillä, joten pelkästään kiertoreitin aiheuttamat lisäpolttoainekulut voivat olla merkittävä osuus lennon kokonaiskulutuksesta ja yhtiön operatiivisista kustannuksista. Erityisesti pitkällä lennolla polttoaine muodostaa suuren osan kuluista, joten muutos reitissä saattaa kasvattaa taloudellisia vaikutuksia. (Ostroumov ym., 2025)

Hiilidioksidipäästöt kulkevat käsikädessä polttoaineen kulutuksen kanssa, joten lisäpolttoaineen päästöt johtavat suurempiin päästöihin. Näiden identtisyys on havaittavissa myös kuvio 2 histogrammeissa. Päästöt vaihtelevat karkeasti 7 000 kilogramman ja 10 000 kilogramman välillä, mikä osoittaa, että yksittäisen lennon päästöt voivat kasvaa moninkertaisesti pelkästään reittimuutoksen seurauksena. (Ostroumov ym., 2025)

Datan perusteella voidaan todeta, että ilmatilan sulkemisella on ollut suuri vaikutus lentoyhtiöiden operatiivisten toimintojen ja kulujen kannalta sekä samalla lentokoneiden energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys ovat kärsineet. Reittipoikkeamien lisäkilometrit ovat heikentäneet kokonaistehokkuutta, mikä näkyy HFE-mittarin laskuna suhteessa optimaaliseen reittiin. Laajemmassa kuvassa katsottuna data heijastaa sitä, kuinka herkkä lentoverkosto on geopolittiselle muutokselle ja kuinka se on riippuvainen vapaasta ilmatilan käytöstä, jotta toiminta pysyy taloudellisesti ja ympäristöllisesti kestäväällä pohjalla.

3.3 Pandemiat ja terveyskriisit lentorahdissa

Pandemiat ja terveyskriisit ovat merkittäviä ulkoisia häiriöitä toimitusketjuissa, koska ne voivat aiheuttaa samanaikaisia tarjonnan ja kysynnän shokkitiloja sekä häiritä tuotantoa ja jakelua globaalisti. Ilmakuljetuksissa vaikutukset korostuvat erityisesti kapasiteettirakenteen vuoksi. Tämä tuli ilmi pandemian aikaan, jolloin matkustajaliikenteen voimakas väheneminen paljasti ilmarahdin riippuvuuden matkustajalentojen mukana tarjottavasta kapasiteetista. (Ningseh & Tohir, 2025)

COVID-19-pandemian aikana ilmailuala kohtasi murroksen, kun sen rakenteet joutuivat merkittäviin muutoksiin. Lentorahdin kapasiteetti ja kysyntä olivat epätasapainossa, sillä rahdin kapasiteetti väheni voimakkaasti, kun taas kysyntä kasvoi. Kansainväliset matkustusrajoitukset aiheuttivat matkustajalentojen merkittävän vähentymisen, minkä takia kaupallisen lentokoneen ruumassa liikkuvan rahdin (engl. Belly cargo) kapasiteetti koki samalla romahduksen. (Ningseh & Tohir, 2025) Toisaalta pandemian aikana kriittisten tavaroiden, kuten maskien, lääkkeiden ja rokotteiden kuljetus vaati suurempaa kapasiteettia lentokuljetuksilta (Rodbundith ym., 2021). Kuluttajien ostokäyttäytyminen on siirtynyt entistä vahvemmin kivijalkakaupoista verkkokauppoihin, mikä kuormitti erityisesti pandemian aikana logistiikkajärjestelmiä ja korosti toimitusketjujen joustavuuden merkitystä. Globaalin verkkokauppasektorin jatkuva kasvu on viime vuosina noussut myös yhdeksi tärkeimmistä kansainvälisen lentovolyymin kasvun moottoreista erityisesti pandemian jälkeisenä aikana. (Zheng ym., 2024)

Vaikka matkustajalennot alkoivat palautumaan pandemian hellittäessä, lentorahdin kapasiteettitarjonta ei pysynyt kuljetuskysynnän jatkuvan kasvun tahdissa. Kapasiteetin romahduksesta kertoo myös Kansainvälisen ilmakuljetusliiton (IATA, 2025) data, jonka perusteella rahdin kysyntä tonnakilometreinä (engl. Cargo Tonne Kilometers, CTK) mitattuna, kasvoi 11,3 %, mutta tarjolla oleva kapasiteetti (engl. Available Cargo Tonne Kilometers, ACTK) kasvoi vain 7,4 %. Tämä osoittaa, että pandemian vaikutukset eivät olleet väliaikaisia, vaan jättivät pidempiaikaisia seurauksia kapasiteettirakenteeseen ja tasapainoon markkinoilla. Vaikutukset ilmakuljetuksiin eivät siis rajoittuneet ainoastaan operatiivisiin häiriöihin, vaan paljastivat sen rakenteelliset haavoittuvuudet ja riippuvuudet sekä korostivat verkostojen sopeutumiskyvyn ja ennakoivan riskienhallinnan merkitystä globaaleissa toimitusketjuissa. (Ke ym., 2025)

3.4 Luonnonkatastrofit lentoliikenteessä

Luonnonkatastrofit luovat merkittävän ulkoisen häiriön uhan toimitusketjuille, sillä ne syntyvät täysin toimitusketjujen operaattoreiden vaikutusmahdollisuuksien ulkopuolella ja ne voivat aiheuttaa laajoja häiriöitä samanaikaisesti eri aloilla (Craighead ym., 2007; Kleindorfer & Saad, 2005).

Tällaisia katastrofeja voivat olla esimerkiksi maanjäristykset, hurrikaanit, tulivuorenpurkaukset ja myrskyt (Kleindorfer & Saad, 2005; Janić, 2019; Gu ym., 2024). Laajempia vaikutuksia voivat aiheuttaa tulivuorenpurkaukset, sillä purkauksesta aiheutunut tuhka voi levitä suuremmalle alueelle, mikä johti esimerkiksi laajoihin ilmatilansulkuihin, kuten vuonna 2011 nähtiin Eyjafjallajökull - tulivuoren purkautuessa Islannissa. Purkauksen takia tuhansia lentoja jouduttiin perumaan jopa Euroopan ulkopuolella aiheuttaen valtavat tappiot operaattoreille. (Gu ym., 2024)

Ilmastonmuutoksen voimistuminen viime vuosikymmenten aikana on keskeisesti vaikuttanut luonnonkatastrofien esiintyvyyden kasvuun (Touloumidis ym., 2025), minkä vuoksi niihin varautuminen on olennainen osa lentorahdin riskienhallintaa. Lentorahti on erityisen altis luonnonkatastrofien vaikutuksille, sillä ne voivat aiheuttaa vaurioita kuljetusinfrastruktuurille lisäten kunnossapidon korjausten kustannuksia (Gu ym., 2024). Lisäksi niihin varautuminen edellyttää investointeja kestävämpiin ja adaptiivisempiin ratkaisuihin. Luonnonkatastrofit eivät pelkästään vaikuta infrastruktuurivahinkoihin, vaan lisäävät myös epäsuoria kustannuksia, jotka liittyvät usein operatiivisiin keskeytyksiin ja menetettyihin liiketoimintamahdollisuuksiin. (Touloumidis ym., 2025) Tämä korostuu lentorahdintoiminnassa, jossa aikakriittisyys korostaa häiriöiden vaikutuksia toimitusvarmuuteen. Gu ym. (2024) painottavat tutkimuksessaan, kuinka sään ääri-ilmiöt vaikuttavat negatiivisesti toimitusketjujen tehokkuuteen ja kokonaiskustannukset voivat kasvaa hyvinkin korkeiksi. Laajemmassa mittakaavassa taloudelliset menetykset voivat nousta jopa miljooniin dollareihin liikennesektorilla. Taloudellisten vaikutusten suuruuteen kuitenkin vaikuttaa myös infrastruktuurin taso, ilmasto-olosuhteet ja sopeutumiskyky. (Gu ym., 2024)

4 Lentorahdin riskienhallinta ulkoisissa häiriötilanteissa

Viime vuosikymmeninä toimitusketjujen toimintaa on häirinnyt monet erilaiset tekijät, kuten taloudelliset kriisit, sodat ja pandemiat. Koska näillä on suuri vaikutus muun muassa lyhytaikaiseen suorituskyykyyn, on se vaatinut toimitusketjujen osapuolilta entistä enemmän riskienhallintaa. (Tang, 2006)

