



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Toimitusketjun riskienhallinnan ja resilienssin kehittäminen vastaamaan ilmastonmuutoksesta johtuvia sään ääri-ilmiöitä

Toimitusketjujen johtamisen kandidaatintutkielma

Laatija(t):

Juho Suomela

Ohjaaja(t):

Sini Laari

27.4.2025

Turku

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

Kandidutkielma

Oppiaine: Toimitusketjujen johtaminen

Tekijä(t): Juho Suomela

Otsikko: Toimitusketjun riskienhallinnan ja resilienssin kehittäminen vastaamaan ilmastonmuutoksesta johtuvia sään ääri-ilmiöitä

Ohjaaja(t): KTT Sini Laari

Sivumäärä: 36 sivua

Päivämäärä: 27.4.2025

Ilmastonmuutos ja sen seurauksena lisääntyneet sään ääri-ilmiöt aiheuttavat useita haasteita toimitusketjujen toiminnalle. Resilientit toimitusketjut kykenevät vastaamaan nopeasti ulkoisiin häiriötekijöihin, joita ilmastonmuutos tuo mukanaan yhä enenevässä määrin. Riskienhallinnan tavoitteena on tunnistaa, arvioida ja minimoida toimitusketjun häiriöitä aiheuttavia riskejä ja auttaa toimitusketjuja kehittämään resilienssiä. Tutkielmassa syvennytään toimitusketjuihin ongelmallisesti vaikuttaviin sään ääri-ilmiöihin, riskienhallinnan ja resilienssin luomiseen sekä riskienhallinnan ja resilienssin kehittämiseen vastaamaan ilmastonmuutoksesta johtuvia sään ääri-ilmiöitä. Ilmastonmuutoksesta johtuvia sään ääri-ilmiöitä ovat mm. helleaallot, kuivuus, tulvat sekä myrskyt. Ne vaikuttavat toimitusketjuihin monella eri tasolla, ja niiden aiheuttamat häiriöt voivat olla sekä välittömiä että pitkäaikaisia. Yritysten on siksi varauduttava näihin riskeihin kehittämällä riskienhallintaansa ja resilienssiään.

Toimitusketjun riskienhallinta ja resilienssi perustuvat ennakoivaan suunnitteluun, joustavuuteen ja tehokkaaseen reagoitukykyyn. Riskienhallinnan keskeisiä keinoja ovat riskien tunnistaminen, analysointi ja lieventäminen esimerkiksi vaihtoehtoisten hankintakanavien ja varasuunnitelmien avulla. Resilienssin rakentaminen edellyttää toimitusketjun hajauttamista, kestävien materiaalien ja uusiutuvan energian hyödyntämistä sekä digitaalisten työkalujen, kuten tekoälyn ja data-analytiikan, käyttöä reaaliaikaisen tilannekuvan luomisessa.

Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta toimitusketjun yhteistyön, kestävyuden, tekoälyn ja suunnitelmallisen hajauttamisen olevan piirteitä, joiden avulla toimitusketjun riskienhallintaa ja resilienssiä voidaan kehittää vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia häiriöitä.

Avainsanat: Sään ääri-ilmiö, toimitusketju, toimitusketjuhäiriö, resilienssi ja riskienhallinta

SISÄLLYS

1	Johdanto	6
1.1	Taustaa	6
1.2	Tutkielman tavoitteet ja rakenne	6
2	Ilmastonmuutos ja toimitusketjut	8
2.1	Lämpötilan ääri-ilmiöiden vaikutus toimitusketjuihin	10
2.2	Veden kiertoon liittyvien ääri-ilmiöiden vaikutus toimitusketjuihin	11
2.3	Ilmakehän liikkeisiin liittyvien ääri-ilmiöiden vaikutus toimitusketjuihin	12
3	Toimitusketjun resilienssi ja riskienhallinta	15
3.1	Toimitusketjun resilienssi	15
3.2	Resilienssin luominen toimitusketjussa	16
3.3	Toimitusketjun riskienhallinta	19
3.4	Riskienhallinnan sekä resilienssin yhtäläisyydet ja erot	22
4	Toimitusketjun riskienhallinnan ja resilienssin kehittäminen vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia ongelmia	24
4.1	Riskienhallinnan kehittäminen vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia ongelmia	24
4.2	Resilienssin kehittäminen vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia ongelmia	27
5	Johtopäätökset	29
	Lähteet	31

KUVIOT

Kuva 1 Resilientin toimitusketjun luominen	17
Kuva 2 Toimitusketjun riskienhallinnan eri keinot	20
Kuva 3 Toimitusketjun riskienhallintaprosessi	21
Kuva 4 Ohjaava viitekehys ilmastonmuutosresilienttiin ja kestävään toimitusketjun riskienhallintaan	25

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Ilmastonmuutoksesta johtuvat sään ääri-ilmiöt lisääntyvät ja vaikuttavat merkittävästi tuotantoon, luonnonvaroihin ja kuljetuksiin maailmanlaajuisesti, sekä pakottavat yritykset tutkimaan hillitsemisstrategioita, joilla vältetään tulevat katastrofit. Tämän takia ilmastonmuutokseen liittyviä riskejä on kiireesti hallittava maailmanlaajuisissa toimitusketjuissa. (Ghadge ym. 2020.)

Ilmastonmuutoksen aiheuttamien operatiivisten riskien hallinta on erityisen tärkeää yrityksille, joilla on laajoja kansainvälisiä tuotantoverkostoja. Globalisoituneessa taloudessa toimitusketjut kulkevat usein sellaisten alueiden kautta, jotka ovat alttiimpia ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Tämän seurauksena yritykset saattavat altistua epäsuorasti fyysisille riskeille toimittajiensa vuoksi.

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen on kuitenkin monimutkainen tehtävä erityisesti toimitusketjuorganisaatioihin kuuluville yrityksille. Ilmastonmuutokselle on ominaista epävarmuus, ja sääilmiöiden ennustaminen lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä on usein haastavaa. Tämän lisäksi toimittajista ja asiakkaista johtuvaa epäsuoraa altistumista ilmastonmuutokselle voi olla haastavaa tunnistaa. (Pankratz & Schiller 2024.)

Sään ääri-ilmiöt, kuten hurrikaanit, tulvat ja kuivuus aiheuttavat toimitusketjuihin huomattavia viivästyksiä, infrastruktuurivaurioita ja tuotannon menetyksiä. Säästä johtuvat häiriöillä on välittömiä vaikutusalueita, sekä kerrannaisvaikutuksia toisiinsa kytkeytyneissä maailmanlaajuisissa toimitusverkoissa, mikä korostaa tällaisten ilmaston aiheuttamien epävarmuustekijöiden varalta tarvittavia kiireellisiä puolustautumiskeinoja, joita ovat toimitusketjun riskienhallinta ja resilienssi. Maailmanlaajuisen toimitusketjun riskienhallinnan ja resilienssin kehittämisen sekä parantamisen tarve ylittää pelkkien taloudellisten tappioiden välttämisen. Se on kriittinen osa yritysten kestävyuden, taloudellisen vakauden ja yhteisöjen hyvinvoinnin varmistamista maailmanlaajuisesti. Yrityksille sopeutuminen ja toimintojen ylläpitäminen sään ääri-ilmiöiden aikana on olennaista kilpailuedun ja pitkän aikavälin elinkelpoisuuden kannalta. (Nnaji ym. 2024.)

1.2 Tutkielman tavoitteet ja rakenne

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia toimitusketjuihin käsittelevässä kirjallisuudessa korostetaan äärimmäisten sääilmiöiden aiheuttamien riskien lisääntymistä (Guitouni ym. 2025.) Tämän tutkielman tavoitteena on olemassa olevaa kirjallisuutta apuna käyttäen selvittää, miten toimitusketjun riskienhallintaa ja resilienssiä voidaan kehittää vastaamaan ilmastonmuutoksesta

johtuvia sään ääri-ilmiöitä erityisesti yritysten näkökulmasta. Tutkimus pyrkii tarkastelemaan juuri säästä johtuvat riskejä eikä muita toimitusketjua uhkaavia ulkoisia riskejä, kuten geopoliittisia riskejä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten ilmastonmuutoksesta johtuvat sään ääri-ilmiöt vaikuttavat toimitusketjuihin
2. Miten toimitusketjun riskienhallintaa ja resilienssiä voidaan kehittää vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia häiriöitä

Tutkielman luvussa 2 keskitytään ilmastonmuutoksen ja toimitusketjuihin. Luvussa käsitellään ilmastonmuutoksen ja siitä aiheutuvien sään ääri-ilmiöiden vaikutusta toimitusketjujen eri toimintoihin, kuten tuotantoon ja kuljetuksiin. Luvussa 3 käydään läpi tutkielman kannalta keskeisiä käsitteitä, joita ovat toimitusketjun resilienssi sekä riskienhallinta. Luvun 4 on tarkoitus sitoa yhteen tutkielman aiheet ja kertoa miten toimitusketjun resilienssiä ja riskienhallintaa voidaan kehittää vastaamaan ilmastonmuutoksen tuomia uhkia. Luvussa 5 esitetään keskeiset johtopäätökset, jotka perustuvat tutkielman tuloksiin.

2 Ilmastonmuutos ja toimitusketjut

Ilmastonmuutoksella viitataan ilmaston pitkän aikavälin muutoksiin, jotka johtuvat sekä ilmaston luonnollisista tekijöistä että ihmisen toiminnasta. Ilmastonmuutos on yksi aikamme suurimmista ongelmista, jonka vaikutukset uhkaavat ympäristöä, taloutta sekä ihmisten hyvinvointia.

Ilmastonmuutoksella on kauaskantoisia vaikutuksia eri puolella maailmaa olevien maiden talouksiin johtuen maailmanlaajuisista toimitusketjuverkostoista. Nykypäivänä kustannustehokkuutta haetaan esimerkiksi soveltamalla Lean-ajattelua sekä monimutkaisilla toimitusketjuilla, mikä tekee niistä entistä alttiimpia ilmastonmuutoksesta syntyville riskeille. Nämä riskit lähtevät liikkeelle yhdestä solmukohdasta ja vahingoittavat koko toimitusketjua. (Haraguchi & Lall 2015.) Toimitusketjuilla on keskeinen rooli tavaroiden, palveluiden ja tiedon kulun helpottamisessa eri puolilla maailmaa. Nämä monimutkaiset verkostot ovat kuitenkin yhä alttiimpia ilmastonmuutoksen moninaisille vaikutuksille. Ilmastonmuutoksen ilmenemismuodot, kuten äärimmäiset sääilmiöt, merenpinnan nousu ja muuttuvat ilmastomallit, uhkaavat merkittävästi maailmanlaajuisen toimitusketjujen vakautta ja tehokkuutta. (Nnaji ym. 2024.)

Kasvihuonepäästöjen voimakas lisääntyminen on vauhdittanut ilmastonmuutosta entisestään viimeisten vuosikymmenten aikana. Kolkin ja Pinksen (2004) mukaan yritysten päästöjen määrään vaikuttavat ilmastonmuutosta koskevat poliittiset päätökset sekä yritysten maantieteellinen sijainti. Merkittävä poliittinen päätös liittyen ilmastonmuutokseen on vuonna 2015 solmittu Pariisin sopimus, jonka tavoitteena on rajoittaa maapallon lämmön nousu tällä vuosisadalla 1,5 asteeseen. Tämän tavoitteen lisäksi sopimus ohjaa taloudellista tukea kehittyviin maihin, jotka ovat kehittyneitä maita haavoittuvamassa asemassa ilmastonmuutoksesta johtuvien ongelmien suhteen. (Abbass ym. 2022.) Kehitysmaiden ongelmana on Mirzan (2003) mukaan investointien keskittyminen ennaltaehkäisevään sopeutumiskyvyn sijaan luonnonkatastrofeista toipumiseen, mikä johtaa usein näiden maiden kohdalla velkakierteeseen. Kehittyvät maat ovat myös usein riippuvaisia erilaisista luonnonvaroista sekä säästä riippuvaisista toiminnoista, jotka ovat erityisen haavoittuvaisia ilmastonmuutoksen kohdalla. Riippuvuus edellä mainituista seikoista johtuu yleensä tiedon, investointien sekä infrastruktuurin puutteellisuudesta. (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 2014.)

