



**TURUN  
YLIOPISTO**  
Kauppakorkeakoulu

# **Toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden kehittäminen tekoälyn avulla**

Toimitusketjujen johtamisen  
Kandidaatintutkielma

Laatija:  
Nevalainen Otto

Ohjaaja:  
TKT Riikka Kaipia

15.12.2024

Turku

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

## Kandidaatintutkielma

**Oppiaine:** Toimitusketjujen johtaminen

**Tekijä(t):** Otto Nevalainen

**Otsikko:** Toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden kehittäminen tekoälyn avulla

**Ohjaaja(t):** TkT Riikka Kaipia

**Sivumäärä:** 29 sivua

**Päivämäärä:** 15.12.2024

Toimitusketjun tehokkuuden sekä tekoälyn hyödyntämisen tärkeys organisaation toiminnassa on kasvanut huomattavasti lähivuosina. Toimitusketjun resilienssi viittaa organisaation kykyyn palautua disruptioista alkuperäiseen toimintaansa. Toimitusketjun ketteryys tarkoittaa organisaation ominaisuutta tehdä hienovaraisia liikkeitä, joiden avulla se pystyy sopeutua nopeasti muuttuvaan ympäristöön. Tutkielma etsii resilienssin ja ketteryyden välisiä yhtenäisyyksiä, joiden kehittäminen vahvistaisi toimitusketjua mahdollisimman tehokkaasti. Tekoäly on kehittynyt nopeasti ja sen vaikutukset voidaan huomata lähes kaikkialla. Tekoälyn tarkasteltavia osa-alueita tässä tutkielmassa ovat koneoppiminen ja syväoppiminen. Koneoppimisella yleensä viitataan datan analysointiin ja syväoppimisella ihmismäisen ajatteluprosessin imitoimiseen tekoälyn neuroverkkojen avulla.

Työssä tutkitaan tekoälyn hyödyntämismahdollisuuksia resilienssin ja ketteryyden kehittämisessä, keskittyen resilienssiä ja ketteryyttä yhdistäviin teemoihin ja niiden kehittämismahdollisuuksiin tekoälyn avulla. Tutkielmassa tarkastellaan myös tekoälyn mahdollisia riskejä.

Tutkielmasta voidaan huomata, että koneoppimisen ja syväoppimisen mahdollistama laajan historiallisen ja reaaliaikaisen datan prosessoiminen tehokkaasti vahvistaa toimitusketjun resilienssiä ja ketteryyttä. Syväoppimisen mahdollistama ihmismäinen kognitiivinen ajattelu mahdollistaa tapaus- ja yksityiskohtaisen datan analysoinnin tehokkaasti, joka kehittää toimitusketjun ketteryyttä.

**Avainsanat:** Toimitusketjut, Resilienssin, Ketteryys, Tekoäly, Koneoppiminen, Syväoppiminen

# SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>6</b>
	1.1 Tutkielman motiivit ja tavoitteet	6
	1.2 Tutkimuskysymykset	7
	1.3 Käytetty menetelmä ja tutkielman rakenne	7
<b>2</b>	<b>Toimitusketjun resilienssi ja ketteryys</b>	<b>9</b>
	2.1 Toimitusketjun resilienssi	9
	2.2 Toimitusketjun ketteryys	11
	2.3 Toimitusketjun resilienssi ja ketteryyden yhteisvaikutus	12
<b>3</b>	<b>Tekoäly</b>	<b>15</b>
	3.1 Tekoälyn mahdollisuudet ja käyttömuodot	16
	3.2 Tekoälyn riskit	18
<b>4</b>	<b>Toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden kehittäminen tekoälyn avulla</b>	<b>20</b>
	4.1 Toimitusketjun resilienssin kehittäminen tekoälyn avulla	20
	4.2 Toimitusketjun ketteryyden kehittäminen tekoälyn avulla	21
	4.3 Toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden yhteisvaikutusten kehittäminen tekoälyn avulla	23
<b>5</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>25</b>
	5.1 Tutkimuskysymysten tulokset	25
	5.2 Tutkielman reflektointi	25
	<b>Lähteet</b>	<b>26</b>

## KUVIOT

Kuvio 1 Resilienssin ja ketteryyden teemoja (Gligor et al., 2019)	12
Kuvio 2. Resilienssin yksittäisiä ominaisuuksia (Gligor et al., 2019).	13
Kuvio 3. Ketteryyden yksittäisiä ominaisuuksia (Gligor et al., 2019).	13
Kuvio 4. Tekoälyn osa-alat (Choi et al., 2020)	18

# 1 Johdanto

Toimitusketjujen resilienssin ja ketteryyden merkitys organisaation toiminnassa on kasvanut lähivuosina tapahtuneiden laajojen disruptioiden, eli häiriöiden, takia. Globaalisti vaikuttaneet tapahtumat kuten COVID-19 pandemia sekä useat sodat ovat testanneet organisaatioiden toimitusketjujen kestävyyttä (Modgil et al., 2022). Tutkielman toinen asiakokonaisuus on tekoäly ja sen merkitys organisaatioiden toimitusketjujen vahvistamisessa. Tekoälyn ja sen alalajien, kuten tässä työssä käsiteltävän koneoppimisen ja syväoppimisen, merkitys on kasvanut huomattavasti lähivuosina, luoden nopeaa kehitystä. Tämä työ pyrkii tutkimaan, pystyykö tekoäly kehittämään toimitusketjujen resilienssiä ja ketteryyttä. Tutkielmassa perehdytään tekoälyn mahdollisiin riskeihin ja niiden vaikutuksiin.

Tekoäly mahdollistaa valtavien datamäärien analysoimisen reaaliajassa, jonka avulla tekoäly pystyy käymään läpi lukemattomia simulaatioita ja tekemään esimerkiksi ennusteita kysynnästä tai toimitusriskeistä. Tekoäly luo organisaatioille mahdollisuuden käyttää sitä mahdollisesti tehokkaana apuvälineenä strategisten ja operatiivisten päätösten tekemisessä.

## 1.1 Tutkielman motiivit ja tavoitteet

Toimitusketjun kokemat disruptiot ovat kasvattaneet organisaatioiden panostusta resilienssin ja ketteryyden kehittämiseen. Laaja-alaiset disruptiot kuten COVID-19 pandemia ja käynnissä olevat kriisit, jotka vaikuttivat toimitusketjuihin sekä koko maailmaan, ovat koetelleet organisaatioiden toimitusketjuja. Resilientti toimitusketju toipuu disruptioista sekä laaja-alaisista muutoksista normaalia nopeammin ja pääsee täten takaisin normaaliin toimintaan, ilman liiallisia taloudellisia menetyksiä. Ketterä toimitusketju taas pystyy reagoimaan sekä pienempiin että suurempiin muutoksiin organisaation sisä- että ulkopuolella. Nämä toimitusketjun ominaisuudet ovat osoittaneet positiivisia vaikutuksia organisaatioiden kehitykselle ajan myötä (Modgil et al., 2022). Tutkielman tavoitteena onkin tutkia, miten toimitusketjuja voidaan vahvistaa keskittymällä niiden resilienssiin sekä ketteryyteen keskittymällä hyödyntäen tekoälyä. Tutkielma tarkastelee myös tekoälyn

kehitystä, sen teoreettisia käyttötarkoituksia ja riskejä, sekä konkreettisia implementointeja toimitusketjuihin. Työssä käsiteltävät tekoälyn alalajit ovat koneoppiminen sekä syväoppiminen.