Tutkijoiden määritelmien mukaan riskienhallinta tarkoittaa yrityksen toimia, joiden avulla se tunnistaa, arvioi ja hallitsee toimintaansa liittyviä riskejä. Riskienhallinnan tarkoituksena ei ole poistaa riskejä kokonaan, vaan pikemminkin auttaa organisaatiota tekemään tietoisia päätöksiä, mitä riskejä kannattaa ottaa ja kuinka niitä voidaan hallita tehokkaasti. (Hopkin, 2017; Young & Tomski, 2002) Perinteisesti riskienhallinnan keskiössä on ollut negatiiviset vaikutukset, kuten taloudellisten tappioiden ja budjetin epävakauden minimointi. Riskit voivat aiheuttaa joko suoria menetyksiä tapahtuneista vahingoista tai epävarmuuden aiheuttamia menetyksiä, jotka voivat johtaa resurssien virheelliseen kohdentamiseen. Tämän päivän maailmassa käsitys riskienhallinnasta on kuitenkin laajentunut ja myös riskien aiheuttamat kilpailuetumahdollisuudet on otettu huomioon päätöksenteossa. Riskienhallinnan alkuperäinen tavoite eli taloudellisen vakauden ylläpitäminen ei riitä yksinään enää kuvaamaan riskinottoon liittyviä haasteita, vaan sen tehtävänä on myös riskinottoon liittyvien mahdollisuuksien huolellista analysointia, joiden avulla voidaan edistää organisaation menestystä. (Young & Tomski, 2002)

Riskienhallintaa voidaan tarkastella organisaation toiminnassa kahdella eri tasolla. Yleisesti se voidaan jakaa operatiiviseen ja strategiseen riskienhallintaan, jotka eroavat erityisesti aikavälin, tavoitteiden ja riskin luonteen perusteella. Singh ja Hong (2020) myös korostavat, kuinka molempien aikavälien toimia on kehitettävä, jotta organisaatio pystyy hallitsemaan pitkän aikavälin epävarmuuksia ja päivittäisiä häiriöitä toimitusketjussa.

4.1 Resilienssi lentorahdissa

Lentorahdin riskienhallinnasta puhuttaessa resilienssi on keskeisessä merkityksessä, koska ilmailuala on hyvin herkkä häiriöille ja sen toimintaympäristö on laaja globaali verkosto. Koska toimitusketjut ovat usein monimutkaisia ja globaalisti verkostoituneita järjestelmiä, häiriöt voivat levitä nopeasti muihin verkoston osiin. (Belhadi ym., 2021 ja Janić, 2019)

Resilienssin käsitteelle on tieteellisessä kirjallisuudessa monia eri selityksiä. Resilienssin käsite esitettiin tieteellisessä kirjallisuudessa Hollingin (1973) toimesta, jossa hän määritteli resilienssin käsitteen näin: ”Resilienssi määritellään järjestelmän kykynä absorboida häiriöitä ja säilyttää keskeiset rakenteensa ja toimintonsa muutoksista huolimatta”. Samaan aikaan hän esitti termin ”vakaus”, joka puolestaan viittaa järjestelmän kykyyn palautua tasapainotilaan tilapäisen häiriön jälkeen. Näin ollen resilienssi tarkoittaa järjestelmän kykyä säilyä toiminnassa muuttuvan ympäristön keskellä, kun taas vakaus liittyy häiriöstä palautumiseen ja sen jälkeiseen tasapainoon. (Holling, 1973) Vaikka Holling erotti vakauden ja resilienssin toisistaan, myöhemmässä kirjallisuudessa resilienssiä käytetään käsitteenä, joka sisältää sekä häiriöiden sietokyvyn että kyvyn palautua siitä jälkeensä. Esimerkiksi teknisissä järjestelmissä resilienssi on määritelty passiivisen eloonjäämisasteen (luotettavuus) ja proaktiivisen eloonjäämisasteen (palautuminen) summaksi, mikä kuvaa järjestelmien vankkuutta häiriöolosuhteissa. (Janić, 2019) Tämä kuvastaa sitä, että nykypäivän kirjallisuudessa resilienssin käsitettä käytetään usein laajempaan käsitteenä, joka kattaa myös järjestelmän vankkuuteen ja palautumiskykyyn liittyviä ominaisuuksia. Hosseini (2019) taas määrittelee resilienssin järjestelmän kyvyksi ennakoita ja sopeutua häiriöihin niin, että kriittiset toiminnot säilyvät ja suorituskyky palautuu tehokkaasti normaalitasolle. Samalla tavalla organisatorisella tasolla tämä esiintyy kykynä hallita ympäristön heilahteluita ja nopeuttaa toipumista hyödyntämällä joustavia rakenteita. Resilienssin käsitettä voidaan myös soveltaa lentorahtin kontekstiin, jossa lentorahtiverkoston resilienssi voidaan määritellä sen kykynä kestää häiriötapahtumia ja säilyttää toimintakyky vaaditulla turvallisuustasolla. (Janić, 2019)

4.2 Operatiiviset riskienhallintakeinot

Operatiivinen riskienhallinta keskittyy päivittäisten toimintojen tehokkuuteen ja olemassa olevien resurssien avulla päivittäisistä riskeistä selviytymiseen. Toisin sanoen se liittyy toimenpiteisiin, joilla organisaatiot hallitsevat toimitusketjun häiriöitä ja takaavat operoinnin jatkuvuuden. Operatiivinen taso siis painottuu lyhyen aikavälin ongelmien ratkaisemiseen ja toiminnan tasaisempaan menestykseen. Singh ja Hong (2020), Ojha ym. (2018) ja Kristal ym. (2010) nimittävät operatiivisia riskienhallintakeinoja eksploitaatiokäytännöiksi, millä viitataan käytössä olevien resurssien ja prosessien tehokkaaseen hyödyntämiseen sekä niiden jatkuvaan kehittämiseen. Lentorahtin näkökulmasta eksploitaatiokäytäntöjä voivat olla esimerkiksi reittien ja rahtien priorisointi, lentokoneiden konversio tai uudelleenreitittäminen. (Huang ym., 2022; Wu ym., 2025b; Zheng ym., 2024)

Operatiiviset riskienhallintakeinot ovat keskeisessä osassa lentorahdin ulkoisten häiriötilanteiden lauetessa, koska ne mahdollistavat nopean reagoinnin odottamattomiin muutoksiin senhetkisellä resurssien määrällä. Koska lentorahtiverkosto toimii tiukasti aikataulutettuna ja globaalisti moniin toimitusketjuihin kytkettynä, on ulkoisilla häiriöillä, kuten ilmatilan sulkemisilla tai sään ääriolosuhteilla merkittävät vaikutukset sen koko toimintaan. Juuri tällaisissa tilanteissa operatiiviset riskienhallintakeinot ovat avainasemassa, jolloin tarve kuljetuskapasiteetin joustavalle hyödyntämiselle ja tavaravirtojen uudelleenallokoinnille kasvaa, jotta toiminnan mutkaton jatkuvuus saadaan turvattua. Näihin toimintoihin kuuluu muun muassa reittimuutokset, kapasiteetin uudelleenallokointi, vaihtoehtoisten hubien hyödyntäminen ja väliaikaiset operatiiviset ratkaisut. (Huang ym., 2022; Wu ym., 2025b)

4.2.1 Uudelleenreititys

Reittimuutokset muodostavat keskeisen operatiivisen keinon hallita häiriötilanteita ja palauttaa kuljetusjärjestelmän toiminta mahdollisimman nopeasti ja pienin kustannuksin takaisin normaalille tasolle. Lentorahdin ollessa kompleksi verkostokokonaisuus, se on altis operatiivisille häiriöille. (Janić, 2019) Tämä voi aiheuttaa muutoksia lentojen aikatauluun ja estää suunnitellun reitin toteutumisen, minkä takia lentorahtioperaattoreiden on suunniteltava kuljetusreitit sekä aikataulu uudelleen. (Wu ym., 2025b) Reittimuutosten avulla mahdollistetaan se, että alkuperäinen kuljetusreitti korvataan vaihtoehtoisella ratkaisulla, joka mukautuu muuttuviin olosuhteisiin ja pyritään minimoimaan häiriöiden leviäminen kuljetusverkossa. (Wu ym., 2025b) Operatiivinen suunnittelu käytännössä toteutetaan usein peräkkäisenä palautusprosessina, jossa lennot ja lentokoneet aikataulutetaan uudelleen ennen rahdin käsittelyä, minkä jälkeen rahti sijoitetaan päivitettyihin lentoihin uuden aikataulun mukaisesti. Tämä tarkoittaa siis, että kuljetusratkaisut mukautetaan jo valmiiksi tehtyihin aikataulumuutoksiin ilman, että rahdin uudelleenjärjestelyä on huomioitu. (Huang ym., 2022)

Huang ym. (2022) ja Zhou ym. (2026) painottavat kuitenkin, että rahdin kuljetusvaatimusten huomiotta jättäminen lentojen palautusvaiheessa voi johtaa tilanteisiin, joissa rahdille ei ole riittävästi kapasiteettia uusilla lennoilla tai suunnitellut kuljetusreitit katkeavat. Tilanne saattaa johtaa viivästyksiin, lisäpysähdyksiin matkalla tai uuden kuljetusmahdollisuuden odotukseen. Tällaisen skenaarion varalta Huang ym. (2022) ehdottavat vaihtoehtoiseksi toimintamalliksi integroitua palautusmallia, joka käytännössä tarkoittaa lentojen uudelleenajankäytön, reitityksen koneyksilöiden ja rahdin yhdistämisen ratkaisua samanaikaisesti. Integroitu suunnittelu mahdollistaa kuljetustarpeiden huomioon ottamisen jo lentojen uudelleenjärjestelyvaiheessa, minkä avulla

keskeiset kuljetusyhteydet voidaan säilyttää ja käytettävissä oleva kapasiteetti voidaan hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla. (Huang ym., 2022; Zhou ym. 2026)