Sheun (2007) mukaan toimitusketjujen ja toimintojen johtajat ovat viime vuosikymmenen aikana huolestuneet siitä, mitä seurauksia odottamattomista katastrofeista voi aiheutua heidän omissa laitoksissaan sekä toimitusketjun kumppaneiden laitoksissa. Lisääntynyt huoli johtuu osittain siitä, että organisaatioiden väliset ja sisäiset ongelmat ovat entistä monimutkaisempia ja ne altistuvat yhä enemmän ennalta arvaamattomille luonnonkatastrofeille sekä ihmisen aiheuttamille katastrofeille.

Esimerkiksi meteorologit ennustavat ilmaston lämpenemisen lisäävän sääilmiöiden vakavuutta ja esiintymistiheyttä. Nämä tapahtumat häiritsevät väistämättä toimitusketjuja, koska yhä äärimmäisemmät sääilmiöt vaikuttavat suuresti merenkulkuun, lentorahdin kuljettamiseen, junaliikenteeseen ja muihin kuljetusmuotoihin sekä polttoainepuutteisiin, viestintä- ja sähkökatkoksiin ja sähkönjakeluhäiriöihin. (Chen ym. 2015.) Ilmastonmuutos ja toimitusketjut vaikuttavat vastavuoroisesti toisiinsa, koska toimitusketjun sisäiset toiminnot, kuten kuljetukset ja valmistus lisäävät päästöjä, jotka vauhdittavat ilmastonmuutosta ja lisäävät ulkoisia uhkia, kuten sään ääri-ilmiöitä. Tästä syystä uusiutuvien energialähteiden, kuten vesi- ja aurinkovoiman käyttö on tärkeää vähennettäessä ilmastonmuutoksen vaikutuksia toimitusketjuihin. (Ghadge ym. 2020.)

Ilmastonmuutoksesta johtuvia sään ääri-ilmiöitä ovat esimerkiksi kuumuus, veden pinnan nousu sekä myrskyt. Guptan ym. (2022) mukaan sään ääri-ilmiöt tuovat mukanaan monenlaisia vakavia riskejä, jotka vaikuttavat yrityksiin ja niiden toimitusketjuihin. Sään ääri-ilmiöt voivat aiheuttaa vakavia vahinkoja infrastruktuuriverkostoihin sekä huolta työntekijöiden turvallisuudesta. Tämä heikentää toimitusketjujen toimintaa ja tekee niistä alttiita toimintahäiriöille. (Clarke ym. 2021.) Halldórssonin ja Kovácsin (2010) mukaan ilmastonmuutoksesta johtuvien sään ääri-ilmiöiden aiheuttamien häiriöiden kustannukset ovat kasvaneet viime aikoina merkittävästi.

Ilmastonmuutoksen suoria taloudellisia vaikutuksia toimitusketjuihin on tutkittu paljon, mutta niiden epäsuoria kustannuksia on usein vaikea arvioida. Arviointia hankaloittaa kehitysmaista saatava puutteellinen tieto ilmastonmuutoksen aiheuttamista kustannuksista. (Andreoni & Miola 2015.) Tutkittaessa toimitusketjujen merkitystä yrityksille havaittiin, että 93 prosenttia tutkituista yrityksistä pitää toimitusketjuja tärkeimpänä prioriteettinaan. Tämän lisäksi 30 prosenttia yrityksistä arvioi, että 5 prosenttia menetetyistä tuloista johtui toimitusketjujen häiriöistä. (Accenture Business Resilience Archive, 2007.) 51 prosenttia kaikista toimitusketjuista kärsi vuoden 2011 aikana sään ääri-ilmiöiden vaikutuksista. Yrityksistä 49 prosenttia menetti tuottavuuttaan tällaisten häiriöiden vuoksi, niiden kustannukset kasvoivat 38 prosenttia sekä tulot vähenivät 32 prosenttia. (Walther ym. 2011.) Monet yritykset pitävät sään ääri-ilmiöitä kertaluontaisina tapahtumina eivätkä meneillään olevan ja kehittyvän ilmastonmuutoksen indikaattoreina. Tämä näkyy yritysten ilmatoriskeihin valmistumisen heikentymisenä ja ilmatoriskibudjettien pienentymisenä. Valmiuden heikkeneminen estää yrityksiä toteuttamasta ennakoivia toimenpiteitä tulevien ilmastoon liittyvien tapahtumien vaikutusten lieventämiseksi. (BCI 2023.)

2.1 Lämpötilan ääri-ilmiöiden vaikutus toimitusketjuihin

Ilmastonmuutoksesta johtuva ilmaston lämpeneminen aiheuttaa useita ongelmia. Lämpötilan nousu vaikuttaa toimitusketjun eri toimintoihin tuotannosta kuljetukseen. Tutkimus osoittaa, että lämpötila on noussut ja helleaallot lisääntyneet 1950-luvulta lähtien. Kuumuus vaikuttaa negatiivisesti työntekijöiden jaksamiseen ja tuottavuuteen sekä lisää tällä tavoin yhteiskunnan sosioekonomisia kustannuksia jokaisessa maanosassa. Kuumuudesta johtuvien suorien tappioiden ollessa vähäisiä tai keskisuuria, niiden vaikutus toimitusverkkoon rajoittuu alueelliselle tasolle, mutta suorien tappioiden ollessa vakavia, niillä on laajempia seurauksia, jotka vaikuttavat toimitusketjuun maailmanlaajuisesti ja aiheuttavat lisää epäsuoria tappioita. (The Quest for Resilience 2024.) Chen ym. (2023) mukaan korkeilla ulkolämpötiloilla on merkittävä kielteinen vaikutus työvoiman tuottavuuteen, jopa ilmastoiduissa työtiloissa. Tutkittaessa lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutusta tuottavuuteen kiinalaisessa silikonikiekkoja valmistavassa yrityksessä havaittiin, että jokainen lämpö-kosteusasteen lisäys päivän enimmäislukemaan aiheuttaa 0,83 prosentin tuottavuuden laskun. Tutkimuksessa havaittiin myös 5,8 prosenttia alhaisempi tuottavuus päivinä, jolloin lämpö-kosteusaste kohoaa 28 asteen yläpuolelle verrattuna päiviin, jolloin 28 asteen rajaa ei ylitetä. (Chen ym. 2023.)

Lämpötilojen nousu näkyy toimitusketjuissa muutenkin kuin työntekijöiden tuottavuuden ja jaksamisen heikentymisenä. Kuumuudesta johtuva kuivuus on ongelma, joka vaikuttaa erityisesti maatalouteen ja ruoan toimitusketjuihin. Esimerkiksi Intiassa kuivuus on suuri huolenaihe, koska viidesosa sen maantieteellisestä pinta-alasta kärsii siitä. Kuivuus rajoittaa merkittävästi maataloustuotantoa, mikä vaikuttaa maan ruokaturvaan sekä 21,06 prosenttiin Intian väestöstä. (Narayan ym. 2024.) Intian kaltaisiin maihin vaikuttavat korkeat lämpötilat paitsi suoraan, myös epäsuorasti toimitusketjujen kautta, jotka ulottuvat alueille, jotka kärsivät samanlaisista ilmastohaasteista. Esimerkiksi Intian ruokateollisuus on pitkälti riippuvainen sen toimitusketjun alkupään toimittajista, joita ovat Indonesian ja Malesian rasva- sekä öljytoimittajat. Nämä sektorit kyseisissä maissa ovat hyvin alttiita lämpötilojen nousulle ja muodostavat riskin häiriöille Intian ruokateollisuudessa. Maatalouden lisäksi lämpötilan nousulla on merkittävä vaikutus rakennus- ja kaivosalaan erityisesti kehittyvissä maissa, joissa talous tukeutuu pitkälti alkutuotantoon. Kaivostoiminnasta saatavat rautametallit ovat alttiita lämmön nousulle, koska sen aiheuttamat häiriöt vaikuttavat samanaikaisesti toimitusketjun alku- ja loppupäähän. (The Quest for Resilience 2024.) Kuivuuden seurauksena maastopalojen määrä ja voimakkuus ovat kasvaneet viime vuosien aikana. Palot näyttävät metsäteollisuuden toimitusketjuissa raaka-aineiden saatavuuden heikkenemisenä sekä ympäristöpalvelujen tuhoutumisena. (Narayan ym. 2024.)

Markolfin ym. (2019) mukaan lämpötilan nousu aiheuttaa useita ongelmia kuljetuksiin ja erityisesti liikenneinfrastruktuuriin. Kuumuus aiheuttaa asfaltin halkeilua, nopeampaa kulumista sekä sulamista, mikä vaikuttaa tiekuljetuksiin negatiivisesti. Espinetin ym. (2016) arvioiden mukaan esimerkiksi Meksikossa ilmastonmuutoksen vaikutukset pääteissä voivat aiheuttaa 1,3–4,9 miljardin dollarin vahingot vuoteen 2050 mennessä. Underwood ym. (2017) arvioivat ennustetun lämpötilan nousun nostattavan päällystemateriaalien valinta- ja ylläpitokustannuksia Yhdysvalloissa jopa 36 miljardilla dollarilla vuoteen 2070 mennessä.

Tiekuljetusten lisäksi lämpö aiheuttaa rautateiden kiskojen laajenemista ja vääntymistä, liikuntasaumojen vaurioita sekä ajolangan löystymistä, mitkä aiheuttavat ongelmia ja kustannuksia rautatiekuljetuksissa. Lämpötilan nopeasta vaihtelusta johtuvat vauriot ja maanvyörymät aiheuttavat ongelmia molempiin kuljetusmuotoihin. Kuivuudesta johtuvat maastopalot vaikuttavat tie- ja rautatiekuljetuksiin, mutta niistä nouseva savu sekä tuhka saattavat haitata myös lentokuljetuksia. Toimet lämpötilan nousun negatiivisten vaikutusten ehkäisemiseksi kuljetusinfrastruktuuriin aiheuttavat merkittäviä kustannuksia. (Markolf ym. 2019.)

2.2 Veden kiertoon liittyvien ääri-ilmiöiden vaikutus toimitusketjuihin

Veden kiertoon liittyviä sään ääri-ilmiöitä ovat esimerkiksi rankkasateiden aiheuttamat tulvat sekä merenpinnan nousu. Kuumuuden tapaan nämä ongelmat vaikuttavat toimitusketjun jokaiseen vaiheeseen. Xun ym. (2021) mukaan rankkasateet ja tulvat ovat lisääntyneet ilmaston lämpenemisen ja kaupungistumisen myötä sekä muodostavat maailmanlaajuisesti kirjatuista luonnonuhista lähes puolet kaikista häiriöistä. Esimerkiksi Saksassa tulvista johtuvat taloudelliset kustannukset ovat kasvaneet viime vuosikymmeninä ja niiden odotetaan kasvavan tulevaisuudessa kiihtyneen ilmastonmuutoksen seurauksena. Vuonna 2013 tuotanto jouduttiin pysäyttämään Bayernin ja Volkswagenin tehtailla, koska tulva esti työntekijöiden sekä tavarantoimittajien pääsyn tehtaille. (ScienceDirect 2015.) Kehittyvässä maissa viljely ja erityisesti riisin viljely ovat tärkeitä ruokaturvan kannalta. Tulvat vaikuttavat esimerkiksi riisin toimitusketjussa suorasti tai epäsuorasti hankintaan, tuotantoon, sadonkorjuun jälkeisiin vaiheisiin, varastointiin, jalostukseen sekä toimitukseen. Tutkimuksen mukaan sään ääri-ilmiöistä juuri tulviminen on johtava ongelma riisin toimitusketjussa, koska viljelijät joutuvat hyväksymään riskin resurssien puutteellisuuden takia. (Kusrini ym. 2025.)