## **1.2 Tutkimuskysymykset**

Tutkielman tutkimuskysymykset ovat ”Mitkä ovat toimitusketjujen resilienssin ja ketteryyden väliset tekijät?” ja ”Miten tekoälyn avulla voidaan kehittää toimitusketjun resilienssiä ja ketteryyttä?”. Ensimmäinen tutkimuskysymys pyrkii etsimään toimitusketjun resilienssiä ja ketteryyttä yhdistäviä aiheita, joiden kehittäminen kasvattaa samanaikaisesti molempia alueita. Toinen tutkimuskysymys yhdistää resilienssiä ja ketteryyttä yhdistävien teemojen kehittämisen tekoälyn hyödyntämiseen ja tutkii mitä tekoälyn osa-alueita organisaatiot pystyvät implementoimaan, jotta ne pystyisivät kehittämään toimitusketjun resilienssiä ja ketteryyttä mahdollisimman tehokkaasti.

## **1.3 Käytetty menetelmä ja tutkielman rakenne**

Tutkielmassa käytetty tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus. Työssä käytettyjä lähteitä etsittiin Turun Yliopiston Volterin sekä Google Scholarin avulla käyttämällä hakutermejä: ”Supply Chain Management”, ”Artificial Intelligence”, ”Supply Chain Agility”, ”Supply Chain Resillience”, ”Supply Chain Agility and Resilience”, ”Machine Learning” ja ”Deep Learning”. Artikkeleita valittaessa suosittiin vertaisarvioituja sekä mahdollisimman uusia julkaisuja tekoälyn nopean kehittymisen takia.

Tutkielman luvussa kaksi käsitellään toimitusketjuja käsitteenä sekä tuodaan esille resilienssin ja ketteryyden määritelmät. Alaluvussa 2.3 käsitellään resilienssin ja ketteryyden yhdistäviä tekijöitä, jotka ovat olennaisia tutkielman etenemisen kannalta ja niihin palataan myöhemmissä luvuissa. Kolmannessa luvussa käsitellään tekoälyä ja perehdytään sen käyttömahdollisuuksiin. Tekoäly -käsitteen sisällä oleva koneoppiminen ja syväoppiminen ovat tämän työn kohdalta olennaisia, sillä niiden hyödyntäminen resilienssin ja ketteryyden kehittämisessä on olennaista ymmärtää. Luvussa käydään myös lyhyesti syväoppimiseen liittyvä tekoälyn neuroverkosto. Neljännessä luvussa käydään läpi toimitusketjun resilienssin sekä ketteryyden kehittäminen koneoppimisen ja syväoppimisen avulla erillisinä osa-

alueina, jonka päätteeksi yhdistetään luvussa 2.3 käsitellyt resilienssiä ja ketteryyttä yhdistävät tekijät ja niiden kehittäminen kone- ja syväoppimisen avulla. Luvussa 6 on tutkielman yhteenveto, joka sisältää vastaukset tutkimuskysymyksiin sekä pohdintaa tutkimuksen tuloksista.



## 2 Toimitusketjun resilienssi ja ketteruus

Toimitusketjujen tärkeys organisaatioiden toiminnassa on kasvanut huomattavasti viimeisten vuosien aikana. Huomattavimpana lähivuosina tapahtunutta laaja-alaista disruptiota voidaan pitää COVID-19 pandemiaa, joka vaikutti globaalisti kaikkiin organisaatioihin ja niiden toimintaan. (Craighead et al., 2020). Toimitusketjujen merkittävänä osa-alueina ovat toimitusketjun resilienssi ja ketteruus. Toimitusketjun resilienssi tarkoittaa organisaatioiden kykyä selviytyä ja palautua liiketoimintaa vaikuttavista disruptioista. Resilienssillä voidaan myös viitata organisaatioiden kykyyn välttää disruptioista aiheutuvat negatiiviset vaikutukset kokonaisuudessaan sen sijaan, että organisaatio keskittyy disruption aiheuttamien seuraamusten selviytymiseen ja niistä palautumiseen. (Gligor et al., 2019).

Tässä luvussa käsittelemme toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden vaikutusta organisaatioiden liiketoiminnassa. Ensimmäisessä alaluvussa keskitytään toimitusketjun resilienssiin ja sen olennaisuuteen etenkin laajojen disruptioiden hallitsemisessa. Toisessa alaluvussa käyn läpi toimitusketjun ketteryyden piirteitä ja vaikutuksia. Kolmannessa alaluvussa pyrin tuomaan molemmat käsitteet yhteen ja esittämään niiden välisiä vaikutuksia.

### 2.1 Toimitusketjun resilienssi

Toimitusketjun resilienssillä tarkoitetaan sen kykyä selviytyä disruptioista, eli vastoinkäymisistä ja palata ennalleen sen nykyiseen toimintaan. Toimitusketjun resilienssiä voidaan analysoida ja kehittää. Yleisimmät käytännöt toimitusketjujen resilienssin parantamisessa ovat joustavuuden lisääminen, redundanssin luominen sekä organisaation yhteistyön kehittäminen sen sidosryhmien kanssa. (Tukamuhabwa et al., 2015).

Kuten aiemmin todettiin, yksi toimitusketjun resilienssin osa-alueista on joustavuus. Toimitusketjujen joustavuudella tarkoitetaan toimittajan ja ostajan välisen suhteen vankuutta vaihtelevan kysynnän kohdalla (Tiwari et al., 2015). Tämän perusteella toimitusketjun resilienssiä voidaan parantaa, mikäli organisaatio ylläpitää vahvoja suhteita sen sidosryhmiin. Käytännössä joustavuus toimitusketjuissa esiintyy tilanteissa, jossa hintataso

ostajan ja kuluttajan välillä pysyy suhteellisen neutraalina kun tarjontataso muuttuu (Tiwari et al., 2015). Toimitusketjun joustavuus on parhaimmillaan, mikäli se pystyy takaamaan tarjonnan saatavuuden kaikista häirtatekijöistä huolimatta, ilman sidosryhmille merkityksellistä vaikutusta esimerkiksi hintaan tai toimitusaikoihin (Tiwari et al., 2015).

Organisaation toimet, kuten viivästyttäminen (postponement), joustava toimituspohja (supply base), joustava logistiikka (flexible transportation), joustavat työolosuhteet (flexible labour arrangements) ja joustava tilausten täyttäminen (order fulfilment flexibility) ovat keinoja, miten ketteryyttä voidaan kehittää (Tukamuhabwa et al., 2015). Tukamuhabwa et al. mainitsevat myös, kuinka organisaation toimitusketjun ketteryden kehittämistä voidaan edes auttaa lisäämällä organisaation sisäistä redundanssia, johon keskityn seuraavassa osiossa.

Toimitusketjun resilienssiä voidaan kehittää redundanssin luomisella, jonka ideana on valitun prosessin laajuuden tai toistomäärien lisääminen (Mackay et al., 2019). Organisaatiot pystyvät harjoittamaan redundanssin luomista esimerkiksi komponenttien lisävaraston avulla, jonka mahdollistamana organisaatiot kykenevät varautua häiriötilanteisiin paremmin, esimerkiksi viallisten komponenttien korvaamisessa, ilman että toimitus kokisi viivästystä (Mackay et al., 2019). Redundanssin avulla organisaatiot pystyvät esimerkiksi suojautumaan siis häiriötilanteilta, kuten toimittajille aiheutuneilta ongelmilta tai ennusteesta poikkeavalta kysynnältä. Redundanssin avulla organisaatiot pystyvät jatkamaan normaalia toimintaansa ilman, että nämä aiemmin mainitut sidosryhmiin liittyvät yllättävät muutokset vaikuttaisivat organisaation liiketoimintaan.

Toimitusketjun sisäisen redundanssin hyödyt tulevat kuitenkin organisaatiolle kalliiksi, sillä redundanssin rakentaminen on suuri investointi, joka vie organisaation pääomaa pois sen muusta toiminnasta. Redundanssia ei voi myöskään rakentaa pelkästään sidosryhmien varaan, sillä mahdollisten disruptioiden aiheuttamat negatiiviset seuraamukset voivat myös vaikuttaa juuri näihin sidosryhmiin, jonka takia he eivät pysty toimimaan redundanssin luojina. (Tukamuhabwa et al., 2015).