Pelkästään rahtioperaattoreiden ja belly cargo -operaattoreiden välillä uudelleenreitityksessä on eroavaisuuksia. Belly cargo -operaattoreiden päätavoitteena on minimoida matkustajien siirtymät ja säilyttää mahdollisimman mutkaton reitti määränpäähän (Rodrigue, 2020), sillä päämäärään pääsyn monimutkaistuminen voi heikentää matkustajien asiakaskokemusta. (Wu ym., 2025b) Tämän takia matkustajakoneiden ruumassa kulkevaa rahtia rajoittaa matkustajien asettamat aikataulupaineet ja kapasiteetin priorisointi matkustajille. Pelkästään rahtia kuljettavien operaattoreiden toiminnassa rajoittavia tekijöitä on vähemmän, koska rahdilla ei ole subjektiivista preferenssiä kuljetusreitien suhteen, vaan tavoitteena on saada rahti kuljetettua perille määräajan puitteissa. Tämän takia rahtia voidaan ohjata joustavammin vaihtoehtoisille reiteille useammankin välilaskun kautta. (Wu ym., 2025b)

4.2.2 Matkustajakoneiden konvertointi, *preighter-koneet*

COVID-19 aiheutti yhden suurimmista dilemmoista modernin ilmailun historian aikana, kun kansainväliset matkustusrajoitukset, rajojen sulut ja turvallisuushuolet ajoivat lentoliikenteen radikaalisti alas vuosina 2020–2021 (To & Lee, 2023). Matkustajakysynnän romahtamisen vuoksi lentorahdin tarve kasvoi merkittävästi, kun lääkinnällisten tarvikkeiden kuljetustarve lisääntyi. Näihin kuuluivat muun muassa maskit, hengityslaitteet sekä muut suojarahusteet. (Rodbundith ym., 2021; Zheng ym., 2024) Tämän lisäksi myös ihmisten kulutustottumusten muuttuminen enemmän nettipohjaiseksi, on vaikuttanut positiivisesti ilmarahdin kysyntään (Zheng ym., 2024; Deng ym., 2022). Tämä kysynnän rakenteen muutos johti tilanteeseen, jossa lentoyhtiöt etsivät uusia tapoja hyödyntää niiden käyttämättömänä oleva kalusto. Yksi merkittävä ratkaisu oli muuntaa matkustajakoneet rahtikäyttöön, mitä kutsutaan *passenger-to-freighter*-konversioksi (P2F) (Zheng ym., 2024; Lu ja Lu, 2023)

P2F-konversiossa matkustajakone voidaan muuntaa rahtikoneeksi poistamalla matkustamosta istuimet ja hyödyntää niiden tuottamaa tilaa rahtilastien kuljettamiseen (Lu ja Lu, 2023). Vain tilapäiseen käyttöön muutettuja koneita kutsutaan *preightereiksi*, joiden etuna on mahdollisuus palauttaa kone takaisin matkustajakäyttöön kysynnän palautuessa. Haastavimpina pandemiavuosina yli 200 lentoyhtiötä konvertoi koneitaan *preightereiksi*, mikä kasvatti niiden lukumäärää maailmassa tuhansiin yksilöihin. Matkustajakysynnän romahtamisen vaikutuksesta koneiden konvertoiminen näyttöytyi avaintekijäksi selviytyäkseen pandemian luomasta sekasorrosta, sillä sen avulla lentoyhtiöt pystyivät kompensoimaan taloudellisia menetyksiä. Toimintatavasta muodostui merkittävä

tulonlähde lentoyhtiöille, ja joissain tapauksissa sen osuus nousi 10–15 prosentista 30 prosenttiin kaikista lentoyhtiön tuloista. (Zheng ym., 2024)

Zheng ym. (2024) loivat lentoyhtiöiden integroidun taloudellisen mallin, jolla on mahdollista analysoida lentoyhtiöiden P2F-konversiostrategioita pandemian aiheuttamien markkinashokkien ja pandemiasta toipumisen aikana. Mallissa on otettu huomioon rahtikuljetuksen tuotot, konversiosta koituvat kustannukset ja matkustajamarkkinoiden lyhyen ajan ennusteisiin. Tutkimuksessa luodun analyysin perusteella ratkaisut voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin:

1. Konversiota ei tehdä, jos rahtimarkkinoilta saatava lisätuotto ei kata konversiokustannuksia
2. Lentoyhtiö tekee tilapäiset konversiot pandemian aikana ja palauttaa osan koneista takaisin matkustajakäyttöön, kun matkustajamarkkinat alkavat elpyä
3. Konversiota jatketaan pidempään, mikäli rahtikysyntä pysyy korkeana

Valinta näiden vaihtoehtojen välillä riippuu erityisesti siitä, kuinka nopeasti matkustajamarkkinoiden kysyntä alkaa palautua. Päätös konversiosta ei ole pandemian aikana siis irrallinen, vaan siihen vaikuttaa matkustajamarkkinoiden tulevaisuuden näkymät, minkä vuoksi tutkimus erottaa pandemian aikaisen ja jälkeisen ajan. Jos matkustajamarkkinoiden elpymiseen on uskoa, tilapäinen konversio on optimaalisempi ratkaisu, kun taas toisaalta näkymien ollessa heikkoja, pidempikestoinen konversio voi muuttua operaattorille houkuttelevammaksi. (Zheng ym., 2024)

Tutkimuksessa painottuu idea siitä, että konversiopäätöksiä ohjailee kannattavuus matkustaja- ja rahtimarkkinoiden välillä. Lentoyhtiöt siis vertaavat skenaarioita siitä, kumpi näistä voisi tuottaa enemmän arvoa käytettävissä olevalle kapasiteetille. Pandemian viedessä suuren osan matkustajatuotoista, useat yhtiöt siirsivät kapasiteetin käytön matkustajista rahtiin. Tutkimus kuitenkin painottaa sitä, että kaikissa tapauksissa konversio ei ole optimaalinen ratkaisu, sillä siihen liittyy merkittäviä kustannuksia eikä sen tuoma lisätuotto välttämättä kata konversiosta syntyneitä kustannuksia. Tämän takia Zheng ym. torjuvat ajatuksen siitä, että kaikki käyttämättömäksi jääneet matkustajakoneet kannattaisi kriisiaikana siirtää rahtikäyttöön. Zheng ym. (2024) nostavat lisäksi esiin yhtiöiden välisen kilpailutilanteen sekä matkustaja- että rahtimarkkinoilla vaikutuksen operaattoreiden kannusteisiin konversiota ajatellen.

4.2.3 Riskien priorisointi

Riskien priorisointi on lentorahdin operatiivisen riskienhallinnan näkökulmasta tärkeä, sillä sen toimintaa voi hankaloittaa samaan aikaan monet eri riskit, kuten turvallisuus-, kapasiteetti tai

ympäristöriskit, jotka voivat johtaa taloudellisiin menetyksiin. Usein näiden riskien vaikutukset voivat mennä päällekkäin, minkä takia niiden hallinta ja huomioonottaminen on vaikeaa. (Kanmaz ja Kütahya, 2025) Tämän vuoksi riskien jatkuva priorisointi on avaintekijä riskienhallinnassa, sillä sen avulla resurssit voidaan kohdistaa kriittisimpiin uhkiin ja minimoida niiden aiheuttamat seuraukset. Erityisesti globaalit kriisit, kuten COVID-19 -pandemia osoitti, kuinka puutteellinen priorisointi voi johtaa kapasiteetin epätasapainoon ja taloudellisiin tappioihin lentorahtitoiminnassa. (Shaban ym., 2021)

Riskien priorisointi lentorahdin operatiivisessa ympäristössä toteutetaan toisiaan täydentävien menetelmien avulla, joiden tarkoituksena on järjestää riskit ja niiden hallintakeinot tärkeysjärjestykseen. *Multi-Criteria Decision-Making* (MCDM) eli monikriteerinen päätöksenteko on yksi keskeisimmistä lähestymistavoista riskien priorisoinnissa. Sen avulla riskejä arvioidaan useiden samantyylisten kriteerien perusteella, joita voivat olla esimerkiksi kustannukset, operatiivinen tehokkuus, turvallisuus ja regulaation noudattaminen. Monikriteerinen päätöksenteko mahdollistaa erilaisten riskien laajan vertailun tilanteessa, jossa pelkästään yksi mittari ei riitä kuvaamaan riskin merkittävyyttä. (Kanmaz ja Kütahya, 2025) Varsinkin monimutkaisissa toimitusketjuissa, kuten lentorahdissa, monikriteerinen päätöksenteko on merkittävä toimintatapa varmistamaan sen tehokkaan toiminnan ja parhaan mahdollisen asiakastyytyväisyyden optimaalisin kustannuksin (Khan ym., 2018; Taherdoost ja Madanchian, 2023).