Merenpinnan nousu ja tulvat vaikuttavat monella tapaa kuljetuksiin. Satamat ja lentokentät ovat kansainvälisten toimitusketjujen kriittisiä solmukohtia, joilla on merkittävä vaikutus talouteen,

logistiikkaan, matkailuun sekä kansainväliseen kauppaan. Verrattaessa kaikkia ilmastouhkia, merenpinnan nousu ja tulvat aiheuttavat asiaa koskevan kirjallisuuden mukaan tällä hetkellä vakavimmat vaikutukset kyseisiin solmukohtiin. (Poo ym. 2018.) Ilmastonmuutoksen vaikutuksia satamatoimintaan on dokumentoitu maailmanlaajuisissa ja alueellisissa tutkimuksissa. Satamat ovat erityisen haavoittuvaisia rannikkosijaintinsa vuoksi, mikä tekee niistä alttiita merenpinnan nousulle ja muuttuville merivirroille. Maailmanlaajuisesti satamat kokevat merenpinnan nousun kielteisiä vaikutuksia, jotka lisäävät rannikotulvia, vahingoittavat satamainfrastruktuuria, häiritsevät toimintaa ja luovat pitkän aikavälin uhkia satamien toiminnalle. (Poo ym. 2024.) Lisäksi 95 prosenttia kansainvälisen kaupan rahdista kuljetetaan meritse, mikä osoittaa satamien merkityksen. Näin ollen merenpinnan noususta ja tulvista aiheutuvat häiriöt satamien logistiikkatoiminnoissa vaikuttavat merkittävästi kansantalouteen. Solmukohtien ongelmia voidaan ennaltaehkäistä kehittämällä paikkatietomenetelmiä, joiden avulla voidaan kartoittaa satamiin ja lentokenttiin kohdistuvia ilmatoriskejä. (Chhetri ym. 2015.) Kiinassa satamat ovat investoineet tulvantorjuntaan, kohottaneet kriittistä infrastruktuuria sekä ottaneet käyttöön vihreää teknologiaa vähentääkseen toiminnan ympäristövaikutuksia. Satamien resilienssin parantamiseen tähtääviin pyrkimyksiin kuuluvat Kiinan hallituksen johtamat aloitteet satamien välisen alueellisen yhteistyön vahvistamiseksi, minkä tarkoituksena on edistää yhteyksiä sekä yhteisiä strategioita kestävästä kehityksestä varten. (Poo ym. 2024.)

Veden kiertoon liittyvien ääri-ilmiöiden vaikutuksia tie- ja rautatiekuljetuksiin ovat maan vajoaminen, tienpohjan eroosio, siltatukien eroosio tai huuhtoutuminen sekä alavien alueiden tulviminen. Keinoja ongelmien ennaltaehkäisyyn ovat esimerkiksi alavien alueiden salaojituksen lisääminen, teiden ja tunneleiden vedenpumppauskapasiteetin lisääminen sekä suojavallien lisääminen ja vahvistaminen. (Markolf ym. 2019). Wright ja Hogan (2008) analysoivat merenpinnan nousun vaikutuksia liikenneinfrastruktuuriin Yhdysvaltojen itärannikolla ja havaitsivat, että yli 3800 kilometriä tie- ja rautateitä on vaarassa jäädä väliaikaisesti tai pysyvästi veden alle, jos merenpinta nousee 59 cm. Tutkittaessa rannikko- ja jokitulvien yhteisvaikutuksia Bostonin suurkaupungin kaupunkiliikenteen toimivuuteen Suarez ym. (2005) arvioivat, että ilmaston aiheuttamat tulvat lähes kaksinkertaistaisivat myöhästymisten ja menetettyjen matkojen määrän vuoteen 2100 mennessä.

2.3 Ilmakehän liikkeisiin liittyvien ääri-ilmiöiden vaikutus toimitusketjuihin

Ilmakehän liikkeisiin liittyviä sään ääri-ilmiöitä ovat esimerkiksi hirmumyrskyt, lumimyrskyt, hurrikaanit ja tornadot. Erityisesti hirmumyrskyt aiheuttavat mittavia tuhoja jokaiseen

toimitusketjun toimintoon. Hirmumyrskyt ovat viime vuosien aikana lisääntyneet ja vahvistuneet, minkä lisäksi tutkijat ennustavat trendin jatkuvan samanlaisena myös tulevaisuudessa. (Kim & Bui 2019.) Ne aiheuttavat laajamittaisia ja pitkäkestoisia tuhoja, jotka heijastuvat selkeästi toimitusketjuissa. Tuhojen korjaustyö saattaa pahimmissa tapauksissa viedä vuosia ja taloudelliset vahingot esimerkiksi Yhdysvalloissa ovat saattaneet nousta satoihin miljardeihin dollareihin. Pilaantuvien tuotteiden, kuten ruoan ja lääkkeiden toimitusketjut kärsivät erityisesti pitkistä toimituskatkoksista hirmumyrskyn sattuessa. Tilanteesta tekee myös vaikean se, että tällaisen luonnonkatastrofin sattuessa ruoalle ja erityisesti lääkkeille on paljon kiireellistä kysyntää. (Back-to-Back Hurricanes Wreak Havoc on Supply Chains 2024.) Hirmumyrskyt aiheuttavat erityisesti saarivaltioiden toimitusketjuihin mittavia häiriöitä, koska saarivaltioiden eristyneisyys, satamakapasiteetin rajallisuus, vaihtoehtoisten tilojen puute ja riippuvuus tuonnista lisäävät niiden haavoittuvuutta. Monet saarivaltioista ovat köyhiä, joten taloudellinen palautuminen katastrofista ja infrastruktuurin jälleenrakennus saattaa kestää pitkään. (Kim & Bui 2019.)

Meren pinnan nousun ja tulvien tapaan ilmakehän liikkeisiin liittyvät sään ääri-ilmiöt vaikuttavat toimitusketjun solmukohdissa, joita ovat satamat ja lentokentät. Voimakkaat myrskytuulet hankaloittavat lentokoneiden nousua ja laskeutumista, minkä takia turvallisuussyistä kiitoratoja ja kokonaisia lentokenttiä joudutaan sulkemaan. Myrskyistä johtuvat suuret sade- ja lumimäärät vaikuttavat kovien tuulten lailla lentokuljetusten perumisiin, myöhästymisiin sekä onnettomuuksiin. Esimerkiksi Yhdysvalloissa lumimyrskyt ovat aiheuttaneet paljon ongelmia lentoliikenteessä viimeisten vuosien aikana. Eniten häiriöitä esiintyy talvimyrskyille alttiilla alueilla olevilla lentokentillä, joissa matkustajavirta on suuri ja lennonjohtojärjestelmä hajautettu. (Hsu ym. 2023.)

Satamat sijaitsevat rannikoilla, joten ne ovat alttiita myrskyjen aiheuttamille ongelmille. Myrskyn uhatessa tai sattuessa kohdalle satamien on päätettävä, suljetaanko ne kokonaan vai ei. Sataman sulkeminen vaikuttaa merkittävästi merikuljetuksiin ja ylipäättänsä toimitusketjuihin, koska kuljetukset on ohjattava toiseen satamaan, mikä hidastuttaa ja monimutkaistaa rahdin kuljetusta. Päätettäessä satamien sulkemisesta on tärkeää arvioida myrskyn voimakkuutta ja liikehdintää sekä siitä koituvia kustannuksia, jotta voidaan tehdä oikeita ratkaisuja. (Wendler-Bosco & Nicholson 2018.) Vershuurin ym. (2020) mukaan myrskyistä johtuvien häiriöiden kesto satamissa skaalautuu tapahtuman voimakkuuden mukaan, sillä 1,0 metrin myrskytulvan tai 10 m/s tuulennopeuden kasvu merkitsee häiriön keston pidentymistä keskimäärin kahdella päivällä.

Kovat myrskyt aiheuttavat tulvimista, jonka vaikutukset tie- ja maantiekuljetuksiin käytiin läpi jo edeltävässä kappaleessa. Tulvimisen lisäksi myrskyjen kovat tuulenpuuskat voivat usein vahingoittaa tai tuhota kokonaan sähkönjakeluinfrastruktuuria, mikä vaikuttaa kuljetuksiin monella

eri tapaa. Myrskyistä johtuvat sähkökatkokset vaikuttavat esimerkiksi liikennevalojen, bensiinipumppujen, rautatiejärjestelmien, sähköajoneuvojen ja rautatieristeysten luotettavaan toimintaan. Sähkökatkokset häiritsevät liikennejärjestelmän tietojärjestelmiä, mikä voi johtaa ruuhkien ja onnettomuuksien lisääntymiseen, teiden sulkemiseen sekä hätätapauksiin tarkoitettun sähkön ja polttoaineen rajalliseen saatavuuteen. Katkokset vaikuttavat myös negatiivisesti kaikkiin sähköisiin kuljetuksiin ja kulkuneuvoihin, kuten sähköautoihin, metroihin sekä sähköjuniin. (Clarke ym. 2021.) Myrskyinen sää vaikuttaa ihmisten liikkumismuodon valintaan, jolloin yksityisautoilu ja teiden kuormitus lisääntyy hidastaen tiekuljetuksia. Teiden kuormittumisen lisäksi myrskyt lisäävät onnettomuuksien määrää, mikä hidastaa kuljetuksia entisestään. Lumimyrskyn aikana teiden kuormitus on vähäisempää, mutta hankalat olosuhteet, alennetut nopeusrajoitukset sekä kelistä johtuvien onnettomuuksien lisääntyminen aiheuttavat kuljetuksiin hidasteita. (Markolf ym. 2019.)

3 Toimitusketjun resilienssi ja riskienhallinta

3.1 Toimitusketjun resilienssi

Toimitusketjun resilienssi on aihe, joka on kehittynyt 2000-luvun alusta lähtien ja saanut paljon huomiota erityisesti viime vuosien aikana Covid 19 -pandemian takia. Toimitusketjun resilienssille ei ole vielä olemassa tarkkaa määritelmää, mutta useita siihen liittyviä tutkimuksia on julkaistu. Resilienssin tavoitteena on luoda järjestelmä, joka pystyy kehittymään nopeasti ilman kielteisiä vaikutuksia organisaatioon. Tällöin resilienssi ei tarkoita ainoastaan palautumista häiriöstä tai kriisivalmiutta, vaan kykyä jatkuvaan innovointiin, joka perustuu vahvuuksien, heikkouksien, mahdollisuuksien sekä uhkien analysointiin. (The Quest for Resilience 2003.)