Redundanssin lisääminen toimitusketjussa kasvattaa myös organisaation toimitusketjun joustavuutta (Tukamuhabwa et al., 2015). Organisaatioilla on tämän perusteella useita mahdollisuuksia kehittää heidän redundanssiansa ja joustavuutta, joka automaattisesti kehittää tämän toimitusketjun resilienssiä.

Organisaation yhteistyön kehittäminen sen sidosryhmien kanssa tarkoittaa yksinkertaisesti vakaampien liiketoimintasuhteiden luomista kumppaneiden kanssa. Konkreettisia esimerkkejä ovat muun muassa informaation jakaminen ja resurssien, kuten materiaalien tai toimitilojen, jakaminen. (Tukamuhabwa et al., 2015). Tämän kaltaisen yhteistyön kehittäminen saattaa mahdollisesti auttaa yrityksiä selviytymään disruptiivisista tilanteista, kuten aiemmin mainitusta COVID-19 pandemiasta.

## **2.2 Toimitusketjun ketteryys**

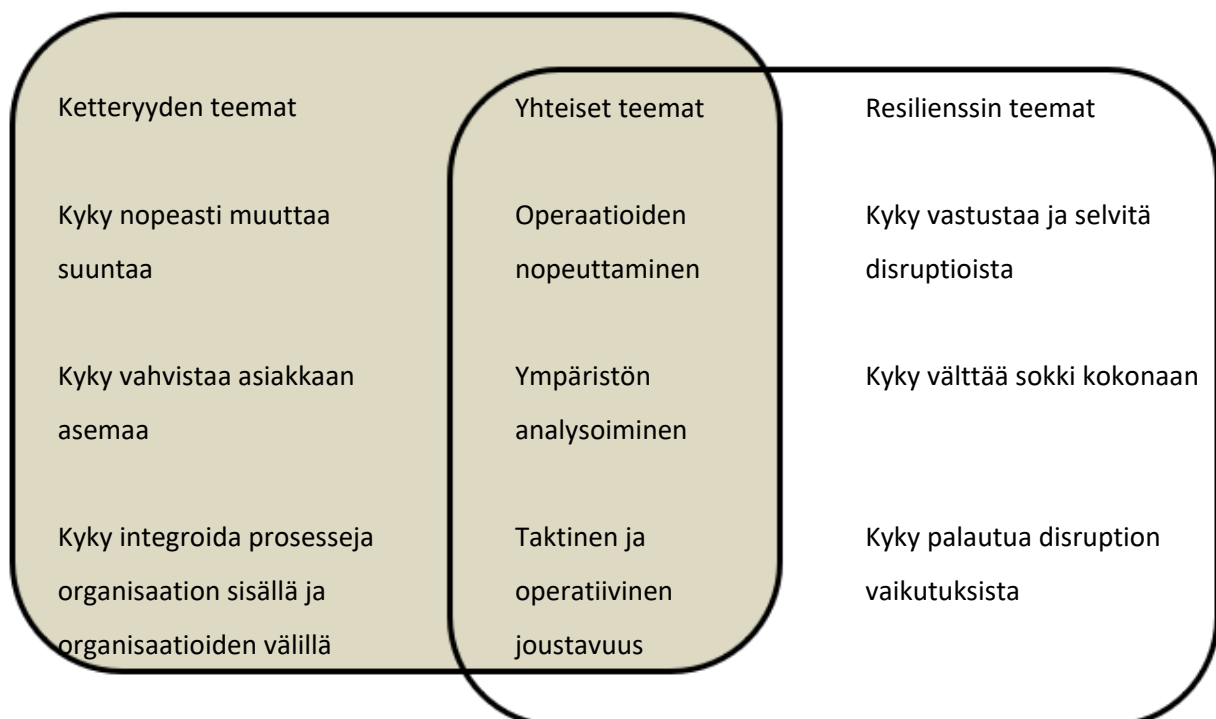
Seuraavaksi käsittelen tarkemmin toimitusketjun ketteryyttä ja sen vaikutuksia organisaation toiminnassa. Toimitusketjun ketteryys tarkoittaa organisaation kykyä reagoida muutoksiin suhteellisen nopeasti. Ketterä toimitusketju pystyy siis reagoimaan muuttuviin tilanteisiin suhteellisen nopeasti, ilman että tästä aiheutuisi suuria lisäkuluja organisaatiolle. (Al Humdan et al., 2020). Ketterän toimitusketjun takana on perehtymistä organisaation toimintaan, sen sidosryhmiin sekä muihin ulkoisiin tekijöihin. Toimintaympäristön tunteminen on välttämätöntä, sillä ilman sitä organisaatiot eivät kykene reagoimaan näihin muutoksiin. (Gligor et al., 2019).

Toimitusketjun ketteryyttä voidaan kehittää esimerkiksi vähentämällä komponenttien valmistukseen tai prosessointiin käytettävää aikaa, eli tehostamalla toimintaa, parantamalla asiakaspalvelua, vahvistamalla logistiikan toimivuuden sekä jatkuvalla markkinoiden tilanteen seuraamisella (Juneho Um 2017). Toimitusketjun ketteryyttä sekä joustavuutta voidaan myös kehittää Variety Management Strategy:n (VMS) avulla, joka tarkoittaa valikoimanhallintastrategiaa. VMS sisältää tuotteiden suunnittelua modulaariseksi, eli monikäyttöiseksi, jotta tuotanto olisi sekä ajallisesti että taloudellisesti tehokkaampaa. Modulaarinen tuotanto saattaa vähentää organisaation sisäisten investointien tarvetta esimerkiksi koneisiin ja muihin tuotantoon liittyviin alueisiin, täten luoden tehokkaamman sekä muun muassa helpommin ylläpidettävän tuotannon. VMS sisältää myös tuotteiden kategorisoiminen niiden tuotantovaiheessa (cellular manufacturing). Tuotteiden

kategorisoiminen selkeyttää tuotantoa, joka tehostaa niiden valmistusprosessia. VMS sisältää myös viivästyttämisen (postponement), joka tarkoittaa strategiaa, jossa esimerkiksi valmistusprosessien aloitusta siirretään nykyhetkestä tulevaisuuteen, jotta organisaatio pystyisi vastata kysyntään mahdollisimman tarkasti. Viivästyttämisen avulla organisaatio pystyy välttämään ylimääräisiltä varastointi kuluilta, jotka sitovat organisaation pääomaa pois muista osa-alueista. (Juneho Um 2017).

### 2.3 Toimitusketjun resilienssi ja ketteryyden yhteisvaikutus

Tässä alaluvussa keskitytään toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden vuorovaikutukseen sekä niiden väliseen koheesioon ja mahdolliseen kaksinaisuuteen. Toimitusketjun resilienssiä voidaan parantaa toimitusketjun ketteryyden kehittämisen avulla (Tukamuhabwa et al., 2015). Toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden vuorovaikutusta tutkiessa on havaittu seuraavat osa-alueet.



Kuvio 1 Resilienssin ja ketteryyden teemoja (Gligor et al., 2019)

<b>Resilienssin yksittäisiä ominaisuuksia</b>
Kyky kestää tai kokonaan välttää vahingoittavat disruptiot
Kyky väistää muutoksen vaikutukset
Kyky palautua alkuperäiseen toimintaan
Kyky nopeuttaa operaatioiden loppuun viemistä
Kyky säädellä operatiivisia sekä taktisia organisaation toimia
Kyky analysoida ympäröivää liiketoimintaa

Kuvio 2. Resilienssin yksittäisiä ominaisuuksia (Gligor et al., 2019).

<b>Ketteryyden yksittäisiä ominaisuuksia</b>
Kyky vaihtaa nopeasti liiketoiminnan suuntaa
Kyky nopeuttaa operaatioita
Kyky analysoida ympäröivää liiketoimintaa
Kyky vahvistaa asiakkaan asemaa
Kyky muuttaa operatiivisia sekä taktisia organisaation toimia
Kyky integroida sekä yrityksen sisäisiä että ulkopuolisia prosesseja

Kuvio 3. Ketteryyden yksittäisiä ominaisuuksia (Gligor et al., 2019).