Kanmaz ja Kütahya (2025) esittävät sumeaa logiikkaan perustuvan Fuzzy TOPSIS-mallin, joka yhdistää asiantuntijoiden arviot ja kvantitatiivisen analyysin. Mallin avulla voidaan järjestää riskienhallintastrategiat paremmuusjärjestykseen sen perusteella, kuinka lähellä ne ovat optimaalista ratkaisua tai vastaavasti kuinka kaukana huonoimmasta vaihtoehdosta. Kvantitatiivisen analyysin ja asiantuntijoiden arvioiden yhdistämisen ansiosta epävarmuus otetaan huomioon (Rashidi ja Cullinane, 2019), mikä on olennainen osa lentorahdin ennakoimattomassa toimintaympäristössä.

4.2.4 Reittien ja rahdin priorisointi

Pandemian tai geopoliittisen kriisin kaltaisen tapahtuman aiheuttaessa kapasiteettirajoitteita lentoyhtiöille, vaaditaan rahdin ja reittien priorisointia, koska osa reiteistä saattaa muuttua kysynnän vaihtelun vuoksi ylikuormitetuksi (engl. Hot-selling) tai vastaavasti vähän käytetyksi (engl. Underutilized). Tällaisessa tilanteessa reittien välille syntyy epätasapainoa, mikä voi johtaa taloudellisiin tappioihin. (Shaban ym., 2021; Feng ym., 2015) Hot-selling-reitti voi syntyä kysynnän epätasaisesta jakautumisesta eri alueiden välillä tai ulkoisista häiriöistä, mikä johtaa reittien ylikuormittamiseen ja rahdin ylibuukkauksiin. Underutilized-reitti taas vastaavasti syntyy, kun

kapasiteettia ei saada täytettyä ulkoisten häiriöiden takia, minkä takia sen käyttö on tehotonta. (Shaban ym., 2021)

Shaban ym. (2021) ehdottavat epätasapainoisen tapauksen ratkaisemiseen Puppet Cournot -mallia, jonka avulla voidaan jakaa kokonaiskysyntä hot-selling- ja underutilized-reittien välille. Malli perustuu ajatukseen, että kokonaiskysyntä jakautuu näiden reittien välille ja kummankin optimaalinen määrä riippuu toisen reitin tilanteesta, joten se huomioi riippuvuuden eikä tarkastele reittejä yksittäisinä tekijöinä. Tavoitteena ei ole siis maksimoida yhden reitin kokonaistuotto, vaan ottaa verkosto kokonaisuutena huomioon, jotta hot-selling-reitin ylikuormituksen kustannukset pienenevät ja underutilized -reitin vajaakäyttö vähenee. Näin rahti saadaan allokoitua niin, että kokonaiskysyntä on tasaisesti jaettuna ja lentoyhtiön kokonaistuotto voidaan maksimoida. (Shaban ym., 2021) Aina kuitenkin asiakkaiden saaminen mukaan noudattamaan optimaalista jakoa ei ole helppoa, joten mallia täydennetään määrälennuksella (engl. Quantity discount). Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että asiakas saa alennuksia vähentämällä tilauksiaan hot-selling-reiteillä ja siirtävät niitä underutilized-reiteille, minkä avulla kapasiteetin käytön epätasapainoa saadaan tasoitettua. Shaban ym. painottavat kuitenkin, että kyseinen toimintatapa on kelvollinen vain sen lisäessä kokonaistuottoa.

Feng ym. (2015) esittävät sidontamekanismin (engl. Tying), jonka avulla on mahdollista hyödyntää vähemmän kuormittuneiden reittien tyhjää kapasiteettia ja helpottaa kysynnän kuormittamia reittejä. Se on mekanismi, jonka perusideana on yhdistää hot-selling- ja underutilized-reitit niin, että suosittujen reittien kapasiteetin saaminen edellyttää myös vähemmän käytettyjen reittien käyttöä. Käytännössä lentoyhtiö valitsee tiettyjä toimijoita, joille annetaan enemmän kapasiteettia kysytymmille reiteille, sillä ehdolla, että nämä sitoutuvat tilaamaan samalla kapasiteettia vähemmän kuormitetuilta reiteiltä. Nämä niin sanotut partnerit valitaan asiakkaiden joukosta, jotka käyttävät kapasiteettia tehokkaimmin ja joiden avulla operaattorin kokonaisvoitto saadaan maksimoitua. Tämä tarkoittaa sitä, että huonommin kapasiteettia hyödyntävät asiakkaat ohjataan käyttämään vähemmän kysytyjä reittejä. Fengin ym. (2015) mekanismi perustuu siis resurssin vipuvaikutukseen, jonka avulla lentoyhtiöt pystyvät ohjaamaan kysyntää ja optimoimaan kapasiteetin käytön.

4.3 Strategiset riskienhallintakeinot

Strateginen riskienhallinta taas tarkastelee organisaation pitkän aikavälin päätöksiä ja tulevaisuuden kehityskulkujen rakentamista. Sen pääpainona on tulevaisuuden riskien lieventäminen ja niihin ennakoiminen kehittämällä uusia toimintatapoja, joiden avulla yritys pystyy mukautumaan muuttuvaan toimintaympäristöön. (Singh ja Hong, 2020) Lentorahdissa tällaiset riskit voivat liittyä

esimerkiksi geopolitiisiin häiriöihin tai pandemian aiheuttamiin markkinakysynnän vaihteluihin. Ojha ym. (2018) käyttävät strategisille riskienhallintakeinoille nimitystä eksploraatio, joka viittaa käytäntöihin, joissa organisaatio kehittää uusia ideoita ja hankkii uutta tietoa ja ratkaisuja toimitusketjun häiriöiden minimoimiseksi. Kristalin ym. (2010) mukaan tällaiset käytännöt liittyvät usein logististen prosessien, resurssien tai vaihtoehtoisten toimintamallien etsintään. Muutokset voivat lentorahdin kontekstissa tarkoittaa digitalisaation hyödyntämistä, laivastonhallintaa tai verkoston hajauttamista (Li ym., 2026; Zheng ym., 2024; Miao ym., 2026; Hong ym., 2025).

4.3.1 Verkoston hajauttaminen

Lentoverkosto koostuu useista lentokentistä ja niiden välisistä yhteyksistä, joissa verkon toiminta perustuu lentojen operointiin ja solmujen välisiin yhteyksiin. Lentoverkostat ovat usein keskittyneitä eli sen rakenne ei ole tasaisesti jakautunut, vaan suuri osa yhteyksistä on keskittynyt muutaman suurimman solmukohdan toimintaan. Näin ollen verkosto on heterogeenisesti jakautunut: suurin osa lentokentistä sijaitsee periferia-alueella ja ovat riippuvaisia keskeisistä solmukohtista, kun taas muutama merkittävin solmukohta vastaa suurimmasta osasta liikennettä ja hallitsee pääosin yhteyksiä. (Li ym., 2026)

Vaikka keskittäminen suurempiin hubeihin mahdollistaa tehokkaan organisoinnin, niin rakenne on hyvin haavoittuvainen häiriötilanteessa, koska suuri osa verkosta on riippuvainen yksittäisistä solmuista (Li ym., 2026; Zhalechian ym., 2018). Kun merkittävä solmukohta kokee ulkoisia häiriöitä, se voi levitä helposti laajemmalle tiiviin verkoston myötä aiheuttaen toimintakyvyn heikentymistä koko toimitusketjussa. (Yıldız ym., 2023; Zhalechian ym., 2018) Lisäksi solmukohtien läheinen maantieteellinen sijainti eli verkoston tiheys (engl. Density) voi olla kriittinen tekijä ulkoisen häiriötilanteen lauetessa, koska yhden alueen häiriöt voivat vaikuttaa laajasti koko verkkoon eikä ainoastaan paikallisesti. (Zhalechian ym., 2018) Tämä korostaa sitä, kuinka tärkeää maantieteellisesti hajautettu verkosto voi olla toiminnan jatkuvuuden kannalta häiriötilanteissa, sillä se vähentää riippuvuutta yksittäisistä alueista ja rajoittaa häiriöiden leviämistä koko verkkoon. Tämän kaltaiset ongelmat liittyvät usein integraattoreiden toimintaan, koska niiden verkostat ovat erityisen keskittyneitä. Keskittymisen ongelmasta hyvä esimerkki on, kun vuonna 2010 Memphisiin iski luonnonkatastrofi, mikä johti pääsolmukohdan ja 23 muun liitännäissolmun (engl. Spoke) sulkeutumiseen. Tämä johti koko verkoston suorituskyvyn heikkenemiseen, koska kuljetusvirrat olivat riippuvaisia pääsolmukohdasta. (Janić, 2019) Näin ollen merkittävä strateginen riski syntyy

riippuvuudesta yksittäisistä reiteistä ja solmukohdista, minkä vuoksi verkoston hajauttaminen ja vaihtoehtoisten reittien ylläpito ovat keskeisimpiä riskienhallintakeinoja.