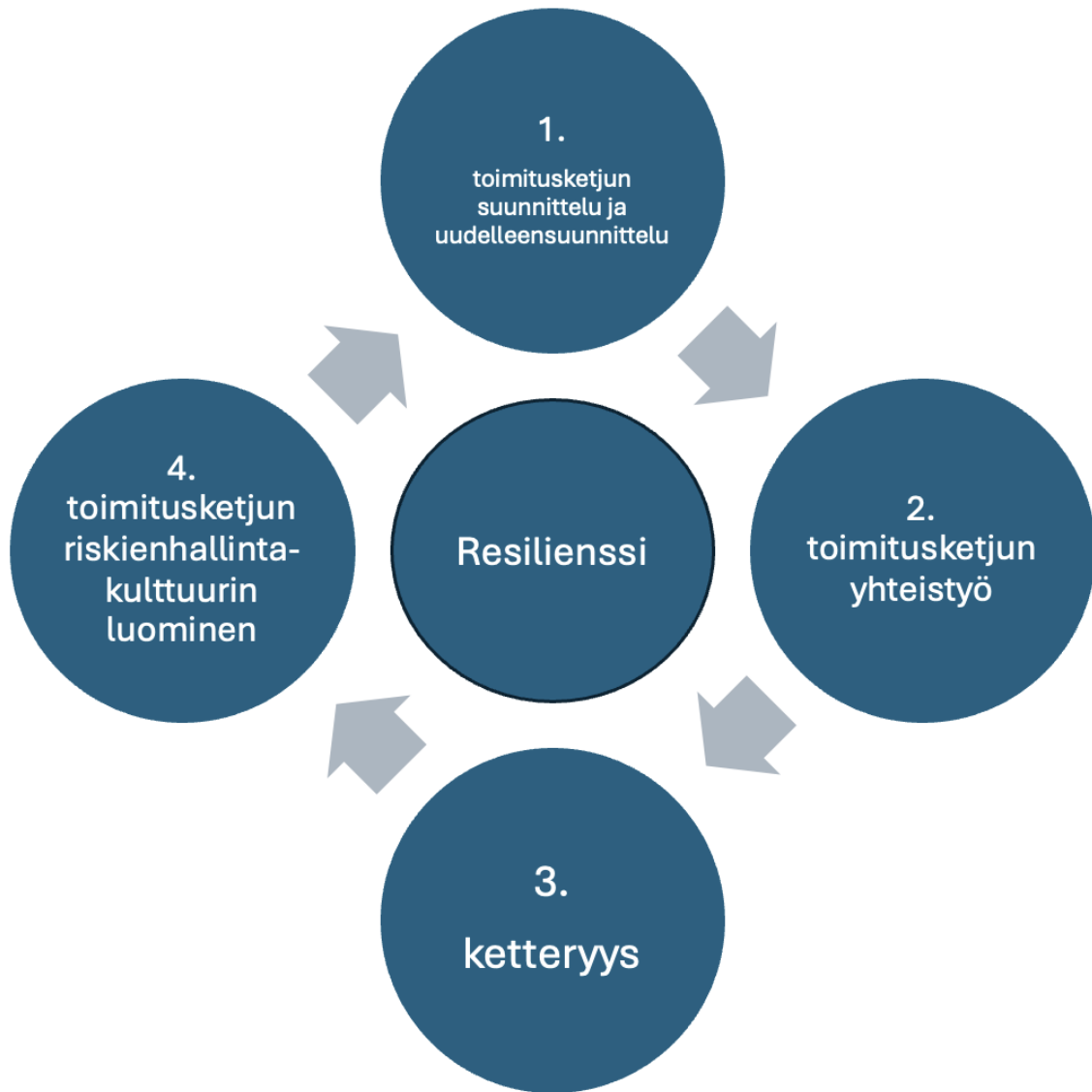
Ponomarov ja Holcomb (2009) ehdottavat toimitusketjun resilienssin tarkoittavan toimitusketjun sopeutumiskykyä, jolla se pystyy valmistautumaan odottamattomiin tapahtumiin, reagoimaan häiriöihin ja toipumaan niistä ylläpitämällä toiminnan jatkuvuutta halutulla kytkeytyneisyyden, rakenteen sekä toiminnan hallinnan tasolla. Ponis ja Koronis (2012) kuvailevat toimitusketjun resilienssiä kyvyksi ennakoivaan suunnitteluun odotettavissa olevien häiriötilanteiden varalta, kykyä reagoida häiriöihin sopeutuvasti säilyttämällä rakenteiden ja toimintojen hallinta sekä siirtyen mahdollisuuksien mukaan tapahtuman jälkeiseen vakaaseen toimintatilaan, joka on edullisempi kuin tapahtumaa edeltävä tilanne, ja saavuttaa siten kilpailuetua. Toimitusketjun resilienssin kaikkia määritelmiä yhdistää näkemys siitä, että häiriönsietokyky tarkoittaa reagointia ja toiminnan toipumista samalla tai paremmalla tasolla, jolloin siihen kuuluu järjestelmän uudistaminen. Kirjallisuudessa ei ole havaittavissa käsitteellisiä eroja toimitusketjun resilienssin määritelmien välillä järjestelmätasolla. Kuitenkin näkökulma resilienssin muodostaviin tekijöihin, joita ovat tapahtumavalmius, reagointi ja toipuminen – ei ole yhtä johdonmukainen. (Anbumozhi ym. 2020)

Globalisaation seurauksena toimitusketjut ovat kansainvälistyneet, tuotesyklit lyhentyneet sekä asiakkaiden vaatimukset kasvaneet, minkä vuoksi yritykset kärsivät merkittäviä taloudellisia tappioita häiriöiden sattuessa. (Ponomarov & Holcomb 2009.) Modernit toimitusketjut ovat dynaamisia verkostoja, jotka koostuvat toisiinsa liittyvistä yrityksistä ja toimialoista. Yksikään organisaatio ei toimi erillään, ja jopa tarkimmin hallitut prosessit ovat vain niin hyviä kuin niiden tukena olevat yhteydet ja solmukohdat. Yritykset ovat entistä riippuvaisempia tehokkaista sekä luotettavista kuljetus- ja viestintäjärjestelmistä, mikä on usein aliarvioitu tekijä resilienssiä tavoiteltaessa. (Christopher & Peck 2004.) Resilienssin lisäämiseksi yrityksen johdon on ymmärrettävä toimitusketjuunsa kohdistuvien riskien kirjon ja niiden keskinäisen kytkeytyneisyyden, jotta riskien vähentämiseksi voidaan suunnitella tehokkaita ja räätälöityjä strategioita (Managing Risk to Avoid Supply-Chain Breakdown 2004).

Toimitusketjun jokainen toiminto sisältää riskin odottamattomasta sisäisestä tai ulkoisesta häiriöstä (Ponomarov & Holcomb, 2009). Ulkoisia häiriöitä ovat Kummerin ym. (2022) mukaan luonnon katastrofit, ihmisen tekemät tuhot, onnettomuudet, kyberhyökkäysriskit, rahoitusriskit sekä pandemiat. Toimitusketjun sisäinen riski on Ponomarovin ja Holcombin (2009) mukaan toimitusketjun kaikkien toimintojen integroimattomuus, mutta häiriöt voivat myös johtua yrityksistä luoda kustannustehokkaampi toimitusketju, jossa sen toiminnot on ulkoistettu eri puolilla maailmaa toimiville kumppaneille.

3.2 Resilienssin luominen toimitusketjussa

Tieteellinen kirjallisuus sisältää useita samankaltaisia selityksiä ja päällekkäistä termistöä toimitusketjun resilienssin osatekijöistä. Esimerkiksi Jüttnerin ja Maklanin (2011) mukaan toimitusketjun resilienssi koostuu neljästä osatekijästä, jotka esiintyvät aiheeseen liittyvässä tieteellisessä kirjallisuudessa useimmiten: yhteistyö (engl. collaboration), joustavuus (engl. flexibility), nopeus (engl. velocity) sekä läpinäkyvyys (engl. transparency). Nämä toimitusketjun resilienssin komponentit esiintyvät myös hieman eri termein Christopherin ja Peckin (2004) tutkimuksessa, jonka mukaan resilienssin osatekijät ovat: toimitusketjun suunnittelu ja uudelleensuunnittelu (engl. supply chain (re)engineering), toimitusketjun yhteistyö (engl. supply chain collaboration), ketteruus (engl. agility) sekä toimitusketjun riskienhallintakulttuurin luominen (engl. create a supply chain risk management culture). Tässä tutkimuksessa toimitusketjun resilienssiä tutkitaan käyttäen kyseistä viitekehystä, koska se sisältää aiheeseen liittyvän tieteellisen kirjallisuuden yleisimmät tekijät sekä kattavasti muita toimitusketjun resilienssin osatekijöitä.



Kuva 1 Resilientin toimitusketjun luominen

Christopherin ja Peckin (2004) mukaan toimitusketjun suunnittelu ja uudelleensuunnittelu on resilienssin kannalta tärkeää, koska toimitusketjuja suunnitellaan harvoin ensimmäisessä vaiheessa resilienssi edellä ja riskien vähentämiseen tähtäävä toiminta seuraa jälkikäteen. Heidän mukaansa toimitusketjun suunnittelun ja uudelleensuunnittelun tärkeimmät komponentit ovat: toimitusketjun ymmärtäminen, toimitusketjun suunnitteluperiaatteet sekä hankintapohjan strategia.

Toimitusketjun ymmärtämisen apuna toimii esimerkiksi toimitusketjun kartoitus, joka tarkoittaa organisaation kykyä seurata tuotantoketjun alkupäätä, loppupäätä ja prosessien arvoketjuja uusimman digitaalisen teknologian avulla. Onnistuneen kartoituksen avulla yritykset ovat tietoisia toimittajiensa vahvuudesta, materiaaliavaroista sekä maantieteellisistä sijainneista, mikä

mahdollistaa niiden proaktiivisuuden sekä tehokkaat vastatoimet häiriön sattuessa. (Mubarik ym. 2023.) Toimitusketjun suunnitteluperiaatteilla viitataan valintaan kustannustehokkuuden ja resilienssin välillä sekä myöhempään arviointiin. Esimerkiksi ylimääräisen varaston ylläpitäminen ei ole välttämättä kustannustehokasta, mutta parantaa resilienssiä häiriöiden sattuessa. Tämän takia on tärkeää seurata jatkuvasti tilannetta, arvioida varaston ylläpitämisestä johtuvia vaihtoehtoiskustannuksia sekä tehdä tarvittavia muutoksia. (Christopher & Peck 2004.) Hankintapohjan strategialla tarkoitetaan valintaa hankintapohjan keskittämistä muutamalle toimittajalle tai hankintapohjan hajauttamista useille toimittajille. Keskittämällä hankintapohjan muutamalle toimittajalle yritys voi saavuttaa mittakaavaetuja, alentaa hankinta- ja varastointikustannuksia sekä parantaa valta-asemaansa toimittajiin nähden. Hankintapohjan hajauttaminen useille toimittajille vaikeuttaa toimittajien tuntemusta, hankaloittaa koordinoitua sekä aiheuttaa usein lisäkustannuksia ja laadun heikkenemistä. Kuitenkin resilienssin näkökulmasta hankintapohjan hajauttaminen voi olla mielekäästä, koska häiriön tapahtuessa yhden toimittajan kohdalla, voidaan tukeutua muihin toimittajiin. Laajan häiriön sattuessa maailmanlaajuisesta hajautuksesta sekä kuljetusyhtiöiden hajautuksesta on yrityksille hyötyä toiminnan nopean elpymisen kannalta. (Polyviou ym. 2023.)

Resilientin toimitusketjun luomisen toinen vaihe liittyy toimitusketjun yhteistyöhön. Toimitusketjun yhteistyö tarkoittaa toimitusketjun kumppaneiden välistä yhteistyötä, jonka tarkoituksena on luoda arvoa ja yhdistää resursseja molemminpuolisen hyödyn saamiseksi. Toimitusketjun yhteistyö lisää sidosryhmien luottamusta sekä parantaa toimitusketjun näkyvyyttä, mitkä auttavat toimitusketjun kumppaneita vahvistamaan kilpailukykyään nykyajan nopeasti muuttuvassa liiketoimintaympäristössä. (Baah ym. 2021.)

Kolmas vaihe on toimitusketjun ketteryyden saavuttaminen, johon vaikuttavat toimitusketjun nopeus sekä näkyvyys. Resilienssin näkökulmasta ketteryydellä tarkoitetaan toimitusketjun kykyä reagoida nopeasti muutoksiin muokkaamalla järjestelmää tai palautumalla alkuperäiseen tilaan. Ketteryyden saavuttaminen edellyttää ketteryyttä koko toimitusketjulta ja sen kumppaneilta, joten se ei koske vain yhtä yksittäistä organisaatiota. (Kummer ym. 2022.) Toimitusketjun näkyvyys saavutetaan toimitusketjun yhteistyöllä, jolloin yksittäinen yritys saa tietoa toimitusketjun alku- ja loppupään tapahtumista koskien esimerkiksi varastotasoja, tuotantoaikatauluja sekä kysyntää ja tarjontaa koskevia tietoja. Toimitusketjun nopeuttamisen keinoja ovat esimerkiksi prosessien virtaviivaistaminen, läpimenoaikojen lyhentäminen sekä lisäarvoa tuottamattoman ajan vähentäminen. Näiden keinojen avulla pyritään lyhentämään sitä aikaa, jonka tuote tarvitsee siirtyäkseen toimitusketjun toisesta päästä toiseen. (Christopher & Peck 2004.) Toimitusketjun resilienssiä tutkivassa kirjallisuudessa on Kummerin ym. (2022) mukaan erilaisia näkemyksiä

näkyvyyden ja nopeuden merkityksestä. Osa tutkijoista pitää esimerkiksi näkyvyyttä ketteryuden ajurina, kun taas osa tutkijoista pitää näkyvyyttä täysin erillisenä resilienssin ajurina.

Viimeisenä vaiheena resilienssin saavuttamisessa on toimitusketjun riskienhallintakulttuurin luominen. Riskienhallintakulttuuri määrittää organisaatioiden selviytymisen häiriöiden sattuessa. Kulttuurin luomiseksi organisaatioiden tulee omaksua riskienhallinta osana päätöksentekoa jokaisella organisaation tasolla sekä viestiä sen tärkeyttä. Riskienhallintakulttuurin luomisella on positiivinen vaikutus kaikkiin muihin resilienssin ajureihin ja tätä kautta koko organisaation suorituskykyyn. (EBSCO 2023.) Christopherin ja Peckin (2004) mukaan riskienhallintakulttuurin luominen ja muuttaminen on aina organisaation johdon vastuulla. Heidän mukaansa organisaatioon pitäisi myös koota poikkitoiminnallinen tiimi, joka vastaa toimitusketjun riskienhallinnasta ja raportoi siitä johdolle säännöllisin väliajoin.