Kuten yllä olevasta kuvaajasta huomataan, sisältävät toimitusketjun resilienssi ja ketteryys useita yhtenäisyyksiä, kuten operaatioiden nopeuttaminen, ympäröivän liiketoimintaympäristön analysointiin sekä organisaation operatiivisten ja taktisten toimien muokkaaminen. Tämä huomioon ottaen, on yhtenäisyyksiin investoiminen mahdollisesti kannattavaa ja tehokasta organisaatiolle, joka haluaa kehittää sen resilienssiä sekä ketteryyttä samanaikaisesti. (Gligor et al., 2019).

Globalisaation mukana tullut mahdollisuus laaja-alaiseen sidosverkostoryhmään on toimitusketjujen resilienssi sekä ketteryys kehittynyt (Kazancoglu et al., 2022). Organisaatioiden toimintaympäristön muuttuessa yhä laaja-alaisemmaksi ja globaalimmaksi on mahdollisesti suotavaa perehtyä myös sen tuomiin riskeihin ja toimenpiteisiin, jonka avulla toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden kehittämisen avulla organisaation toiminta olisi vähemmän altis disruptioille ja äkkipikaisille muutoksille, joidenka vaikutukset aiheuttaisivat mahdollisesti taloudellista sekä muuta kuluja organisaatiolle.

Käsitellessä toimitusketjun resilienssiä ja ketteryyttä on olennaista ymmärtää niiden väliset eroavaisuudet sekä niiden mahdollisesti positiivinen vaikutus toiseen (Kazancoglu et al., 2022). Toimitusketjun resilienssi ja ketteryys ovat konsepteja, jotka täydentävät toisiaan ja vahvistavat yleisesti organisaation toimintaa. Ketteryyden kyky reagoiviin muutoksiin auttaa organisaation toimitusketjua lyhyellä aikavälillä, kun taas toimitusketjun resilienssi kehittää organisaation toimitusketjun pitkäjänteisyyttä. (Gligor et al., 2019).

### 3 Tekoäly

Tämän luvun tarkoituksena on avata tekoälyä konseptina ja tuoda esille muutamia sen osa-aloja, joiden ymmärtäminen auttaa ymmärtämään tekoälyn mahdollisia sovelluksia toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden kehittämisessä. Kappaleen alaluvuissa käsitellään tekoälyn mahdollisuuksia ja yleisiä käyttötoimenpiteitä organisaation toiminnassa sekä tekoälyn mahdollisia riskitekijöitä.

Tekoäly on käsitteenä suhteellisen vaikea määritellä, sillä älykkyyden ymmärtäminen ei ole yksiulotteista. Yleensä tekoälyllä kuitenkin tarkoitetaan koneen älyllistä, ihmisen ajattelua mukailevaa, käyttäytymistä (Wolfgang Ertel, 2024). Tekoälyä ei ole kaikki koneellinen toiminta, joka voidaan tulkita älykkääksi. Suuren datamäärän muistaminen ulkoa voidaan tulkita älykkääksi, mutta se ei kuitenkaan täytä tekoälyn kriteerejä (Wolfgang Ertel, 2024). Koneiden kutsuminen tekoälyksi vaatii, että ne pystyvät soveltamaan ihmisten kaltaista ajattelua, joka tarkoittaa muun muassa oppimista, päättelyä ja päätöksen tekoa (Zhang et al., 2021).

Yksi tekoälyn keskeinen osa-alue on koneoppiminen (machine learning). Koneoppiminen tarkoittaa koneiden kykyä oppia ratkaisemaan ongelmia ihmismäisen ajattelun avulla (Kühl et al., 2022). Koneoppiminen perustuu algoritmien luomiseen, jotka kehittyvät automaattisesti kokemuksen ja toistojen avulla autonomisesti. Koneoppiminen vaatii tarpeeksi suuren määrän dataa, jonka avulla kone pystyy kehittämään sen analysointikykyä, yleistä tarkkuutta sekä ymmärtämään erilaista dataa paremmin. (Kühl et al., 2022).

Koneoppiminen voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen, joita ovat koneoppiminen ilman valvontaa (unsupervised), koneoppiminen valvotusti (supervised) ja koneoppiminen tuetusti (reinforcement). Ilman valvomista tapahtunut koneoppiminen tarkoittaa tilannetta, jossa kone pyrkii löytämään malleja ilman aiemmin määriteltyjä esimerkkejä. Valvottu koneoppiminen vastaavasti tarkoittaa oppimista valmiiksi annettujen esimerkkien ja muun datan pohjalta. Vahvistettu koneoppiminen perustuu koneoppimista edistävien tekojen hyödyntämiseen. (Kühl et al., 2022).

### 3.1 Tekoälyn mahdollisuudet ja käyttömuodot

Tekoälyn käyttömahdollisuudet ovat laajat ja kehittyvät nopeasti. Yleisimpiä tekoälyn implementointeja organisaation liiketoimintaan ovat muun muassa koneoppimisen sekä syväoppimisen hyödyntäminen esimerkiksi datan analysoinnissa ja prosessoinnissa päätöksenteon tukena. Tässä alaluvussa avataan näiden edellä mainittujen käsitteiden teoriaa, jotta näiden tekoälyn ala-alojen hyödyntäminen toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden kohdalla on loogisempaa.

Koneoppiminen on yksi tekoälyn osa-alue, joka tarkoittaa sellaisten koneiden rakentamista, jotka kehittyvät automaattisesti niiden kokemuksen myötä (Jordan et al., 2015). Koneoppiminen vaatii toimiakseen tarpeeksi dataa, riittävän yksityiskohtaiset komennot tehtävän suorittamista varten sekä tulosten mahdollinen arvioiminen niiden tarkkuudesta (Kelleher 2019). Koneoppimisen merkitys nykyorganisaatioissa on kasvanut etenkin aloilla, jotka ovat keränneet suuria määriä historiallista dataa, jonka hyödyntäminen koneoppimisen avulla saattaa johtaa aiempaa kattavampiin päätöksiin sekä toimenpiteisiin (Jordan et al., 2015). Tämä suuren, ja jatkuvasti kasvavan, datan määrän hyödyntäminen tehokkaasti ilman tekoälyä ja koneoppimista on haastavaa ja lähes mahdotonta (Alzubi et al., 2018). Monipuolisen historiallisen datan hyödyntäminen mahdollistaa teoriassa kattavammat ja paremmat tulokset, sillä tällöin tekoälyn päätöksen tekoon käytetty materiaali on laajempaa (Alzubi et al., 2018).