Perifeeristen lentokenttien suojaaminen ja ylläpito voidaan nähdä tulevaisuuden kannalta tärkeänä riskienhallintakeinona. Tätä korostaa Li ym. (2026), joiden mukaan lentoverkoston resilienssi ei riipu ainoastaan keskeisten solmukohtien tehokkuudesta, vaan myös perifeeristen lentoasemien roolista verkon varasolmuina. Näin ollen perifeeristen lentokenttien vahvistaminen voidaan nähdä strategisena riskienhallintakeinona, sillä sen avulla pystytään lisäämään redundanssia eli vaihtoehtoisten solmujen määrää. Tämä käytännössä tarkoittaisi esimerkiksi pandemian tai ilmatilan sulun kaltaisessa tilanteessa sitä, että kapasiteettia voitaisiin siirtää varakentille pääsolmukohdan ruuhkautuessa rajoitusten astuessa voimaan. Tämä vahvistaisi samalla palautumiskykyä kriisitilanteessa. (Li ym., 2026)

4.3.2 Strateginen laivastonhallinta lentorahdissa

Laivastonhallinta voidaan nähdä pitkän aikavälin kannattavuuden, ympäristöllisen kestävyuden ja operatiivisen tehokkuuden edistäjänä. Miao ym. (2026) painottavatkin, että laivastonhallinta on yksi lento-operaattoreiden kulmakivistä. Myös Zheng ym. (2024) tutkimuksessa painottuu strateginen näkökulma lentokoneiden konversiosta ja siitä, kuinka se voidaan liittää lento-operaattoreiden pitkän aikavälin kapasiteetin hallintaan ja sopeutumiseen muuttuvaan markkinaympäristöön. Näin ollen on tärkeä tiedostaa, että lentokoneiden muuntaminen rahtikäyttöön ei välttämättä ole pelkästään väliaikainen ratkaisu, vaan se voidaan nähdä myös strategisena muutoksena, jos lentoyhtiön arvio tulevaisuuden matkustajaliikenteen elpymisestä on heikko.

Laivastonhallinnan strateginen merkitys korostuu erityisesti tilanteissa, joissa matkustaja- ja rahtiliikenteen kysyntä eivät pysy samalla tasolla (Zheng ym., 2024; Miao ym., 2026). Tällaisissa tilanteissa lentoyhtiön on arvioitava, millainen laivastorakenne tukee parhaiten liiketoimintatavoitteita, kapasiteetin joustavaa käyttöä ja riskienhallintaa. Näin ollen päätökset esimerkiksi lentokoneiden leasingista, hankinnasta, käytöstä poistamisesta ja konvertoinnista vaikuttavat siihen, kuinka yhtiö pystyy sopeutumaan markkinamuutoksiin. (Miao ym., 2026; Zheng ym., 2024) Tästä näkökulmasta katsottuna laivastonhallinta ei ole vain operatiivinen kysymys, vaan osa laajempaa strategista riskienhallintaa. Miaon ym. (2026) tutkimuksen perusteella, sen tarkoituksena on rakentaa yhtiön kalustosta niin vankan kokonaisuuden, että se kestäisi rahtikysynnän heilahtelut mahdollisimman hyvin ja taloudellisesti kestäväällä tavalla.

Lentorahdin ympäristössä laivastonhallinta ei kuitenkaan rajoitu ainoastaan koneiden hankintaan tai käyttöön, vaan Derigs ym. (2013) tuo esiin myös sen näkökulman, miten laivasto, lentoverkko ja rahtivirrat sovitetaan yhteen. He korostavat tutkimuksessaan, että lentojen valinta, kaluston kohdentaminen, koneiden kierto ja rahdin reititys ovat toisistaan riippuvaisia päätöksiä, minkä takia laivastonhallintaa on tarkasteltava osana koko verkon suunnittelua. Tätä väitettä tukee myös Miaon ym. (2026) näkemys siitä, kuinka laivastonhallinta vaikuttaa pitkän ajan kannattavuuteen, ympäristön kestävyys ja operatiiviseen tehokkuuteen.

Konversion voi toteuttaa joko väliaikaisena ratkaisuna (engl. Preighter), joka oli korona-aikaan monen lentoyhtiön tapa adaptoitua muuttuvaan rahdin ja matkustajien väliseen kysyntään tai pitkäaikaisena matkustajakoneiden muuntamisen rahtikäyttöön. Tämä viittaa siihen, että lentoyhtiö ei odota pelkästään nopeaa paluuta aiempaan markkinatilanteeseen, vaan mukauttaa kalustorakennettaan pidemmän aikavälin kysyntänäkymien perusteella. (Zheng ym., 2024) Zheng ym. korostavat, sitä, kuinka takaisinmuuntaminen luo lisäkustannuksia, minkä takia lyhyt- ja pitkäaikaisen konversion välinen valinta on taloudellisesti merkittävä. Matkustajakoneen muuntaminen varsinaiseksi rahtikoneeksi edellyttää useita teknisiä ja rakenteellisia muutoksia, mikä erottaa preighterin eli väliaikaisen ratkaisun ja pitkäaikaisen rahtikoneen toisistaan. Kirjallisuuden mukaan tällaisia muutoksia ovat esimerkiksi suuren pääkannen rahtioven asentaminen, lattiarakenteen vahvistaminen, lastinkäsittelyjärjestelmän asentaminen sekä muita turvallisuuteen liittyviä muutoksia. (Fendt, 2021; Berlowitz, 2014)

P2F-konversion rinnalla laivastonhallinnan joustokeinona ulkoisessa häiriötilanteessa toimivat leasing ja lay-up-järjestelyt, minkä takia konversiota ei voida tehdä irrallisena päätöksenä (Zheng ym., 2024). Esimerkiksi leasingmarkkinan hintataso vaikuttaa siihen, onko operaattorin järkevämpää lisätä omaa konversioastetta vai hankkia rahtikapasiteettia leasingkoneiden avulla. Lentokoneiden vuokraaminen on yleistynyt viime vuosien aikana ja se tarjoaakin joustavan tavan hallita laivastoa, sillä se on taloudellisesti kannattavampaa monissa tilanteissa eikä se sido suuria määriä pääomaa. (Miao ym., 2026; Zheng ym. 2024) Lay-up eli lentokoneiden väliaikainen varastointi ulkoisen häiriön puhjetessa taas säästää kustannuksia tilanteessa, jossa matkustaja- tai rahtikysyntä on heikkenemässä. Kun laivasto ei ole tehokkaassa käytössä väliaikaisen varastoinnin aikana, niiden aiheuttamat lisäkustannukset pyritään minimoimaan valitsemalla optimaalisin varastointilentokenttä muun muassa maantieteellisin ja logistisin perustein. (Adrienne ym., 2020; Zheng ym., 2024)

4.3.3 Digitalisaation hyödyntäminen lentorahdissa

Ulkoiset häiriöt, kuten pandemia, ilmatilan sulut ja luonnonkatastrofit, lisäävät ennen kaikkea lentorahdin epävarmuutta ja häiritsevät toiminnan jatkuvuutta sekä kapasiteetin saatavuutta (Shaban ym., 2021; Hong ym., 2025). Näin ollen tieteellisessä kirjallisuudessa painotetaan digitalisaation ja toimitusketjun läpinäkyvyyden merkitystä, sillä niiden avulla tilannekuva toimitusketjun sisällä saadaan paremmaksi, koordinointi eri sidosryhmien kanssa muuttuu mutkattommaksi ja uudelleensuunnittelu häiriötilanteiden jälkeen nopeutuu (Li ym., 2025). Esimerkiksi COVID-19 heikensi lentoliikenteen ja koko arvoketjun toimintaa, samalla kun kysyntä lentorahdille kasvoi suhteellisesti merkittävämmäksi (Zheng ym., 2024). Tällaisessa tilanteessa digitaalinen näkyvyys parantaa lentorahtioperaattoreiden ja lentokenttien ketteryyttä ja häiriöstä palautumista (Hong ym., 2025), mitkä ovat olennaisia osia resilienttiä toimitusketjua (Li ym., 2025).

Toimitusketjun näkyvyys voidaan yhdistää digitalisaation tuomiin etuihin, sillä se perustuu koko toimitusketjun tiedon hankintaan, jakamiseen ja yhdistämiseen muiden sidosryhmien kanssa (Jia ym., 2025). Heidän tutkimuksensa mukaan toimitusketju tuottaa runsaasti tietoa esimerkiksi kysynnästä, tarjonnasta, logistiikasta ja rahoituksesta, ja tämän tiedon hyödyntäminen voi auttaa tunnistamaan riskejä varhaisemmassa vaiheessa, reagoimaan häiriöihin nopeammin sekä kohdentamaan resursseja tehokkaammin. Tätä näkökulmaa tukee myös Wangin ja Sarkisin (2021) näkemys siitä, kuinka uudet teknologiat muuttavat logistiikan alaa kolmella päätävällä, jotka ovat toimijoiden yhdistäminen, yhteistyön tukeminen ja uudenlainen arvonluonti. He eivät näe digitalisaation tuoman hyödyn rajoittuvan toimitusketjujen tehokkuuteen, vaan myös suuntana entistä tiiviimmin kytkeytynyttä logistista järjestelmää.