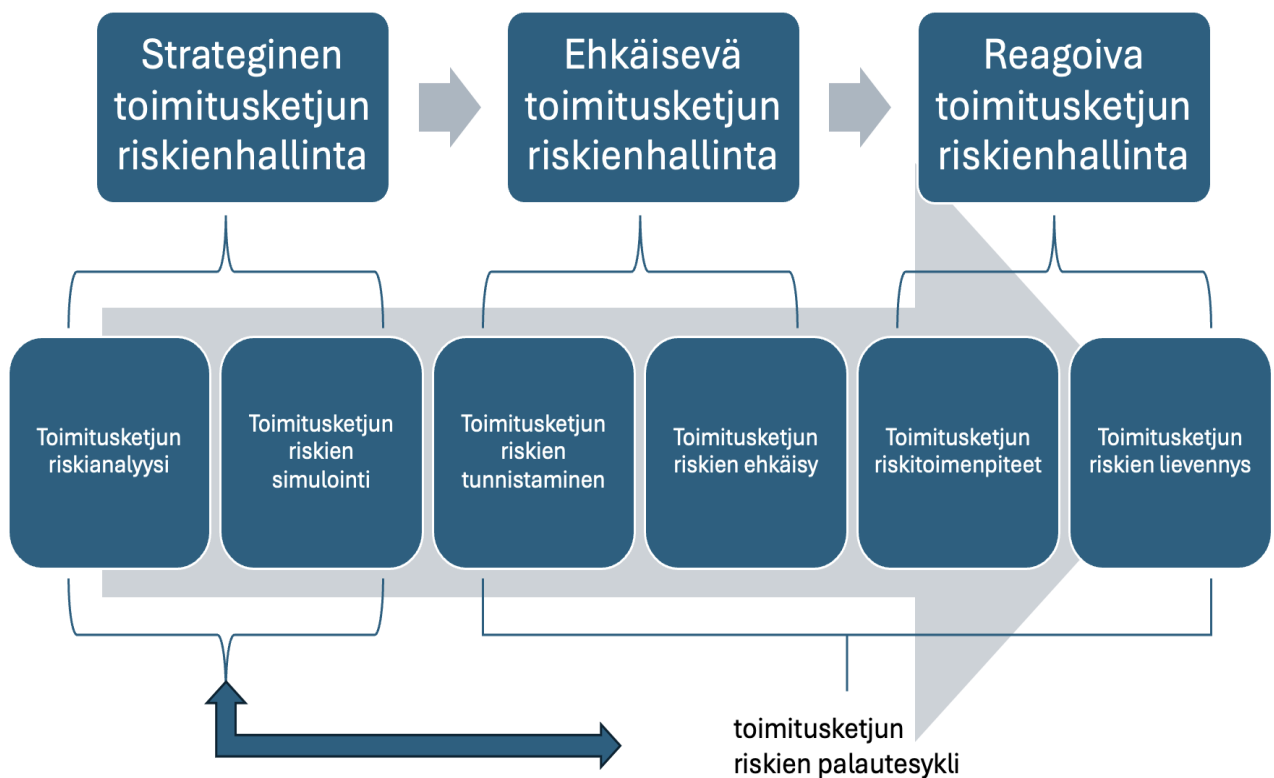
3.3 Toimitusketjun riskienhallinta

Toimitusketjun riskienhallinta on yrityksille elinehto jatkuvasti muuttuvassa maailmassa. Kilpailun myötä yritysten on pyrittävä luomaan mahdollisimman tehokkaasti optimoitu toimitusketju, joka ottaa myös kustannukset huomioon. Toimitusketjun resilienssillä on vaikutuksia erilaisten riskienhallinnan lähestymistapojen toteuttamiseen. Toimitusketjun riskienhallinta voidaan määrittää sellaisten strategioiden toteuttamisena, joilla hallitaan toimitusketjun päivittäisiä sekä poikkeuksellisia riskejä, jotka perustuvat jatkuvaan riskinarviointiin. Riskienhallinnan tavoitteena on haavoittuvuuden vähentäminen ja jatkuvuuden varmistaminen. (Helmold ym. 2022.) Olsonin (2014) mukaan toimitusketjun riskienhallinnassa on kyse prosessien ja toimintojen koordinoinnista ja yhteistyöstä muiden organisaatioiden kanssa, jolloin tavoitteena ei ole pelkästään riskin välttäminen vaan uusien ja parempien keinojen tunnistaminen yrityksen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Kiinnostus toimitusketjun riskienhallintaa kohtaan on lisääntynyt viime vuosikymmenten aikana, mikä näkyy aiheetta käsittelevien tutkimusten määrässä. Suurin osa aiheeseen liittyvästä tieteellisestä tutkimuksesta keskittyy toimittajien valintaan ja materiaalien virtaukseen. Kokonaisvaltaisen käsityksen muodostaminen riskienhallinnasta edellyttää eri tutkimusnäkökulmista saadun tiedon yhdistämistä. (Tang & Nurmaya Musa 2011.)

Toimitusketjun riskienhallinnan laiminlyömisellä voi olla merkittävä kielteinen vaikutus organisaatioihin. Toimitusketjun sisäisten riskien vaikutuksia ovat esimerkiksi toiminnan keskeytyminen, tuotteiden laadun heikkeneminen, omaisuuden ja laitteiden vahingoittuminen,

liikearvon menettäminen asiakkaiden ja toimittajien keskuudessa, maineen vahingoittuminen suuren yleisön keskuudessa sekä toimitusten viivästyminen. Vakiintunetkin toimitusketjut altistuvat ulkoisille riskeille, joita ovat mm. ilmastonmuutoksesta johtuvat riskit ja poliittiset riskit. Potentiaalisten riskien määrää on kasvattanut viime aikoina sisäisten ja ulkoisten riskien lisäksi nopea teknologinen kehitys, tuotekehitys sekä asiakkaiden muuttuvat tarpeet. (Knovel 2012.) Ulkoiset riskit voidaan jakaa viiteen pääkategoriaan, joita ovat kysynnän riskit, tarjonnan riskit, ympäristön riskit, liiketoiminnan riskit sekä tuotantolaitoksen riskit. Sisäisten riskien pääkategoriat ovat tuotannon riskit, liiketoimintariskit, suunnittelu- ja valvontariskit, varautumiseen ja lieventämiseen liittyvät riskit sekä kulttuuririskit. (Helmold ym. 2022.)



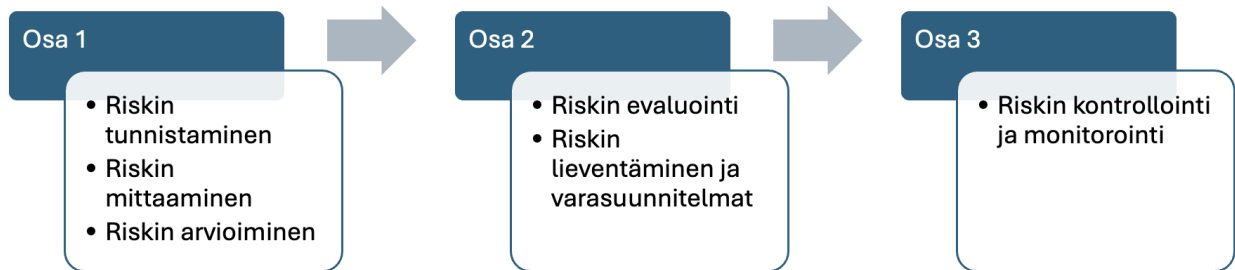
Kuva 2 Toimitusketjun riskienhallinnan eri keinot

Yritykset voivat harjoittaa toimitusketjun riskienhallintaa kolmella eri tapaa. Strateginen riskienhallinta sisältää riskianalyysin ja simuloinnin, joiden avulla kartoitetaan ja arvioidaan mahdollisia riskejä. Ehkäisevä riskienhallinta keskittyy riskien tunnistamiseen ja ennaltaehkäisyyn, jotta häiriöt voidaan minimoida ennen niiden toteutumista. Reagoiva riskienhallinta puolestaan sisältää operatiiviset toimenpiteet ja riskien lieventämisen, joiden avulla pyritään vähentämään syntyneitä haittoja ja palauttamaan toimitusketju normaalitilaan. Kuvassa esitetty palautesykli korostaa jatkuvaa oppimisprosessia, jossa aiempia riskejä ja hallintatoimia arvioidaan uudelleen.

Tämä malli havainnollistaa, kuinka toimitusketjun riskienhallinta on dynaaminen prosessi, joka yhdistää ennakoivat ja reaktiiviset toimenpiteet toimitusketjun häiriöiden minimoimiseksi.

(Helmold ym. 2022.)

Toimitusketjun riskienhallintaprosessi (SCRM)



Kuva 3 Toimitusketjun riskienhallintaprosessi

Tummalan ja Schoenherrin (2011) mukaan tyypillinen toimitusketjun riskienhallinnan prosessi, joka tarjoaa puitteet kestäville strategioille, koostuu kolmesta osasta: osa 1 sisältää riskin tunnistamisen (engl. risk identification), riskin mittaamisen (engl. risk measurement) sekä riskin arvioinnin (engl. risk assesment). Osa 2 sisältää riskin evaluoinnin (engl. risk evaluation) sekä riskin lieventämisen ja varasuunnitelmat (engl. risk mitigation and contingency plans). Viimeinen osa sisältää riskin kontrolloinnin ja monitoroinnin (engl. risk control and monitoring).

Ensimmäiset vaiheet toimitusketjun riskienhallinnan prosessissa ovat riskin tunnistaminen, riskin arvioiminen ja mittaaminen. Riskin tunnistamisen tarkoituksena on kaikkien olennaisten riskien ja epävarmuustekijöiden tunnistaminen, jotta ennakoivia riskinhallintamenetelmiä voidaan hyödyntää. Riskinarviointi- ja mittaamisprosessin on oltava mahdollisimman kattava sekä arvioitava jokaisen riskin merkittävyys, jotta voidaan suunnitella tarvittavia torjuntakeinoja ja strategioita. (Fan & Stevenson 2018.)

Riskien evaluoinnissa sekä lieventämis- ja varasuunnitelmissa voidaan hyödyntää erilaisia menetelmiä, kuten toimitusketjun kartoitusta, tarkistuslistoja ja tapahtuma-analyyseja. Joillakin riskienhallintatoimilla on negatiivisia vaikutuksia muiden riskien hallintaan, joten on tärkeää tarkastella riskien välisiä yhteyksiä ennen riskienhallintastrategioiden toteuttamista. (Tummala & Schoenherr 2011.) Toimitusketjun riskejä evaluointi perustuu kvantitatiiviseen ja kvalitatiiviseen tutkimukseen, jolloin Tsain ym. (2008) mukaan objektiivisen datan ja subjektiivisen näkemyksen

yhdistäminen voi johtaa riskien tarkempaan määrittelyyn, mikä puolestaan parantaa riskien ennustettavuutta ja arvioinnin tehokkuutta.

Toimitusketjun riskienhallinnan viimeisessä vaiheessa seurataan ja arvioidaan aiemmin toteutettujen riskienhallintatoimenpiteiden vaikutuksia. Tämä prosessi auttaa tunnistamaan ennaltaehkäiseviä keinoja ja antaa suuntaviivoja jatkuvalla kehittämiselle. Mahdolliset häiriöt ja poikkeamat dokumentoidaan, ja tietojärjestelmät voivat tukea tätä prosessia tallentamalla ja päivittämällä keskeisiä riskeihin liittyviä tietoja, kuten riskitekijöitä, vaikutusten vakavuusasteita ja sääntelyvaatimuksia. Lisäksi yritykset voivat hyödyntää erilaisia ohjelmistoratkaisuja, kuten pilvipohjaisia riskienhallintajärjestelmiä, jotka helpottavat prosessin automatisointia ja tehostamista. Vaikka riskienhallinnan päätöksenteko perustuu aiemmin määriteltyihin vaiheisiin, prosessi on jatkuva ja dynaaminen. Riskitilanteet ja toimintaympäristö voivat muuttua, minkä vuoksi riskien seuranta ja arviointia on tehtävä säännöllisesti, jotta toimitusketju säilyttää joustavuutensa ja kestävyden erilaisissa häiriötilanteissa. (Baah ym. 2021.)