Koneoppiminen on siis laajasti käytetty tekoälyn osa-alue, ja sen yleisimpiä käyttötarkoituksia ovat muun muassa trendien analysointi, ulkoisten vaikuttavien tekijöiden huomioiminen päätöksenteossa sekä aiemmin hankitun datan perusteella tehdyt päätökset ja analyysit (Jordan et al., 2015). Koneoppiminen luo organisaatioille mahdollisuuden kehittää ja tehostaa omaa liiketoimintaa. Yleisiä käyttötarkoituksia koneoppimiselle liiketoiminta ympäristössä onkin esimerkiksi kysynnän ennustaminen, trendien muutokset sekä yleisen tehokkuuden kehittäminen esimerkiksi varastohallinnan kautta (Reddy et al., 2024). Nopeasti muuttuvat liiketoimintaympäristöt ovat vaikuttaneet organisaatioilta vaadittuun nopeuteen reagoida ja tuottaa palveluita. Koneoppiminen mahdollistaa ketterät päätökset, joiden muodostaminen ilman tekoälyä saattaisi viedä liian paljon aikaa ja

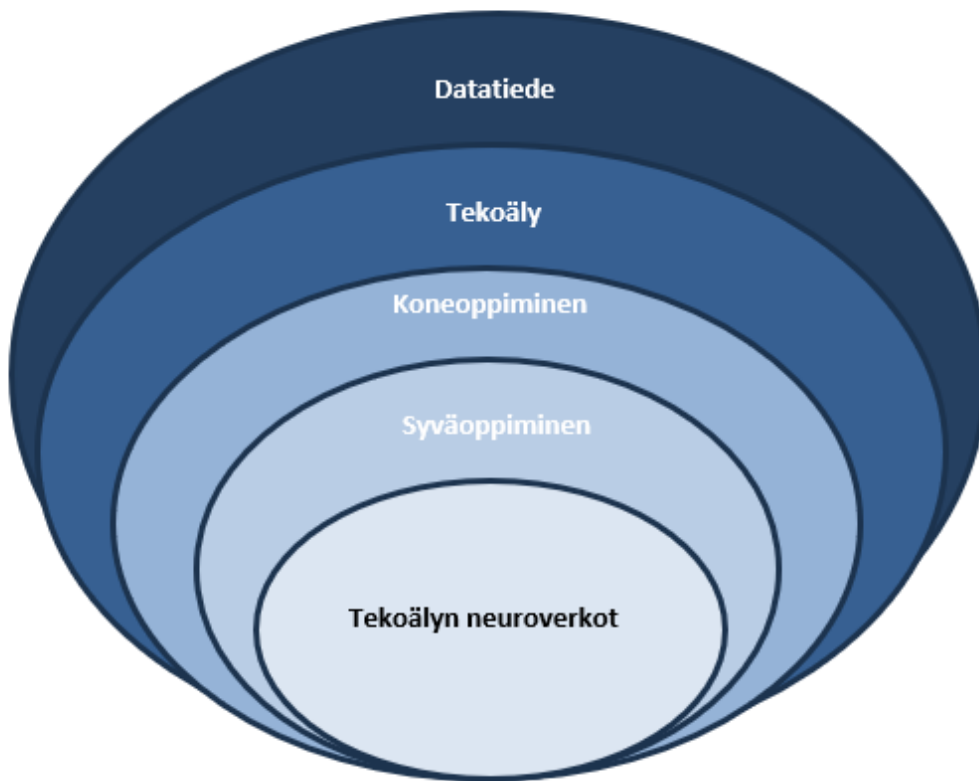


resursseja organisaatiolta, täten luoden positiivisen vaikutuksen organisaatioiden toimintaan (Reddy et al., 2024).

Syväoppiminen toinen tässä työssä tarkemmin käsiteltävä tekoälyn, ja tarkemmin koneoppimisen, osa-alue. Syväoppiminen perustuu laajojen ja monimutkaisten neuroverkkojen rakentamiseen, jossa se käyttää suurta määrää dataa, jonka perusteella tekoäly pystyy luomaan normaalia tarkempia päätöksiä. (Kelleher 2019). Koneoppimisen tavoin, syväoppiminen on erityisesti hyödyllisintä datan määrän ollessa todella suuri (Kelleher 2019).

Syväoppiminen perustuu sen kerrosmaiseen rakenteeseen, jota kutsutaan neuroverkoksi. Neuroverkko koostuu tyypillisesti syöttökerroksesta (input layer) piilossa olevista kerroksista (hidden layers) sekä ulostulokerroksesta (output player). Neuroverkon ensimmäinen kerros ottaa vastaa annetun datan. Piilokerrokset, joita voi olla yksi tai useampi, käsittelevät annettua dataa. Lähtökohtaisesti, mitä useampia kerroksia neuroverkossa on, sitä monimutkaisempia tehtäviä se kykenee suorittamaan. Viimeinen kerros, eli ulostulokerros antaa lopullisen lopputulokset. (Choi et al., 2020).

Syväoppimista pystytään hyödyntämään sekä suuren että pienen data määrän kohdalla. Nämä syväoppimisen ominaisuudet luovat mahdollisuuksia laaja-alaisiin sekä ketteriin päätöksiin (Zeroual et al., 2020). Syväoppimisen merkittävä ominaisuus onkin sen kyky analysoida dataa ja huomata tyypillisyyksiä sekä ennustaa tulevia tapahtumia. Syväoppimismallit, jotka pystyvät erittelemään ja tulkitsemaan laajasta datamäärästä pieniä yksityiskohtia sekä muita epälineaarista dataa. (Zeroual et al., 2020).



Kuvio 4. Tekoälyn osa-alat (Choi et al., 2020)

### 3.2 Tekoälyn riskit

Tekoälyn hyödyntäminen sisältää riskejä, joiden tiedostaminen pystyy auttamaan organisaatioita välttymään negatiivisilta seuraamuksilta. Riskejä, joita on assosioitu tekoälyn käyttöön ovat muun muassa: tekoälyn irtautuminen ihmisten hallinnasta, hallitsemattoman tekoälyn kouluttaminen ja tekoälyn kehittäminen epäeettisiin tai riskialttiisiin tehtäviin (McLean et al., 2021). Tekoälyn nopeasti kehittyvän ja muuttuvan luonteen takia on mahdollista, että tunnistetut riskit muuttuvat tai kehittyvät nopeasti, mikä vaatisi organisaatioilta muun muassa mahdollisesti suuria taloudellisia investointeja näiden riskien mitätöimiseen.

Tekoälyn ja tarkemmin koneoppimisen yhtenä teoriana on musta laatikko (black-box), joka tarkoittaa tekoälyn päätöksenteon läpinäkyvyyteen liittyvää puutetta. Musta laatikko kuvastaa tuntemattomia prosesseja, joita käyttämällä tekoäly on päätenyt lopputulokseen. Mikäli prosessi yksinkertaisesta seuraaviin kolmeen vaiheeseen, tekoälylle annettu

komento, tekoälyn ajattelu ja lopputulos, esiintyisi mustan laatikon ongelma tekoälyn ajattelussa, sillä se ei ole täysin läpinäkyvää (Adadi et al., 2018). Musta laatikko on olennaista, sillä tekoälyn käyttämisen mahdollisena tavoitteena on löytää haluttuun lopputulokseen johtavia toimintamalleja ja uudelleen tositettavia prosesseja. Mikäli tekoäly tuottaa haluttuja lopputuloksia, on yleensä suotavaa, että kyseessä käytetyt menetelmät saataisiin selville. (Adadi et al., 2018). Organisaatioiden toiminnan läpinäkyvyys on suotavaa muun muassa sen sidosryhmille, lisäen organisaation luottamuksellisuutta. Tekoälyn useat osa-alueet, kuten koneoppiminen ja syväoppiminen kärsivät mustan laatikon ongelmasta, joka tekee ongelmasta olennaisen (Choi et al., 2020).

Toinen tekoälyn hyödyntämisen mukana ilmaantunut ongelma on tekoälyn hallusointi. Käytännössä tämä tekoälyn luomien vääristyneiden tai kokonaan väärin tulosten esittämistä oikeina ja tarkkoina. (Aljimaan et al., 2024). Tällainen tekoälyn käyttäytyminen herättää varovaisuutta, joka vastaavasti lisää tulosten kyseenalaistamista. Tulosten tarkkuuden kyseenalaistamisen vaikutuksena tekoälyn luotettavuus laskee, joka saattaa negatiivisesti vaikuttaa tekoälyn hyödyntämiseen organisaatioiden sisällä (Aljimaan et al., 2024). Tämä tekoälyn ongelma vaikeuttaa sen implementoimista osaksi organisaatioiden prosesseja ja lisää vaadittavia resursseja tulosten totuuden ja tarkkuuden vahvistamiseksi.