Tällaisen kokonaisuuden rakentaminen on tulevaisuuden häiriöiden varalta avaintekijä, kuten Li ym. toteavat. Tämän perusteella digitalisaatio ei näyttäydy ainoastaan päivittäisen tehokkuuden työkaluna, vaan strategisena riskienhallintakeinona, jolla on tärkeä rooli toimitusketjun läpinäkyvyyden ja koordinoinnin välineenä (Jia ym., 2025; Li ym., 2025). Erityisesti lentorahdin monimutkainen kokonaisuus ja sen toimintaympäristön muuttumisnopeus korostavat uuden teknologian tarvetta. Näin voidaan parantaa lentoliikenteen resilienssiä ja palautumista ulkoisista häiriöistä. (Hong ym., 2025)

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tutkielmassa vastattiin seuraaviin kysymyksiin tieteelliseen kirjallisuuteen perustuen:

- Mitkä ovat merkittävimmät ulkoiset häiriötekijät lentorahdin toimintaympäristössä?
- Millaisia operatiivisia keinoja käytetään häiriöiden hallintaan?
- Millaisia strategisia riskienhallintakeinoja lentorahdissa käytetään häiriöihin varautumiseen?

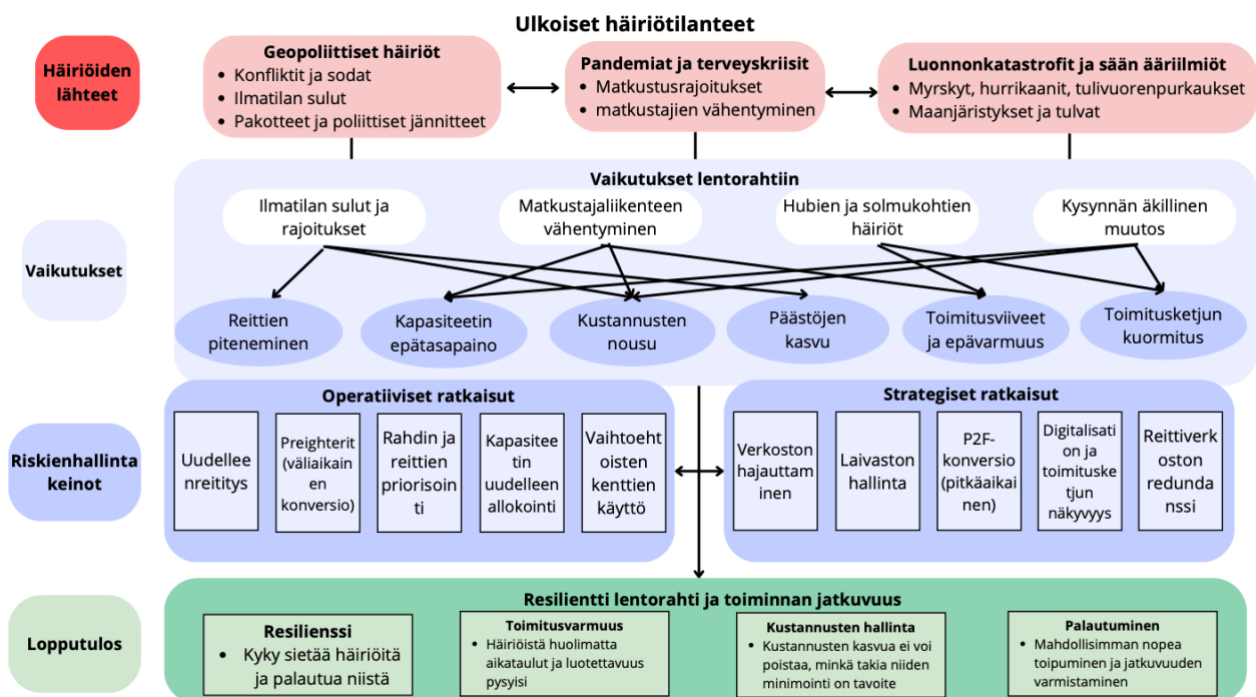
Tutkielmassa esitettiin aluksi aiheen valinnan ajankohtaisuutta ja taustoja. Toisessa luvussa syvennyttiin lentorahdin eri liiketoimintamalleihin ja niiden erityispiirteisiin. Kolmannessa luvussa käsiteltiin erilaisten ulkoisten häiriöiden, kuten pandemian, sotien ja sään ääri-ilmiöiden vaikutuksia lentoliikenteen toimivuuteen sekä niiden vaikutuksia muun muassa kustannuksiin ja kapasiteettiin. Viimeisessä luvussa syvennyttiin niihin keinoihin, joilla lentorahdissa voidaan mukautua ulkoisten häiriöiden aiheuttamiin seuraamuksiin nopealla aikavälillä sekä miten pitkällä aikavälillä voidaan tulevaisuudessa minimoida häiriöiden aiheuttamia vahinkoja.

Tämän tutkielman perusteella lentorahdin toimintaympäristö on altis ulkoisille häiriöille, koska sen toiminta perustuu globaaleihin verkostoihin, aikakriittisiin toimituksiin, ilmatilan käyttöön sekä kapasiteetin optimaaliseen hallintaan. Näin ollen merkittävimmillä ulkoisilla häiriöillä eli geopoliittisilla konflikteilla, pandemioilla ja luonnonkatastrofeilla voi olla toisistaan poikkeava, mutta merkittävä negatiivinen vaikutus lentorahdin toimintaan (Liu ja Fu, 2024; Gu ym., 2024). Näitä kaikkia kuitenkin yhdistää se, että ne leviävät nopeasti globaaliin verkostoon. Häiriöiden seuraukset eivät rajoitu pelkästään yksittäisiin lentoihin, vaan vaikutukset voivat heijastua kapasiteettiin, kustannuksiin, toimitusvarmuuteen sekä koko toimitusketjun toimintaan. Lentorahdista tekee haavoittuvan sen keskeinen rooli aikakriittisten ja korkean arvon toimitusten kuljettajana sekä osittainen riippuvuus matkustajaliikenteen ruumakapasiteetista.

Riskienhallinnan merkitys lentorahdissa on kasvanut viime vuosien aikana selvästi, sillä sen toimintaympäristön epävarmuus on lisääntynyt. Esimerkiksi geopoliittiset konfliktit ovat yleistyneet, mikä on lisännyt toimitusketjujen häiriöalttiutta. Tähän ovat vaikuttaneet ilmatilan sulkemiset, pakotteet ja terveyskriisit, mitkä ovat rajoittaneet nopeasti lentoreittejä ja lisänneet operatiivisia kustannuksia.

Koska lentorahti on haavoittuvainen erilaisille häiriöille, on toiminnan jatkuvuuden varmistamisen kannalta tärkeä mukautua muuttuvaan ja heilahtelevaan ympäristöön sekä vahvistaa resilienssiä (Inan, 2024). Tutkielman keskeiset havainnot ovat koottuna kuvioon 3. Siitä voidaan huomata, että

lentorahdin riskienhallinta rakentuu kahdelle toisiansa täydentävälle tasolle, jotka ovat operatiivinen ja strateginen. Operatiivinen taso perustuu häiriön aikana toteutettaviin toimenpiteisiin, joita ovat uudelleenreititys, kapasiteetin uudelleenallokointi ja muut lyhyen ajan sopeutumiskeinot. Strategisella tasolla taas painottuvat toimenpiteet, joiden avulla voidaan tulevaisuudessa minimoida negatiiviset seuraukset. Tällaisia toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi verkoston hajauttaminen, kalustonhallinnan kehittäminen ja yleisesti resilienssiä vahvistavat pitkän ajan ratkaisut. Kuten Janić (2019) toteaa, lentoverkoston resilienssi perustuu kykyyn sekä kestää häiriöitä että palautua niistä, mikä edellyttää näiden kahden tason yhdistämistä.



Kuvio 3 Ulkoisten häiriötekijöiden vaikutusmekanismit lentorahtiin ja riskienhallintakeinot

Ulkoiset häiriöt eivät kuitenkaan vaikuta lentorahtiin aina samalla tavalla, mitä havainnollistaa kuvio 3. Esimerkiksi pandemiat voivat samanaikaisesti vähentää matkustajalentojen mukana kulkevaa ruumakapasiteettia ja lisätä lentorahdin kysyntää kriittisten tuotteiden sekä verkkokaupan kasvun seurauksena. Geopoliittiset konfliktit ja luonnonkatastrofit puolestaan näkyvät erityisesti reittien pitenemisenä, kapasiteetin rajoittumisena, kustannusten kasvuna ja toimitusvarmuuden heikkenemisenä. Tämä korostaa työn ydinajatus siitä, että lentorahdin riskienhallinnassa ei riitä yksittäinen hallintakeino, vaan häiriötyyppien erilaiset vaikutusmekanismit on huomioitava sekä operatiivisella että strategisella tasolla.