3.4 Riskienhallinnan sekä resilienssin yhtäläisyydet ja erot

Nykyisessä yhä monimutkaisemmassa ja epävarmemmassa liiketoimintaympäristössä toimitusketjuihin kohdistuu lukuisia riskejä, kuten sään ääri-ilmiöiden aiheuttamat häiriöt. Näissä haasteissa selviytyäkseen organisaatiot turvautuvat toimitusketjun riskienhallintaan ja resilienssi-strategioihin. Vaikka nämä käsitteet ovat erillisiä, ne liittyvät luonnostaan toisiinsa. Tehokas riskienhallinta parantaa resilienssiä, ja resilientti toimitusketju on paremmin varustautunut käsittelemään riskejä. Tämän vuorovaikutussuhteen ymmärtäminen on ratkaisevan tärkeää organisaatioille, jotka pyrkivät varmistamaan liiketoiminnan jatkuvuuden ja pitkän aikavälin kestävyden.

Toimitusketjun riskienhallinta on systemaattinen lähestymistapa sellaisten riskien tunnistamiseen, arviointiin ja lieventämiseen, jotka voivat häiritä tavaroiden, palvelujen ja tiedon kulkua toimitusketjussa. Siihen sisältyy ennakoivia toimenpiteitä, kuten toimittajien monipuolistaminen, varasuunnitelmat ja reaaliaikainen seuranta haavoittuvuuksien minimoimiseksi. Toimitusketjun riskienhallinnan ensisijaisena tavoitteena on estää häiriöt ennen niiden syntymistä tai vähentää niiden vaikutuksia, jos ne syntyvät. (Knovel 2012).

Resilienssi puolestaan tarkoittaa toimitusketjun kykyä kestää häiriöitä, sopeutua niihin ja toipua niistä. Kestävä toimitusketju ei ainoastaan kykene ottamaan vastaan häiriöitä vaan myös mukauttamaan toimintojaan nopeasti toimintakyvyn palauttamiseksi. Tämä sopeutumiskyky

edellyttää ketteryyttä, näkyvyyttä ja yhteistyötä toimitusketjun kumppaneiden välillä. Joustavat organisaatiot panostavat joustaviin hankintastrategioihin, digitaalitekologioihin ja vankkoihin kriisinhallintasuunnitelmiin, jotta toiminnan jatkuvuus säilyy vastoinkäymisten aikana.

Riskienhallinnalla pyritään vähentämään altistumista mahdollisille uhkille, mutta resilienssillä varmistetaan, että toimitusketju pysyy toimintakykyisenä myös häiriöiden sattuessa. (Ponomarov & Holcomb 2009.)

Riskienhallinnan ja resilienssin välinen yhteys perustuu niiden toisiaan täydentävään luonteeseen. Tehokkaat riskinhallintastrategiat vahvistavat häiriönsietokykyä tunnistamalla mahdolliset haavoittuvuudet ja toteuttamalla suojatoimia. Esimerkiksi organisaatio, joka monipuolistaa toimittajapohjaansa riskinhallintastrategiana, parantaa samalla resilienssiään varmistamalla vaihtoehtoiset hankintalähteet häiriötilanteissa. Vastaavasti toimitusketjun toimintojen reaaliaikainen seuranta digitaalisten työkalujen avulla auttaa paitsi havaitsemaan riskit varhaisessa vaiheessa myös parantamaan toimitusketjun reagointikykyä, mikä tekee siitä resilientin. (Nnaji ym. 2024.)

4 Toimitusketjun riskienhallinnan ja resilienssin kehittäminen vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia ongelmia

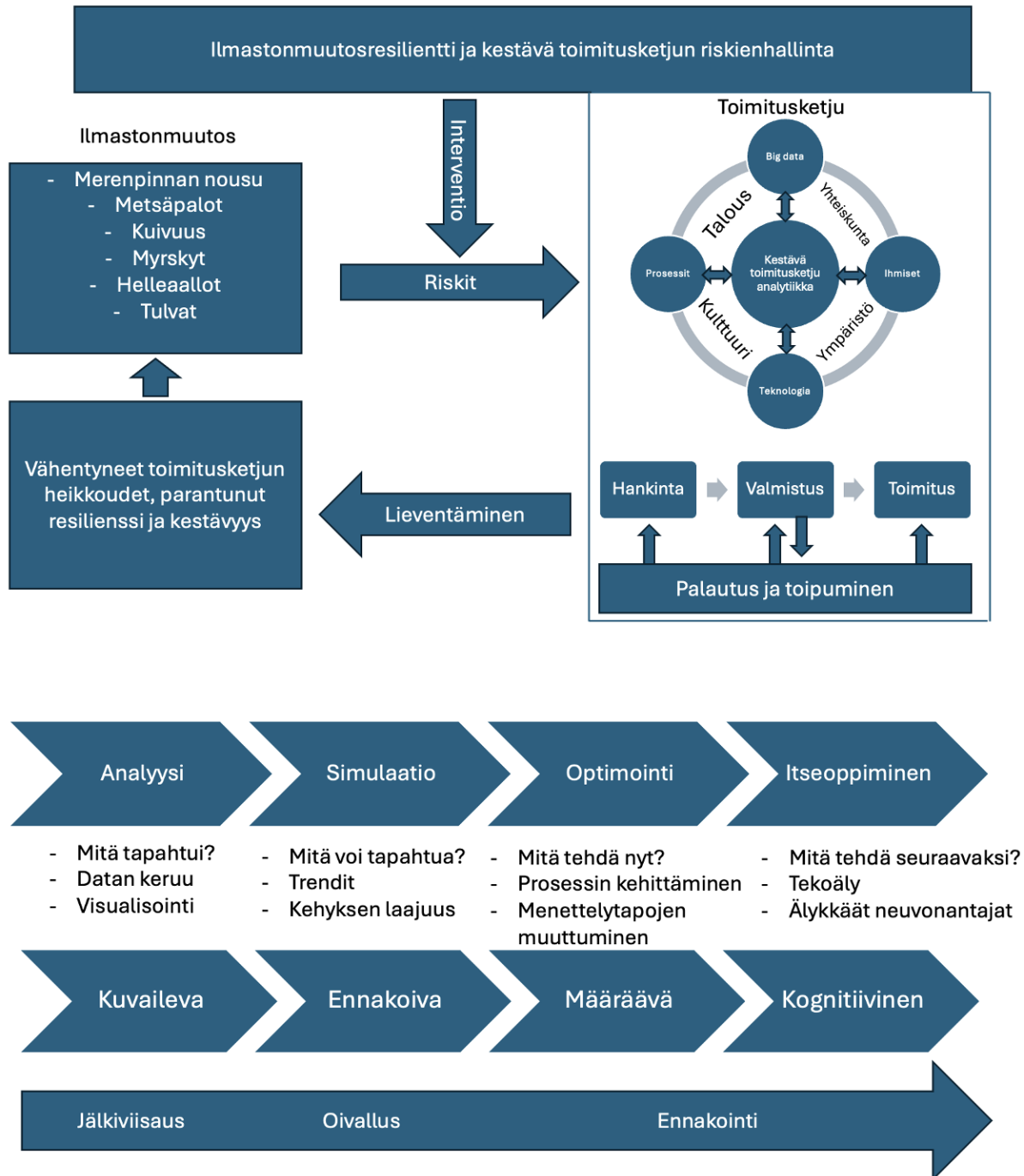
Toimitusketjun riskienhallinnan ja resilienssin kehittäminen on olennaista, kun yritykset pyrkivät sopeutumaan ilmastonmuutoksen aiheuttamiin sään ääri-ilmiöihin. Jotta yritykset voivat varautua paremmin ja varmistaa toimintansa jatkuvuuden, niiden tulee kehittää kattavia riskienhallintastrategioita ja parantaa toimitusketjunsä resilienssiä. Riskienhallinnan kehittäminen parantaa yleensä samalla myös toimitusketjun resilienssiä. Esimerkiksi korkeammilla rakennusstandardeilla pystytään vaikuttamaan fyysisen tuotantolaitoksen tai tuotantoon liittyvän infrastruktuurin kestävyys, mikä parantaa tuotannon resilienssiä. Kuitenkin koko toimitusketjun resilienssin kehittäminen vaatii riskienhallinnalta tehokasta riskin tunnistamista ja arvioimista, eikä sitä voida vahvistaa pelkillä fyysisillä investoinneilla. (Anbumozhi ym. 2020.)

4.1 Riskienhallinnan kehittäminen vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia ongelmia

Ilmastonmuutokseen liittyvien sopeutumistoimien arvioinnissa ja toteuttamisessa käytettävien menetelmien valinnassa voidaan käyttää monenlaista aineistoa ilmastonmuutosta käsittelevästä kirjallisuudesta ja sen ulkopuolelta. Riskin määrittely, tutkittavien kysymysten oikea muotoilu ja arviointimenetelmät ovat kriittisiä näkökohtia määrittelyvaiheessa. Vasta kun nämä kysymykset on käsitelty, on ryhdyttävä käsittelemään erityisiä menetelmiä ja välineitä. Sopeutumista voidaan suunnitella käyttäen arviointia, jossa keskitytään ihmisen aiheuttamaan ilmastonmuutokseen, haavoittuvaisuuteen, kestävyys, kestävään kehitykseen ja katastrofiriskiin liittyviin kysymyksiin riskinhallintakehyksen avulla. Arviointi voi perustua yhteisöissä, ammattiteissa ja virastoissa jo olemassa olevaan politiikka- ja hallintatietämykseen, johon sisällytetään nykyiset ohjelmat, tietämys, riskit ja kysymykset, joita ne jo kohtaavat. (Jones & Preston 2011.)

Ilmastonmuutoksen ja toimitusketjujen johtamisen tieteenalat ovat viime vuosien aikana kehittyneet ja lähentyneet toisiaan, minkä vuoksi toimitusketjun riskienhallinnan viitekehystä tulisi kehittää. Toimitusketjun riskienhallinnan pitäisi huomioida ilmastonmuutoksesta johtuvat riskit entistä tarkemmin sekä sisällyttää resilienssin ja kestävyys näkökulmat. (Yun & Ülkü 2023.) Kestävyys on yhä tärkeämmässä roolissa toimitusketjun riskienhallinnassa. Toimitusketjun kestävyysaloitteiden toteuttaminen vaikuttaa myönteisesti riskienhallintaan ja esimerkiksi hankinnan suorituskykyyn, mikä korostaa kestävien käytäntöjen integroimisesta toimitusketjuihin

saatavia hyötyjä. Toimitusketjun kestävällä toiminnalla voidaan myös ehkäistä mainehaitasta koituvia riskejä. (Hallikas ym. 2020.)



Kuva 4 Ohjaava viitekehys ilmastomuutosresilienttiin ja kestävään toimitusketjun riskienhallintaan

Yun ja Ülkü (2023) ehdottavat toimitusketjun riskienhallinnan kehittämistä uuteen muotoon ilmastomuutosresilientiksi ja kestäväksi toimitusketjun riskienhallinnaksi. Heidän mukaansa

ilmastomuutosresilientti ja kestävä toimitusketjun riskienhallinta on lähestymistapa, jonka avulla voidaan tunnistaa, arvioida ja lieventää ilmastonmuutokseen liittyviä riskejä ja niiden vaikutuksia toimitusketjun resilienssiin siten, että toimitusketjun suunnitteluun ja toteutukseen rakennetut resilienssimekanismit ehkäisevät niihin liittyviä ympäristöllisiä ja muita haavoittuvuuksia. Ilmastomuutosresilientissä ja kestävässä toimitusketjun riskienhallinnassa on otettava huomioon monipuolisesti sään ääri-ilmiöistä johtuvat riskit koko toimitusketjussa sekä kestävä toimitusketjuanalytiikka.