## **4 Toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden kehittäminen tekoälyn avulla**

Tämä luku käsittelee kuinka toimitusketjun resilienssiä ja ketteryyttä pystytään kehittämään tekoälyn, etenkin koneoppimisen ja syväoppimisen, avulla. Ensimmäinen alaluku käsittelee resilienssin kehittämistä. Toinen alaluku käsittelee ketteryyden kehittämistä ja kolmannessa alaluvussa tarkastellaan, kuinka tekoälyn avulla voidaan kehittää resilienssiä ja ketteryyttä yhteisiä tekijöitä samanaikaisesti, jotta toimitusketjun kehittäminen olisi mahdollisimman tehokasta.

### **4.1 Toimitusketjun resilienssin kehittäminen tekoälyn avulla**

Tekoälyn hyödyntäminen toimitusketjun resilienssin kehittämisessä on noussut merkitykseltään toimitusketjujen monimutkaistumisen ja kehittymisen myötä. Suuren datamäärän prosessoiminen sekä analysoiminen vaativat teknologian, kuten tekoälyn, hyödyntämistä. Muun muassa COVID-19 pandemian aikaan saama globaali disruptio toimitusketjujen resilienssiä on saanut organisaatiot etsimään uusia keinoja vahvistaa toimitusketjuja. (Belhadi et al., 2021). Toimitusketjujen resilienssin yhtenä suurena osana on siis disruptioiden ennaltaehkäisy sekä niistä toipuminen. Tekoälyn mahdollistama kyky luoda päätöksiä ja ennusteita, esimerkiksi koneoppimisen sekä syväoppimisen avulla, luovat organisaatioille mahdollisuuden hyödyntää tätä teknologiaa. (Belhadi et al., 2021).

Tekoäly luo organisaatioille mahdollisuuksia kehittää resilienssiä muun muassa seuraavilla tavoilla: kysynnän ennustaminen, toimitusten täyttäminen, toimitusverkoston suunnittelu sekä varastonhallinnan optimoiminen (Modgil et al., 2022). Toimitusketjujen laajan luonteen vuoksi tekoälyn avulla organisaatiot pystyvät muun muassa yksinkertaistamaan operaatioita suoriutumalla niissä vaadituista tehtävistä tarkemmin, samanaikaisesti käsitellen huomattavasti suurempia määriä dataa (Modgil et al., 2022). Tämän kaltaiset ominaisuudet mahdollistat toimitusketjujen resilienssin kehittymisen, sillä tekoälyn avulla tehostetut toimenpiteet voivat vähentää muun muassa taloudellisia tappioita ja nopeuttaa toimitusketjun toipumista aiemmalle tasolle, ennen disruptiota (Modgil et al., 2022).

Koneoppimisen hyödyntäminen toimitusketjun resilienssin kehittämisessä voidaan toteuttaa hyödyntämällä valvottua koneoppimista, jossa tekoälyn lisäämä tarkkuus datan

prosessointiin vahvistaa resilienssiä (Dun Li et al., 2023). Toimitusketjun resilienssin sisältämät käsitteet, jotka on mainittu kuviossa 2., mahdollisesti pystyvät hyötyä koneoppimisen sisällyttämisestä organisaation toimintaan. Toimitusketjujen resilienssin kehittäminen syväoppimisen avulla on mahdollista esimerkiksi hyödyntämällä SCREM rakennetta (end-to-end supply chain resilience management), joka tarkoittaa datakeskeistä mallia, jossa aiemmin todettua disruptioista kerättyä dataa hyödynnetään ennustamaan tulevaisuudessa mahdollisesti esiintyä riskejä sekä häiriöitä. (Xingyu Li et al., 2024).

Resilienssin kehittäminen koneoppimisen ja syväoppimisen avulla kohdistuu operatiivisten toimenpiteiden kehittämiseen, nykyisen liiketoiminnan heikkouksien ja epätehokkuuksien analysointiin sekä ennustamaan tulevaisuudessa esiintyviä mahdollisuuksia (Khedr et al., 2024). Näiden tekoälyn osa-alojen hyödyntäminen pystyy kehittämään organisaation yleistä tuottavuutta epäsuorasti. Tämä tuottavuuden kehittäminen tapahtuu muun muassa riskien tunnistamisella ja täten niiden vähentämisellä sekä turhien kulujen vähentämisellä, jota ovat esimerkiksi ylimääräiset varastointikulut, toimituskustannukset sekä yleisessä toiminnassa esiintyvät vältettävät vauriot ja vahingot. (Khedr et al., 2024). Kaiken tämän pohjalla on tekoälyn kyky analysoida aiempaa organisaation sisäistä sekä ulkoista dataa, jota nykyaikana on todella paljon, jonka perusteella tekoäly pystyy tekemään laskelmoituja ehdotuksia (Xingyu Li et al., 2024).

## **4.2 Toimitusketjun ketteryyden kehittäminen tekoälyn avulla**

Tekoälyn hyödyntäminen organisaatioiden sisäisissä toimissa parantaa sen ketteryyttä, muun muassa aloilla, jossa muutokset tapahtuvat todella nopeasti ja toimitusketjut koostuvat useista sidosryhmistä (Wamba 2022). Tässä työssä aiemmin käsiteltyjen tekoälyn ala-alojen, koneoppimisen ja syväoppimisen, ominaisuudet ovat varsin hyvin linjassa toimitusketjun ketteryyden kanssa, joka mahdollistaa niiden yhteensovittamisen organisaatioiden tehokkuuden ja toiminnan kehittämiseksi. Organisaatioiden toimitusketjun ketteryys muodostuu muun muassa sen joustavuuden kehittämisellä, jonka vaikutukset ovat huomattavissa myös organisaation muissa osa-alueissa (Um 2017).

Toimitusketjun ketteryyden kuusi osa-aluetta voivat kokea parannusta tekoälyn hyödyntämisellä, näitä osa-alueita Gligor et al. listasi kuviossa 2. Tekoälyn, kuten koneoppimisen ja syväoppimisen, avulla suuren ulkoisen sekä sisäinen datamäärän

analysointi ja päätösten teko pystyy vaikuttamaan organisaation ominaisuuteen vaihtaa liiketoiminnan suuntaa nopeasti, jotta sen kokemat vaikutukset olisivat mahdollisimman positiiviset. (Gligor et al., 2019) (Pasupuleti et al., 2024).

Koneoppimisen avulla toimitusketjujen ketteryyden toista osa-aluetta, operaatioiden toteutumisen nopeuttamista voidaan myös kehittää, sillä koneoppimisen mahdollistama historiallisen ja reaaliaikaisen datan analysointi säästää organisaatiolta resurssia ja tuottaa huomattavasti tarkempia tuloksia. Konkreettisenä esimerkkinä kuljetuksien tehostaminen voidaan saada aikaan analysoimalla ja ennustamalla säätietoja, jonka avulla organisaatio pystyy valitsemaan parhaan mahdollisen kuljetusmenetelmä, jotta potentiaalisilta häiriöiltä välttäisiin suuremmalla todennäköisyydellä. (Pasupuleti et al., 2024) (Gligor et al., 2019).

Koneoppimisen kyky analysoida todella suuria datamääriä organisaatiota ympäröivästä liiketoiminnasta kehittää sen ketteryyttä (Pasupuleti et al., 2024). Syväoppimisen kyky analysoida suuren datamäärän sisältämiä yksityiskohtia tarkasti, luo mahdollisuuden tarkoista sekä yksityiskohtaisista organisaation operatiivisista toimista, jotka kehittävät organisaation toimitusketjun yleistä ketteryyttä (Zeroual et al., 2020).

Gligor et al. mainitsevat neljäntenä toimitusketjun ketteryyttä edistävänä asiana organisaation ominaisuuden vahvistaa asiakkaan asemaa. Tekoälyn implementoiminen organisaation toimintaan on todettu kehittävän ketteryyttä myös sen asiakkaiden osalta (Wamba 2022). Mainittavana esimerkkinä asiakkaiden aseman kehittämisessä tekoälyn avulla, on tekoälyn integroiminen asiakaskokemukseen, esimerkiksi tarjoamalla tarkempia ja parempi vastauksia asiakkaiden esittämiin kysymyksiin (Wamba 2022).