Lähteet

- Abdulraheem, A. (2018). Just-in-time manufacturing for improving global supply chain resilience. *EMITTER International Journal of Engineering Technology*.
- Adrienne, N., Budd, L., & Ison, S. (2020). Grounded aircraft: An airfield operations perspective of the challenges of resuming flights post COVID. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101921.
- Agrawal, N., & Alikhani, R. (2025). Managing supply chain disruptions through ambidexterity: A dual-theory perspective on resilience and performance. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 0(0), 1–19.
- Ambrose, S. C., & Abdelghany, A. F. (2025). Analyzing geospatial and geopolitical influences on airline competition: A Finnair case study. *Transportation Journal*, 64(1), e12035.
- Bednarski, L., Roscoe, S., Blome, C., & Schleper, M. C. (2025). Geopolitical disruptions in global supply chains: A state-of-the-art literature review. *Production Planning & Control*, 36(4), 536–562.
- Belhadi, A., Kamble, S., Jabbour, C. J. C., Gunasekaran, A., Ndubisi, N. O., & Venkatesh, M. (2021). Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak: Lessons learned from the automobile and airline industries. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120447.
- Berlowitz, I. (2014). *Passenger Airplane Conversion to Freighter*. 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014).
- Boeing (2024). World Cargo Forecast 2024-2043.
- Bombelli, A. (2020). Integrators' global networks: A topology analysis with insights into the effect of the COVID-19 pandemic. *Journal of Transport Geography*, 87, 102815.
- Budd, L., & Ison, S. (2017). The role of dedicated freighter aircraft in the provision of global airfreight services. *Journal of Air Transport Management*, 61, 34–40.
- Budd, T., & Mayer, R. (2017). Air cargo. Teoksessa J. Cowie & S. Ison (Toim.), *The Routledge Handbook of Transport Economics* (s. 385–403). Taylor and Francis.
- Chang, X., Song, Z., & Zhou, T. (2025). Geopolitical risk and global supply chain resilience. *Finance Research Letters*, 86, 108551.
- Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Managing risk to avoid supply-chain breakdown. *MIT Sloan Management Review*, 46(1), 53–61.

- Chu, C., Zhang, H., Zhang, J., Cong, L., & Lu, F. (2024). Assessing impacts of the Russia-Ukraine conflict on global air transportation: From the view of mass flight trajectories. *Journal of Air Transport Management*, 115, 102522.
- Craighead, C. W., Blackhurst, J., Rungtusanatham, M. J., & Handfield, R. B. (2007). The Severity of Supply Chain Disruptions: Design Characteristics and Mitigation Capabilities. *Decision Sciences*, 38(1), 131–156.
- Das, K., Thakur, S., & Tanvir, M. (2021). Supply Chain Disruptions and Resilience A Major Review and Future Research Agenda. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 3.
- Deng, Y., Zhang, Y., & Wang, K. (2022). An analysis of the Chinese scheduled freighter network during the first year of the COVID-19 pandemic. *Journal of Transport Geography*, 99, 103298.
- Derigs, U., & Friederichs, S. (2013). Air cargo scheduling: Integrated models and solution procedures. *OR Spectrum*, 35(2), 325–362.
- Ennen, D., & Wozny, F. (2024). Airspace closures following the war of aggression in Ukraine: The impact on Europe-Asia airfares. *Transportation Research Procedia*, 78, 103–110.
- Fendt, M. (2021). Passenger-to-freighter conversions: *What operators need to consider*. Airbus, FAST magazine.
- Feng, B., Li, Y., & Shen, H. (2015). Tying mechanism for airlines' air cargo capacity allocation. *European Journal of Operational Research*, 244(1), 322–330.
- Gu, Y., Wiedemann, M., Freestone, R., Rothe, H., & Stevens, N. (2024). The impacts of shock events on airport management and operations: A systematic literature review. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 27, 101182.
- Holling, C. S. (1973). *Resilience and stability of ecological systems*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23.
- Hong, S.-J., Kim, W., & Hiatt, B. (2025). Examining airport agility at air cargo hub airports. *Journal of Air Transport Management*, 122, 102710.
- Hosseini, S., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2019). Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, 285–307.
- Huang, L., Xiao, F., & Liang, Z. (2022). A machine learning based column-and-row generation approach for integrated air cargo recovery problem (arXiv:2209.13880). arXiv.
- Hopkin, P. (2017). *Fundamentals of Risk Management: Understanding, Evaluating and Implementing Effective Risk Management* (4th ed.). Kogan Page.

- IATA (2022). What Types of Cargo are Transported by Air? IATA.
- IATA (2025). Global Air Cargo Demand Achieves Record Growth in 2024. IATA.
- Inan, T. (2024). The Multi-Year Period Analysis of the Air Freight Industry Pre-and Post-COVID-19. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*, 15.
- Janić, M. (2019). Modeling the resilience of an airline cargo transport network affected by a large scale disruptive event. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77, 425–448.
- Jia, F., Hu, S., & Chen, L. (2025). Does supply chain visibility improve firm resilience: An organizational information processing theory perspective. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 204, 104428.
- Jüttner, U. (2005). Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective. *The International Journal of Logistics Management*, 16(1), 120–141.
- Kanmaz, Ü., & Kütahya, C. (2025). Prioritizing Risk Mitigation Strategies in Air Cargo Freight Operations: A Fuzzy TOPSIS Approach. *Journal of Aviation*, 9, 181–195.
- Ke, J., Cho, W., & Su, H. (2025). Flying through uncertainty: Air transportation's impact on supply chain resilience and inventory efficiency. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 197, 104042.
- Khan, S. A., Chaabane, A., & Dweiri, F. T. (2018). Multi-Criteria Decision-Making Methods Application in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Teoksessa Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management*. IntechOpen.
- Kleindorfer, P. R., & Saad, G. H. (2005). Managing Disruption Risks in Supply Chains. *Production and Operations Management*, 14(1), 53–68.
- Kristal, M. M., Huang, X., & Roth, A. V. (2010). The effect of an ambidextrous supply chain strategy on combinative competitive capabilities and business performance. *Journal of Operations Management*, 28(5), 415–429.
- Kucsera, E. (2021). The handling of the blockade against Qatar from the perspective of Qatar Airways' resilience. *Regional Statistics*, 11(4), 101–125.
- Li, P., Chen, Y., & Guo, X. (2025). Digital transformation and supply chain resilience. *International Review of Economics & Finance*, 99, 104033.
- Li, T., Yang, X., Yu, X., & Chai, R. (2026). A multi-dimension method for assessing the resilience of air network. *Journal of Air Transport Management*, 134, 102985.
- Liu, K., & Fu, Q. (2024). How does geopolitical risk affect international freight? *Journal of Air Transport Management*, 118, 102614.

- Lu, T., & Lu, X. (2023). Civil Aircraft Passenger-to-Freighter Main Cargo Compartment lining Validation Technology. *Advances in Computer and Engineering Technology Research, 1*, 79.
- Miao, Z., Lang, H., Wu, L., & Jiang, C. (2026). Strategic Fleet Management for Airlines: Balancing Sustainability, Profitability, and Policy Implications. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 203*, 104733.
- Ningseh, P., & Tohir, M. (2025). Multimodal Air Freight Forwarding Strategy in Overcoming the Post-Pandemic International Cargo Capacity Crisis. *Siber Journal of Transportation and Logistics, 3*, 17–23.
- Novoszel, L., & Wakolbinger, T. (2022). Meta-analysis of Supply Chain Disruption Research. *Operations Research Forum, 3*(1), 10.
- Ojha, D., Struckell, E., Acharya, C., & Patel, P. C. (2018). Supply chain organizational learning, exploration, exploitation, and firm performance: A creation-dispersion perspective. *International Journal of Production Economics, 204*, 70–82.
- Ostroumov, I., Ivannikova, V., Kuzmenko, N., & Zaliskyi, M. (2025). Impact analysis of Russian-Ukrainian war on airspace. *Journal of Air Transport Management, 124*.
- Rashidi, K., & Cullinane, K. (2019). A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. *Expert Systems with Applications, 121*, 266–281.
- Rodbundith, T. S., Sirisawat, P., & Hasachoo, N. (2021). E-Commerce: Challenges That Lies Ahead of the Future Air Cargo Operation. *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag., IEEM, 134–137*.
- Rodrigue, J.-P. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5. p.). Routledge.
- Shaban, I. A., Chan, F. T. S., & Chung, S. H. (2021). A novel model to manage air cargo disruptions caused by global catastrophes such as Covid-19. *Journal of Air Transport Management, 95*, 102086.
- Singh, N. P., & Hong, P. C. (2020). Impact of strategic and operational risk management practices on firm performance: An empirical investigation. *European Management Journal, 38*(5), 723–735.
- Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia, 3*(1), 77–87.
- Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics, 103*(2), 451–488.