Kestävä toimitusketjuanalytiikka tarkoittaa liiketoiminta-analytiikan käyttöä kestävään kehitykseen liittyvien tietojen keräämisessä, analysoinnissa ja levittämisessä. Kirjallisuudessa on tuotu esiin organisaatioiden tarve hallita ja tehdä tiivistä yhteistyötä toimittajien ja asiakkaiden kanssa kestävyyskysymyksissä, jotta riskejä voidaan hallita tehokkaammin. Tätä tarkoitusta varten toimitusketjun analytiikka kerää ja analysoi kestävyteen liittyviä tietoja tehokkaasti ja tuloksellisesti ja tukee siten erilaisia tietotarpeita, joihin kuuluvat taloudellisten, kulttuurillisten, ympäristöön liittyvien ja sosiaalisten kysymysten ennustaminen, analysointi ja arviointi. (Rodríguez & Giannakis 2018.)

Kestävästä toimitusketjuanalytiikasta on apua toimitusketjun riskienhallinnalle analyysivaiheessa, jossa kerätään ja visualisoidaan tietoja aiemmista ilmastovaikutuksista. Simuloinnissa ennustetaan tulevia vaikutuksia, ja optimoinnissa määritetään parhaat sopeutumisstrategiat, kuten hankintalähteiden monipuolistaminen. Itseoppimisvaiheessa hyödynnetään tekoälyä näiden strategioiden jatkuvaan parantamiseen reaaliaikaisten tietojen perusteella. Ottamalla ilmatoriskit osaksi kestävä riskianalyysia voidaan lieventää ilmastonmuutoksen aiheuttamia riskejä ja haavoittuvuuksia. (Yun & Ülkü 2023.) Sään ääri-ilmiöiden tarkka ennustaminen on edelleen haastavaa maapallon järjestelmämallien monimutkaisuuden ja ilmastonmuutokseen liittyvän epävarmuuden vuoksi. Kuitenkin tekoälyn tietojenkäsittely- ja keru ominaisuudet parantavat merkittävästi digitaalisten mallien ennusteiden ja todellisten tilanteiden välistä kuilua, jolloin saadaan tarkempia ennusteita tulevista tuloksista. Havaintosatelliittien tuottaman suuren tietomäärän ja ilmastomallien monimutkaisuuden vuoksi tekoäly on tullut yhä tärkeämmäksi sääennusteissa. Tekoälyä käytetään laajalti kaiken tiedon etsimiseen ja uusien ilmastomallien löytämiseen, mikä vähentää ennustevirheitä ja parantaa tarkkuutta. (Chen ym. 2023.)

4.2 Resilienssin kehittäminen vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia ongelmia

Sään ääri-ilmiöistä aiheutuvien haasteiden vuoksi resilienssin kehittäminen edellyttää usein, että huomio kiinnitetään ensisijaisesti toimitusketjun suunnitteluun. Toimitusketjun hajauttaminen monelle toimittajalle ja useisiin maihin parantaa resilienssiä, koska sään ääri-ilmiöistä johtuva häiriö on usein alueellinen eikä välttämättä vaikuta kaikkiin toimittajiin. Myös kuljetusyhtiöiden hajauttamisella pystytään vaikuttamaan toiminnan jatkuvuuteen ja palautumiseen säästä johtuvan häiriön sattuessa. (Polyviou ym. 2023.) Tavarantoimittajien ja logistiikkareittien monipuolistaminen on perustavanlaatuinen strategia paikallisten ilmastotapahtumien riskin lieventämiseksi. Yritykset voivat vähentää toiminnan täydellisen pysähtymisen todennäköisyyttä, jos niillä on useita lähteitä kriittisille komponenteille tai vaihtoehtoisia logistiikkavaihtoehtoja. (Nnaji ym. 2024.) Anbumozhin ym. (2020) mukaan toimitusketjun muista toimipisteistä saama mahdollinen apu häiriön aikana nopeuttaa toipumisprosessia, minkä vuoksi toimitusketjuverkoston syventäminen parantaa resilienssiä.

Kestävyyden huomioimisella on riskienhallinnan lisäksi merkittävä positiivinen vaikutus toimitusketjun resilienssiin. Investoinnit kestäviin käytäntöihin ovat keskeinen sopeutumisstrategia. Aloitteet, kuten jätteiden vähentäminen, resurssien käytön optimointi ja uusiutuviin energialähteisiin siirtyminen, lieventävät toimitusketjun toimintojen ympäristövaikutuksia ja parantavat niiden kestävyttä vähentämällä riippuvuutta rajallisista resursseista. (Nnaji ym. 2024.)

Ilmastonmuutokselle ja sään ääri-ilmiöille altistumisella on suora ja positiivinen vaikutus resilienssin kehittämiseen. Altistuminen ilmastonmuutoksesta johtuville häiriöille vaikuttaa merkittävästi resilienssin kehittämiseen yrityksen sisäisen ja toimitusketjun yritysten välisen sosiaalisen pääoman kautta. Toimitusketjun yritysten välinen tuki, tieto, toiminta sekä yhteisöllisyyden tunne ovat suhteellisia voimavaroja, jotka ovat yrityksille tärkeitä ilmastonmuutoksesta johtuviin häiriöihin valmistautuessa, reagoidessa sekä resilienssiä kehittäessä. Suhteellisten resurssien ja yhteistyön kautta toimitusketjun eri toimijoiden on helpompi esimerkiksi vaihtaa muita resursseja, kuten fyysisiä, taloudellisia ja teknologisia resursseja. Yritysten välinen sosiaalinen pääoma on täten voimakas suhteellinen resurssi, joka edistää resilienssin toimintaa esimerkiksi sään ääri-ilmiöistä johtuvien häiriöiden varalta. (Ali ym. 2023.) Yunin ja Ülkün (2023) mukaan yritysten välisellä yhteistyöllä ja kumppanuuksilla on ratkaiseva merkitys kestävien ja resilienssien toimitusketjujen rakentamisessa. Yhteistyön lisäksi politiikalla ja erilaisella sääntelyllä olisi tuettava ja kannustettava ilmastoresilienttejä käytäntöjä toimitusketjuissa.

Jaetut yhteiskunnalliset kehityspolut ovat skenaarioita, joita käytetään ilmastotutkimuksessa kuvaamaan mahdollisia yhteiskunnallisia ja taloudellisia kehityspolkuja tulevaisuudessa. Ne

auttavat arvioimaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia, sopeutumiskykyä ja päästövähennystoimenpiteiden toteutettavuutta. Näiden skenaarioiden vaikutusten ymmärtäminen on elintärkeää arvioitaessa esimerkiksi liikennejärjestelmien kykyä sopeutua ja ylläpitää toimintaa erilaisissa ilmasto-olosuhteissa. Tarkat ennusteet ilmastovaikutuksista voivat ohjata strategisia investointeja ja vahvistaa pitkän aikavälin resilienssiä. (Guitouni ym. 2025.)

5 Johtopäätökset

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin ilmastonmuutoksesta johtuvien sään ääri-ilmiöiden vaikutusta toimitusketjuihin, sekä miten toimitusketjun riskienhallintaa ja resilienssiä voidaan kehittää vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia häiriöitä. Lähtökohtana tutkimukselle oli havainto, että sään ääri-ilmiöt vaikuttavat yhä enenevässä määrin toimitusketjuihin erilaisten häiriöiden muodossa. Tämän takia toimitusketjun riskienhallinnan ja resilienssin merkitys on korostunut.

Tutkielmassa pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten ilmastonmuutoksesta johtuvat sään ääri-ilmiöt vaikuttavat toimitusketjuihin
2. Miten toimitusketjun riskienhallintaa ja resilienssiä voidaan kehittää vastaamaan sään ääri-ilmiöistä johtuvia häiriöitä

Ilmastonmuutoksesta johtuvat sään ääri-ilmiöt vaikuttavat toimitusketjuihin monin tavoin, aiheuttaen merkittäviä haasteita tuotannolle, kuljetuksille ja infrastruktuurille. Lämpötilan nousu heikentää työntekijöiden jaksamista ja tuottavuutta sekä vaikuttaa maatalouteen, rakennusteollisuuteen ja raaka-aineiden saatavuuteen. Tulvat ja merenpinnan nousu uhkaavat erityisesti satamien ja lentokenttien toimintaa, hidastavat toimituksia ja aiheuttavat merkittäviä taloudellisia tappioita. Myrskyt ja muut ilmakehän liikkeisiin liittyvät sään ääri-ilmiöt keskeyttävät kuljetuksia, tuhoavat infrastruktuuria ja lisäävät logistiikkaketjujen haavoittuvuutta.

Toimitusketjun riskienhallinnan kehittäminen edellyttää ilmastonmuutoksesta johtuvien riskien parempaa huomioimista ja kestävyiden integroimista osaksi riskienhallintastrategioita.

Ilmastonmuutosresilientillä ja kestäväällä toimitusketjun riskienhallinnan avulla voidaan tunnistaa, arvioida ja lieventää ilmastonmuutokseen liittyviä riskejä samalla, kun toimitusketjun rakenteeseen rakennetaan resilienssimekanismia, jotka vähentävät haavoittuvuuksia ja parantavat kestävyyttä.

Kestävä toimitusketjuanalytiikka nousee keskeiseksi tekijäksi riskienhallinnan kehittämisessä, sillä sen avulla voidaan kerätä ja analysoida ilmastonmuutokseen liittyviä tietoja sekä ennustaa tulevia riskejä. Simuloinnin ja optimoinnin avulla voidaan määrittää parhaat sopeutumisstrategiat, kuten hankintalähteiden monipuolistaminen. Tekoälyn ja data-analytiikan rooli korostuu, koska ne auttavat ennakoimaan sään ääri-ilmiöiden vaikutuksia ja optimoimaan toimitusketjun toimintaa reaaliaikaisten tietojen perusteella. Nnain ym. (2024) mukaan teknologisilla innovaatioilla on keskeinen rooli toimitusketjun riskienhallinnan ja resilienssin parantamisessa, koska ne tarjoavat esimerkiksi reaaliaikaisia seurantamahdollisuuksia, jotka mahdollistavat ennakoivan reagoinnin

mahdollisiin häiriöihin sekä läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä koko toimitusketjussa, mikä helpottaa nopeampaa toipumista tunnistamalla ja puuttamalla tehokkaasti pullonkauloihin.

Toimitusketjun resilienssin osatekijöistä erityisesti toimitusketjun suunnittelu ja yhteistyö korostuivat. Hajautettu ja monipuolinen toimitusketju vähentää riskiä, että yksi häiriö vaikuttaisi koko järjestelmään. Toimittajien ja logistiikkapalveluiden hajauttaminen eri alueille sekä varautuminen vaihtoehtoisin reitteihin ja toimittajiin lisäävät toimitusketjun kykyä jatkaa toimintaansa häiriötilanteissa.

Yhteistyön kehittäminen toimitusketjun eri toimijoiden välillä puolestaan parantaa tiedonkulkua, resurssien jakamista ja yhteisiä sopeutumisstrategioita. Yritysten välinen sosiaalinen pääoma, kuten luottamus ja tietojen jakaminen, auttaa toimijoita ennakoimaan riskejä ja reagoimaan tehokkaasti ilmastonmuutoksen aiheuttamiin häiriöihin. Lisäksi yhteistyö voi mahdollistaa yhteisten kestävien ratkaisujen kehittämisen, mikä lisää toimitusketjun pitkän aikavälin kestävyyttä.