Organisaation kyky vaikuttaa sen operatiiviseen, eli esimerkiksi päivittäisten tapahtumien, ja taktisiin, eli hieman laajempi osa-alueisiin, vaikuttaminen on yksi merkittävä osa ketteryyden kehittämistä toimitusketjussa (Gligor et al., 2019). Tässä ketteryyden osa-alueen tehostamisessa voidaan hyödyntää tekoälyä. Operatiivisten toimien, kuten päivittäisten kuljetusreittien, suunnittelun apuna voidaan käyttää koneoppimista, jota on ohjeistettu analysoimaan päivittäisiä kysyntäennusteita ja muita logistiikkaan liittyviä seikkoja, kuten reittejä (Rane et al., 2024). Toimitusketjun taktisia toimia, kuten esimerkiksi tehtaiden ja varastojen sijainteja, voidaan myös optimoida koneoppimisen avulla

analysoimalla esimerkiksi ennusteita populaatiomuutoksista ja mahdollisista liiketoiminnalle tulevaisuudessa kannattavista alueista (Chaturvedi et al., 2021).

Toimitusketjun ketteryyden ominaisuus integroida organisaation sisäisiä ja ulkoisia prosesseja sisältää muun muassa joustavuuden lisäämistä toimitusketjun sisällä. Toimitusketjun joustavuus on monipuolinen käsite, mutta se voidaan kuitenkin jakaa toimittajien valintaprosessiin sekä hankintojen joustavuuteen. Toimittajien valintaprosessin joustavuus tarkoittaa organisaation kykyä toimia tilanteessa, jossa yksi toimittaja joudutaan vaihtamaan toiseen. Hankintojen joustavuus taas tarkoittaa olemassa olevan toimitusketjun uudelleenkonfiguroimista, esimerkiksi disruption aikana. (Tiwari et al., 2015).

### **4.3 Toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden yhteisvaikutusten kehittäminen tekoälyn avulla**

Tässä alaluvussa käydään läpi toimitusketjun resilienssiä ja ketteryyttä samanaikaisesti kehitettäviä tekijöitä ja niiden parantamista kone- ja syväoppimisen avulla. Aiemmissä luvuissa käsitellyt resilienssin ja ketteryyden ominaisuuksia yhdistetään koneoppimisen sekä syväoppimisen käyttömahdollisuuksiin. Käsiteltävät asiat ovat toimitusketjun sisäisten prosessien toteutumisen tehostaminen, organisaation toimitusketjun ympäristön analysointi sekä taktisten ja operatiivisten prosessien kehittäminen (Gligor et al., 2019).

Prosessien toteutumisen nopeuttaminen vaikuttaa organisaation toimitusketjun resilienssiin sekä ketteryyteen, sillä tehostetut prosessit säästävät resursseja ja luovat mahdollisuuden allokoida tämän ylijäämän organisaation muihin osa-alueisiin. Toimitusketjun prosessien tehostaminen, esimerkiksi hankintojen tai toimittajien valinnan, vahvistaa resilienssiä, sillä tällöin mahdollisten muutosten tapahtuessa organisaatio on luonut tehokkaan prosessin. Tämänkaltaisen prosessin avulla toimitusketju pystyy esimerkiksi tehdä uusia hankintoja tai vaihtamaan toimittajia, ilman että näistä tapahtumista aiheutuvat seuraamukset vaikuttaisivat organisaation muihin osa-alueisiin negatiivisesti. (Gligor et al., 2019). Tekoälyn rooli prosessien nopeuttamisessa esiintyy muun muassa koneoppimisen ja syväoppimisen mahdollistaman suuren historiallisen ja reaaliaikaisen datan analysoinnin (Zeroual et al., 2020).

Organisaatiota toimintaympäristön analysoiminen perustuu jatkuvaan tarkkailuun, joka vaatii syvälliseen ymmärtämiseen sekä omasta että muiden organisaation toiminnasta. Tämä luo organisaatioille paremman mahdollisuuden havaita mahdolliset uhat ajoissa ja valmistautua niistä selviytymiseen. Tämä tarkkailu sisältää toimitusketjun sisäiset elementit sekä toimitusketjuun epäsuorasti vaikuttavat tekijät. (Gligor et al., 2019). Organisaatiot pystyvät hyödyntämään tätä tarkkailua ja analysointia ylläpitäessä tekoälyä. Markkinatrendien, toimittajien ja geopolittisten riskitekijöiden analysoiminen ja tulkitseminen vaatii paljon aikaa ja resursseja, mikäli se tehtäisiin manuaalisesti. Tällaisen suuren datamäärän analysoiminen manuaalisesti saattaa myös johtaa pienten virheiden syntymiseen, jotka saattavat pitkällä aikavälillä väärentää organisaation ymmärrystä sitä ympäröivästä toiminnasta. Tekoälyn kyky imitoida ihmismäistä päättelyä ja käsitellä todella merkittäviä määriä dataa mahdollistaa kattavamman ja ajallisesti tehokkaamman lopputulokset (Modgil et al., 2022). Tekoäly pystyy auttamaan organisaatioita luomaan ennusteita. Jotta tekoälyn luomat ennusteet olisivat mahdollisimman tarkkoja, on tärkeää, että sille syötetään tarpeeksi paljon reaaliaikaista ja ennusteelle relevanttia dataa (Modgil et al., 2022).

Taktisten sekä operatiivisten prosessien kehittäminen, eli toimitusketjujen joustavuus, on tämän tutkielman kolmas resilienssiä ja ketteryttä yhdistävä tekijä. Toimitusketjun taktiset ja operatiiviset prosessit tarkoittavat pieniä ja keskisuuria toimenpiteitä, joita voidaan tehdä joko proaktiivisesti tai reaktiivisesti (Gligor et al., 2019). Proaktiivisuus voidaan ajatella läheisemmäksi osaksi toimitusketjun resilienssiä ennakoimisen takia. Reaktiivisuus voidaan taas yhdistää toimitusketjun ketteryteen. Ketterä toimitusketju kykenee reagoimaan disruptioihin nopeasti ilman suuria negatiivista vaikutuksia organisaation toimintaan. Koneoppimisen hyödyntäminen muun muassa kysynnän ennustamisessa luo organisaatioille mahdollisuuden kattavaan suunnitteluun, joka täten kehittäisi esimerkiksi tuotanto- sekä hankintaprosesseja, vahvistaen organisaation resilienssiä ja ketteryttä (Khedr et al., 2024).



## 5 Yhteenveto

### 5.1 Tutkimuskysymysten tulokset

Tässä alaluvussa vastataan tutkielman tutkimuskysymyksiin, jotka olivat ”Mitkä ovat toimitusketjujen resilienssin ja ketteryyden väliset tekijät?” ja ”Miten tekoälyn avulla voidaan kehittää toimitusketjun resilienssiä ja ketteryyttä?”. Toimitusketjun resilienssin ja ketteryyden välillä löydettiin yhteisiä teemoja, joiden kehittäminen vaikuttaisi positiivisesti kumpaankin toimitusketjun ominaisuuteen. Organisaatiot voivat vahvistaa omaa toimitusketjuaan operaatioiden nopeuttamisella, ympäristön analysoimisella sekä joustavuuden lisäämisellä taktisiin ja operatiivisiin toimiin. Tekoälyn hyödyntäminen näissä edellä mainituissa tehtävissä osoittaa positiivisia tuloksia. Tekoälyn osa-alueiden, koneoppimisen ja syväoppimisen, implementoiminen organisaatioiden toimintaan mahdollistaa tehokkaan historiallisen ja reaaliaikaisen datan analysoinnin, jonka avulla päätösten ja ennusteiden tekeminen on mahdollista.