- To, W. M., & Lee, P. K. C. (2023). The COVID-19 impacts on air transport – a case study of Hong Kong. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 16(3–4), 256–276.
- Touloumidis, D., Madas, M., Zeimpekis, V., & Ayfantopoulou, G. (2025). Weather-Related Disruptions in Transportation and Logistics: A Systematic Literature Review and a Policy Implementation Roadmap. *Logistics*, 9(1).
- Wagner, S. M., & Bode, C. (2008). An Empirical Examination of Supply Chain Performance Along Several Dimensions of Risk. *Journal of Business Logistics*, 29(1), 307–325.
- Wang, Y., & Sarkis, J. (2021). *Emerging digitalisation technologies in freight transport and logistics: Current trends and future directions*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 148, 102291.
- Walsh, W. (2023). *THE WAY FORWARD FOR EUROPE'S AVIATION SECTOR*, Eurocontrol.
- Wong, W. H., Zhang, A., Hui, Y. V., & Leung, L. C. (2009). Optimal Baggage-Limit Policy: Airline Passenger and Cargo Allocation. *Transportation Science (INFORMS)*, 43(3), 355–369. (70868595).
- Wu, F., Zhu, J., & Xie, Q. (2025a). Strategic Trade-Offs in Forward and Backward Integration: Evidence of Organizational Resilience from Systemic Supply Chain Disruptions. *Sustainability*, 17(20).
- Wu, S., Liu, E., Cao, R., & Bai, Q. (2025b). Airline recovery problem under disruptions: A review. *Computers & Operations Research*, 175, 106915.
- Yıldız, B., Savelsbergh, M., & Dogru, A. K. (2023). Transshipment network design for express air cargo operations in China. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 12, 100120.
- Young, P. C., & Tomski, M. (2002). An introduction to risk management. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 13(2), 225–246.
- Zhalechian, M., Torabi, S. A., & Mohammadi, M. (2018). Hub-and-spoke network design under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 109, 20–43.
- Zhang, A., & Zhang, Y. (2002). Issues on liberalization of air cargo services in international aviation. *Journal of Air Transport Management, Fifth Annual Air Transport Research Group Conference, Korea, July 2001*, 8(5), 275–287.
- Zheng, S., Wang, K., & Jiang, C. (2024). Converting passenger aircraft into cargo planes under volatile market demand. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 181, 104013.
- Zhou, T., He, P., Dai, W., Liu, Z., Gao, C., Huang, Y., Chen, H., Geng, Y., & Niu, B. (2026). Integrated recovery of air cargo transportation under various abnormal scenarios. *European Journal of Operational Research*, 329(3), 864–877.

Liitteet

Liite 1 Selvitys tekoälyn käytöstä

Tämän tutkielman tekemisessä on käytetty tekoälyä työkaluna ja työkalut, niiden käyttö ja tarkistustoimenpiteet ovat listattuna tähän alle. Vakuutan, että niitä on käytetty yliopiston tekoälyn käytön ohjeiden mukaisesti ja raportoinut niiden käytöstä toivotulla tavalla. Kannan vastuun tekoälyn käytöstä koskien tätä tutkielmaa.

1. Scopus AI

- Käyttövaihe: Ideointi ja lähteiden etsintä
- Käyttötarkoitus: Lähteiden etsintä ja tutkimusaiheen pallottelu niiden perusteella
- Esimerkkikehote (18.1.2026): ”Mitkä ovat suurimmat ulkoiset häiriötekijät lentorahdissa?”

Tarkistus: Tekoälytyökalu tuotti kattavan yhteenvedon pyydetyistä aiheesta ja linkkasi relevanteimmat lähteet tekstin kylkeen. Kävin läpi kaikki lähteet ja hyödynsin parhaiden lähteiden tietoa työssäni.

2. Google Gemini

- Käyttövaihe: Kääntäminen
- Käyttötarkoitus: Sanojen ja fraasin suomentaminen
- Esimerkkiote (15.3.2026): Voitko selventää suomeksi, mitä tällä toteamuksella käytännössä tarkoitetaan: "The concepts of changing point, structure variation, and time lag are introduced and evaluated based on comparing snapshot ATNs in different weeks."
- Esimerkkiote (6.4.2026): Onko ”supply chain stressille” jokin parempi suomenkielinen ilmaisu?

Tarkistus: Tekoäly selvensi hankalan virkkeen tai termin, jonka jälkeen ymmärsin sen tarkoituksen. Kirjoitin siitä tutkielmaankin, mutta omin sanoin ja arvioin itse niiden oikeellisuuden

3. ChatGPT (GPT 5-versio)

- Käyttövaihe: ideointi, aiheen rajaaminen ja tutkimuksen suunnittelu

- Käyttötarkoitus: Käytin ChatGPT:tä tutkielman ideointiin, ajankohtaisen tutkimusaiheen löytämiseen ja sen jälkeen aiheen sopivaan rajaukseen.
- Esimerkkiote (12.1.2026): ”Ehdota minulle kandidaattitutkielman aiheita, jossa yhdistyy toimitusketjut, ilmailu ja ajankohtaisuus.”
- Esimerkkiote (12.1.2026): ”Mitkä ovat lentorahdin riskienhallinnan näkökulmasta tärkeitä käsitteitä ja teoreettisia näkökulmia?”
- Esimerkkiote (19.3.2026): ”Mitä näkökulmia olisi olennaista vielä lisätä tähän lukuun?: Ulkoiset häiriöt, kuten pandemia, ilmatilan sulut ja luonnonkatastrofit, lisäävät ennen kaikkea lentorahdin epävarmuutta ja häiritsee toiminnan jatkuvuutta sekä kapasiteetin saatavuutta. (Shaban ym., 2021; Hong ym., 2025) Näin ollen tieteellisessä kirjallisuudessa painotetaan digitalisaation ja toimitusketjun läpinäkyvyyden merkitystä, sillä niiden avulla tilannekuva toimitusketjun sisällä saadaan paremmaksi, koordinointi eri sidosryhmien kanssa muuttuu mutkattommaksi ja uudelleensuunnittelu häiriötilanteiden jälkeen nopeutuu. (Li ym., 2025) Esimerkiksi COVID-19 heikensi lentoliikenteen ja koko arvoketjun toimintaan, samalla kun kysyntä lentorahdille kasvoi suhteellisesti merkittävämmäksi. (Zheng ym., 2025) Tällaisessa tilanteessa digitaalinen näkyvyys parantaa lentorahtioperaattoreiden ja lentokenttien ketteryyttä ja häiriöstä palautumista (Hong ym., 2025), mitkä ovat olennaisia osia resilienttiä toimitusketjua (Li ym., 2025).”

Tarkistus: Käytin tekoälyn luomia ehdotuksia hyödyksi tutkielman ideoinnissa, vaikkakin lopullinen aihe ja sen rajaus ovat itse kirjoitettuja. Käsitteiden selityksissä on loppukädessä kuitenkin käytetty ainoastaan tieteellisten lähteiden tietoja ilman tekoälyn suoraa käyttöä. Hyödynsin tekoälyn antamia näkökulmia kappaleen jatkamisessa, mutta olen arvioinut ne itse kriittisesti ja etsinyt tieteellisiä lähteitä tukemaan näkökulmia.

- Käyttövaihe: tiedonhaku
- Käyttötarkoitus: Käskin tekoälytyökalua etsimään tieteellisiä vertaisarvioituja lähteitä haluamaani näkökulmaan
- Esimerkkiote (18.3.2026): ”Etsi minulle tieteellisiä ja vertaisarvioituja lähteitä, jossa käydään läpi preighter-konversion hyötyjä ja milloin se on kannattavaa.”

Tarkistus: ChatGPT antoi minulle haluamaani aiheeseen liittyviä tieteellisiä ja vertaisarvioituja lähteitä, jotka kävin läpi huolella sekä valitsin niistä parhaat.

- Käyttövaihe: Kielenhuolto
- Käyttötarkoitus: Epäselvien ja liian monimutkaisten virkkeiden sujuvoittaminen
- Esimerkkiote (16.4.2026): Mitä parannusehdotuksia antaisit sujuvoittaakseni tätä kohtaa tekstistä?: Tutkimus etenee niin, että aluksi esitellään keskeisimmät ulkoiset häiriöt, mitä lentorahdin toimintaympäristö kohtaa ja millaisia seurauksia niillä on mm. kustannuksiin ja kapasiteettiin. Tämän jälkeen käydään läpi operatiiviset ja strategiset riskienhallintakeinot, minkä jälkeen lopuksi käydään läpi johtopäätökset riskienhallinnan kehittämiseksi muuttuvassa toimintaympäristössä.

Tarkastus: Syötin ChatGPT:lle virkkeen tai pidemmän pätkän tekstistäni, jonka koin liian vaikeaksi ymmärtää ja huonosti selitetyksi. Sain tekoälyltä hyviä parannusehdotuksia mm. akateemisiä termejä ja lauseiden parempaa sidontaa, joilla sain selkeytettyä kokonaisuutta.