Lähteet

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Accenture Business Resilience Archive. (2007). Noudettu 11. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://www.wsj.com/ad/article/accenture2.html>
- Ali, I., Arslan, A., Tarba, S., & Mainela, T. (2023). Supply chain resilience to climate change inflicted extreme events in agri-food industry: The role of social capital and network complexity. *International Journal of Production Economics*, 264, 108968. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108968>
- Anbumozhi, V., Kimura, F., & Thangavelu, S. M. (2020a). Global Supply Chain Resilience: Vulnerability and Shifting Risk Management Strategies. *Teoksessa Supply Chain Resilience* (ss. 3–14). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2870-5_1
- Andreoni, V., & Miola, A. (2015). Climate change and supply-chain vulnerability: Methodologies for resilience and impacts quantification. *International Journal of Emergency Services*, 4(1), 6–26. <https://doi.org/10.1108/IJES-09-2014-0012>
- Baah, C., Acquah, I. S. K., & Ofori, D. (2021). Exploring the influence of supply chain collaboration on supply chain visibility, stakeholder trust, environmental and financial performances: A partial least square approach. *Benchmarking: An International Journal*, 29(1), 172–193. <https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2020-0519>
- Back-to-Back Hurricanes Wreak Havoc on Supply Chains. (ei pvm.). Institute for Supply Management. Noudettu 4. maaliskuuta 2025, osoitteesta <https://www.ismworld.org/supply-management-news-and-reports/news-publications/inside-supply-management-magazine/blog/2024/2024-10/back-to-back-hurricanes-wreak-havoc-on-supply-chains/>
- BCI, T. (ei pvm.). BCI Extreme Weather & Climate Change Report 2023. Noudettu 22. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.thebci.org/news/new-report-shows-climate-risk-priorities-for-bc-and-resilience-professionals.html>
- Chen, J., Fonseca, M. A., Heyes, A., Yang, J., & Zhang, X. (2023). How Much Will Climate Change Reduce Productivity in a High-Technology Supply Chain? Evidence from Silicon Wafer Manufacturing. *Environmental & Resource Economics*, 86(3), 533–563. <https://doi.org/10.1007/s10640-023-00803-4>

- Chen, L.-M., Liu, Y. E., & Yang, S. J. S. (2015). Robust supply chain strategies for recovering from unanticipated disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 77, 198–214. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.02.015>
- Chen, L., Chen, Z., Zhang, Y., Liu, Y., Osman, A. I., Farghali, M., Hua, J., Al-Fatesh, A., Ihara, I., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2023). Artificial intelligence-based solutions for climate change: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(5), 2525–2557. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01617-y>
- Clarke, B. J., E. L. Otto, F., & Jones, R. G. (2021). Inventories of extreme weather events and impacts: Implications for loss and damage from and adaptation to climate extremes. *Climate Risk Management*, 32, 100285. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100285>
- Chhetri, P., Corcoran, J., Gekara, V., Maddox, C., & McEvoy, D. (2015). Seaport resilience to climate change: Mapping vulnerability to sea-level rise. *Journal of Spatial Science*, 60(1), 65–78. <https://doi.org/10.1080/14498596.2014.943311>
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the Resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–14. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Clarke, B. J., E. L. Otto, F., & Jones, R. G. (2021). Inventories of extreme weather events and impacts: Implications for loss and damage from and adaptation to climate extremes. *Climate Risk Management*, 32, 100285. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100285>
- Espinete, X., Schweikert, A., van den Heever, N., & Chinowsky, P. (2016). Planning resilient roads for the future environment and climate change: Quantifying the vulnerability of the primary transport infrastructure system in Mexico. *Transport Policy*, 50, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.06.003>
- Fan, Y., & Stevenson, M. (2018). A review of supply chain risk management: Definition, theory, and research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(3), 205–230. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2017-0043>
- Ghadge, A., Wurtmann, Hendrik, & Seuring, S. (2020). Managing climate change risks in global supply chains: A review and research agenda. *International Journal of Production Research*, 58(1), 44–64. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1629670>
- Guitouni, A., Khorshidvand, B., Larimi, N. G., Boukhtouta, A., & Qasrawi, Y. (2025). Supply chain serviceability under climate change with application in the Arctic. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 139, 104591. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104591>
- Gupta, S., Modgil, S., Kumar, A., Sivarajah, U., & Irani, Z. (2022). Artificial intelligence and cloud-based Collaborative Platforms for Managing Disaster, extreme weather and

- emergency operations. *International Journal of Production Economics*, 254, 108642.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108642>
- Halldórsson, Á., & Kovács, G. (2010). The sustainable agenda and energy efficiency. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(1/2), 5–13.
<https://doi.org/10.1108/09600031011018019>
- Hallikas, J., Lintukangas, K., & Kähkönen, A.-K. (2020). The effects of sustainability practices on the performance of risk management and purchasing. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121579. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121579>
- Haraguchi, M., & Lall, U. (2015). Flood risks and impacts: A case study of Thailand's floods in 2011 and research questions for supply chain decision making. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 256–272. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.09.005>
- Helmold, M., Küçük Yılmaz, A., Dathe, T., & Flouris, T. G. (2022). *Supply Chain Risk Management: Cases and Industry Insights*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-90800-3>
- Hsu, C.-W., Liu, C., Liu, Z., & Mostafavi, A. (2023). Unraveling Extreme Weather Impacts on Air Transportation and Passenger Delays using Location-based Data (No. arXiv:2304.12084). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.12084>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Toim.). (2014). *Rural Areas*. Teoksessa *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report: Volume 1: Global and Sectoral Aspects* (Vsk. 1, ss. 613–658). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.014>
- Jones, R. N., & Preston, B. L. (2011). Adaptation and risk management. *WIREs Climate Change*, 2(2), 296–308. <https://doi.org/10.1002/wcc.97>
- Jüttner, U., & Maklan, S. (2011). Supply chain resilience in the global financial crisis: An empirical study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(4), 246–259.
<https://doi.org/10.1108/13598541111139062>
- Kim, K., & Bui, L. (2019). Learning from Hurricane Maria: Island ports and supply chain resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101244.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101244>
- Kolk, A., & Pinkse, J. (2004). Market Strategies for Climate Change. *European Management Journal*, 22(3), 304–314. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2004.04.011>
- Kummer, S., Wakolbinger, T., Novoszel, L., & Geske, A. M. (Toim.). (2022). *Supply Chain Resilience: Insights from Theory and Practice* (Vsk. 17). Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-95401-7>

- Kusrini, N., Septiyarini, D., & Rafdinal, W. (2025). Modelling risk of sustainable rice supply chain (SRSC) to achieve food security for emerging economies. *Journal of Modelling in Management*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2024-0218>
- Labour forced impacts and production losses due to the 2013 flood in Germany—ScienceDirect. (ei pvm.). Noudettu 12. helmikuuta 2025, osoitteesta https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169415002899?pes=vor&utm_source=scopus&getft_integrator=scopus
- Managing Risk to Avoid Supply-Chain Breakdown. (ei pvm.). Noudettu 2. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://sloanreview.mit.edu/article/managing-risk-to-avoid-supplychain-breakdown/>
- Markolf, S. A., Hoehne, C., Fraser, A., Chester, M. V., & Underwood, B. S. (2019). Transportation resilience to climate change and extreme weather events – Beyond risk and robustness. *Transport Policy*, 74, 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.11.003>
- Mirza, M. M. Q. (2003). Climate change and extreme weather events: Can developing countries adapt? *Climate Policy*, 3(3), 233–248. <https://doi.org/10.3763/cpol.2003.0330>
- Mubarik, M. S., Kusi-Sarpong, S., Govindan, K., Khan, S. A., & Oyedijo, A. (2023). Supply chain mapping: A proposed construct. *International Journal of Production Research*, 61(8), 2653–2669. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1944390>
- Narayan, M., Singh, N., Solanki, P., & Srivastava, R. K. (2024). Impact of Extreme Events on Global Food Security. Teoksessa P. Singh, B. Ao, N. Deka, C. Mohan, & C. Chhoidub (Toim.), *Food Security in a Developing World: Status, Challenges, and Opportunities* (ss. 133–152). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57283-8_9
- Nnaji, U., Benjamin, L., Eyo-Udo, N., & Etukudoh, E. (2024). Strategies for enhancing global supply chain resilience to climate change. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6, 1677–1686. <https://doi.org/10.51594/ijmer.v6i5.1141>
- Olson, D. L. (2014). *Supply Chain Risk Management, Second Edition*. Business Expert Press. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/kutu/detail.action?docID=1779302>
- Pankratz, N. M. C., & Schiller, C. M. (2024). Climate Change and Adaptation in Global Supply-Chain Networks. *The Review of Financial Studies*, 37(6), 1729–1777. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhad093>
- Polyviou, M., Wiedmer, R., Chae, S., Rogers, Z. S., & Mena, C. (2023). To concentrate or to diversify the supply base? Implications from the U.S. apparel supply chain during the COVID-19 pandemic. *Journal of Business Logistics*, 44(3), 502–527. <https://doi.org/10.1111/jbl.12335>

- Ponis, S. T., & Koronis, E. (2012). Supply Chain Resilience: Definition Of Concept And Its Formative Elements. *Journal of Applied Business Research (JABR)*, 28(5), Article 5. <https://doi.org/10.19030/jabr.v28i5.7234>
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, 20(1), 124–143. <https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- Poo, M. C.-P., Yang, Z., Dimitriu, D., & Qu, Z. (2018). Review on Seaport and Airport Adaptation to Climate Change: A Case on Sea Level Rise and Flooding. *Marine Technology Society Journal*, 52(2), 23–33. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.52.2.4>
- Poo, M. C.-P., Zhang, W., Kamalian, L., Wang, T., Lau, Y., & Xu, T. Z. (2024). Resilience of Chinese Ports to Tropical Cyclones: Operational Efficiency and Strategic Importance. *Climate*, 12(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/cli12120214>
- Rodríguez, L., & Giannakis, M. (ei pvm.). Investigating the Enablers of Big Data Analytics on Sustainable Supply Chain.
- Sheu, J.-B. (2007). An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 687–709. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.04.004>
- Suarez, P., Anderson, W., Mahal, V., & Lakshmanan, T. R. (2005). Impacts of flooding and climate change on urban transportation: A systemwide performance assessment of the Boston Metro Area. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(3), 231–244. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2005.04.007>
- Tang, O., & Nurmaya Musa, S. (2011). Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.06.013>
- The Quest for Resilience. (ei pvm.). Noudettu 5. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://hbr.org/2003/09/the-quest-for-resilience>
- The role of supply chain resilience to relationships supply chain risk management culture and firm performance during disruption. - EBSCO. (ei pvm.). Noudettu 11. maaliskuuta 2025, osoitteesta <https://research-ebSCO-com.ezproxy.utu.fi/c/sk55le/viewer/pdf/y63hvlDzxv?route=details>
- Tsai, M., Liao, C., & Han, C. (2008). Risk perception on logistics outsourcing of retail chains: Model development and empirical verification in Taiwan. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(6), 415–424. <https://doi.org/10.1108/13598540810905679>

- Tummala, R., & Schoenherr, T. (2011). Assessing and managing risks using the Supply Chain Risk Management Process (SCRMP). *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(6), 474–483. <https://doi.org/10.1108/13598541111171165>
- Underwood, B. S., Guido, Z., Gudipudi, P., & Feinberg, Y. (2017). Increased costs to US pavement infrastructure from future temperature rise. *Nature Climate Change*, 7(10), 704–707. <https://doi.org/10.1038/nclimate3390>
- Verschuur, J., Koks, E. E., & Hall, J. W. (2020). Port disruptions due to natural disasters: Insights into port and logistics resilience. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85, 102393. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102393>
- Wendler-Bosco, V., & Nicholson, C. (2018). Dynamic decision models for port shutdown and ship rerouting. 366–371. Scopus.
- Xu, W., Xiong, S., Proverbs, D., & Zhong, Z. (2021). Evaluation of Humanitarian Supply Chain Resilience in Flood Disaster. *Water*, 13(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/w13162158>
- Yun, N. Y., & Ülkü, M. A. (2023). Sustainable Supply Chain Risk Management in a Climate-Changed World: Review of Extant Literature, Trend Analysis, and Guiding Framework for Future Research. *Sustainability*, 15(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/su151713199>
1. Introduction to Managing Risk in Global Supply Chains—Knovel. (2012). Noudettu 14. helmikuuta 2025, osoitteesta https://app-knovel-com.ezproxy.utu.fi/web/view/khtml/show.v/rcid:kpHSCRMCS3/cid:kt00U47VE1/viewerType:khtml/root_slug:handbook-supply-chain/url_slug:introduction-managing?&b-toc-cid=kpHSCRMCS3&b-toc-root-slug=handbook-supply-chain&b-toc-title=Handbook%20for%20Supply%20Chain%20Risk%20Management%20-%20Case%20Studies%2C%20Effective%20Practices%20and%20Emerging%20Trends&b-toc-url-slug=introduction&kpromoter=federation&view=collapsed&zoom=1&page=2