Toimitusketjun resilienssiä ja ketteryyttä yhdistävien teemojen kehittäminen vahvistaa organisaation kykyä sietää disruptioita sekä reagoida muutoksiin samanaikaisesti. Toimitusketjun ketteryyden kehittäminen vahvistaa sen kykyä reagoida mittakaavallisesti muutoksiin. Nämä ketteryyden elementit tukevat toimitusketjun resilienssiä, sillä sen ominaisuus vastaanottaa disruptioita ja sopeutua niihin koostuu ketteristä päätöksistä.

### 5.2 Tutkielman reflektointi

Tutkielman rajaus oli tavallista kandidaatintutkintoa laajempi. Tämä johti aiheen tarkasteluun rajattua työtä laaja-alaisemmin, joka esiintyi muun muassa teoreettisten näkökulmien kohdalla, etenkin tekoälyä tarkasteltaessa. Jatkotutkimuksen tarkempi rajaus voisi mahdollistaa syvällisemmän ja yksityiskohtaisemman tarkastelun esimerkiksi pelkästään resilienssin tai ketteryyden kehittämiseen koneoppimisen tai syväoppimisen avulla.

## Lähteet

- Modgil S, Singh RK, Hannibal C. Artificial intelligence for supply chain resilience: Learning from covid-19. *International Journal of Logistics Management*. 2022;33(4):1246-1268. doi: <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2021-0094>.
- Craighead, C.W., Ketchen, D.J., Jr. and Darby, J.L. (2020), Pandemics and Supply Chain Management Research: Toward a Theoretical Toolbox\*. *Decision Sciences*, 51: 838-866. <https://doi.org/10.1111/deci.12468>
- Gligor, D., Gligor, N., Holcomb, M. and Bozkurt, S. (2019), "Distinguishing between the concepts of supply chain agility and resilience: A multidisciplinary literature review", *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 30 No. 2, pp. 467-487. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2017-0259>
- Tukamuhabwa, B. R., Stevenson, M., Busby, J., & Zorzini, M. (2015). Supply chain resilience: definition, review and theoretical foundations for further study. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5592–5623. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1037934>
- Tiwari, A.K., Tiwari, A. and Samuel, C. (2015), "Supply chain flexibility: a comprehensive review", *Management Research Review*, Vol. 38 No. 7, pp. 767-792. <https://doi.org/10.1108/MRR-08-2013-0194>
- Mackay, J., Munoz, A., & Pepper, M. (2019). Conceptualising redundancy and flexibility towards supply chain robustness and resilience. *Journal of Risk Research*, 23(12), 1541–1561. <https://doi.org/10.1080/13669877.2019.1694964>
- Al Humdan, E., Shi, Y., Behnia, M. and Najmaei, A. (2020), "Supply chain agility: a systematic review of definitions, enablers and performance implications", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 50 No. 2, pp. 287-312. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2019-0192>

- Um, J. (2017), "Improving supply chain flexibility and agility through variety management", The International Journal of Logistics Management, Vol. 28 No. 2, pp. 464-487. <https://doi.org/10.1108/IJLM-07-2015-0113>
- Ipek Kazancoglu, Melisa Ozbiltekin-Pala, Sachin Kumar Mangla, Yigit Kazancoglu, Fauzia Jabeen, Role of flexibility, agility and responsiveness for sustainable supply chain resilience during COVID-19, Journal of Cleaner Production, Volume 362, 2022, 132431, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132431>.
- Wolfgang Ertel: Introduction to Artificial Intelligence, Edition 3, 2024, <https://doi.org/10.1007/978-3-658-43102-0>
- Caiming Zhang, Yang Lu, Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects, Journal of Industrial Information Integration, Volume 23, 2021, 100224, ISSN 2452-414X, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100224>.
- Kühl, N., Schemmer, M., Goutier, M. et al. Artificial intelligence and machine learning. Electron Markets 32, 2235–2244 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12525-022-00598-0>
- M. I. Jordan, T. M. Mitchell, Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Science 349, 255-260 (2015). DOI:10.1126/science.aaa8415
- Kelleher, John D. Deep learning. MIT press, 2019. ISBN 978-0-262-53755-1, DOI:10.7551/mitpress/11171.001.0001.
- Reddy B, Decastro R. Benefits of machine learning and artificial intelligence. International Journal of Innovation and Applied Studies. 2024;43(2):222-228. DOI:10.1007/978-3-658-45392-3\_1
- Rene Y. Choi, Aaron S. Coyner, Jayashree Kalpathy-Cramer, Michael F. Chiang, J. Peter Campbell; Introduction to Machine Learning, Neural Networks, and Deep Learning. Trans. Vis. Sci. Tech. 2020;9(2):14. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.14>.

- Abdelhafid Zeroual, Fouzi Harrou, Abdelkader Dairi, Ying Sun, Deep learning methods for forecasting COVID-19 time-Series data: A Comparative study, *Chaos, Solitons & Fractals*, Volume 140, 2020, 110121, ISSN 0960-0779, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110121>.
- Gaurav Menghani. 2023. Efficient Deep Learning: A Survey on Making Deep Learning Models Smaller, Faster, and Better. *ACM Comput. Surv.* 55, 12, Article 259 (December 2023), 37 pages. <https://doi.org/10.1145/3578938>
- McLean, S., Read, G. J. M., Thompson, J., Baber, C., Stanton, N. A., & Salmon, P. M. (2021). The risks associated with Artificial General Intelligence: A systematic review. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 35(5), 649–663. <https://doi.org/10.1080/0952813X.2021.1964003>
- Salvagno, M., Taccone, F.S. & Gerli, A.G. Artificial intelligence hallucinations. *Crit Care* 27, 180 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04473-y>
- Adadi and M. Berrada, "Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI)," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 52138-52160, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2870052.
- Aljamaan F, Temsah MH, Altamimi I, Al-Eyadhy A, Jamal A, Alhasan K, Mesallam TA, Farahat M, Malki KH. Reference Hallucination Score for Medical Artificial Intelligence Chatbots: Development and Usability Study, *JMIR Med Inform* 2024;12:e54345, doi: 10.2196/54345
- Belhadi, A., Kamble, S., Fosso Wamba, S., & Queiroz, M. M. (2021). Building supply-chain resilience: an artificial intelligence-based technique and decision-making framework. *International Journal of Production Research*, 60(14), 4487–4507. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1950935>
- Li, D., Zhi, B., Schoenherr, T., & Wang, X. (2023). Developing capabilities for supply chain resilience in a post-COVID world: A machine learning-based thematic analysis. *IIE Transactions*, 55(12), 1256–1276. <https://doi.org/10.1080/24725854.2023.2176951>

Li, X., Krivtsov, V., Pan, C., Nassehi, A., Gao, R. X., & Ivanov, D. (2024). End-to-end supply chain resilience management using deep learning, survival analysis, and explainable artificial intelligence. *International Journal of Production Research*, 1–29.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2367685>

Ahmed M. Khedr, Sheeja Rani S, Enhancing supply chain management with deep learning and machine learning techniques: A review, *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, Volume 10, Issue 4, 2024, 100379, ISSN 2199-8531,  
<https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100379>.

Samuel Fosso Wamba, Impact of artificial intelligence assimilation on firm performance: The mediating effects of organizational agility and customer agility, *International Journal of Information Management*, Volume 67, 2022, 102544, ISSN 0268-4012,  
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102544>.

Pasupuleti, Vikram, Bharadwaj Thuraka, Chandra Shikhi Kodete, and Saiteja Malisetty. 2024. "Enhancing Supply Chain Agility and Sustainability through Machine Learning: Optimization Techniques for Logistics and Inventory Management" *Logistics* 8, no. 3: 73.  
<https://doi.org/10.3390/logistics8030073>

Rane, Nitin Liladhar, Pravin Desai, Jayesh Rane, and Mallikarjuna Paramesha. 2024. "Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning for Sustainable and Resilient Supply Chain and Logistics Management". In *Trustworthy Artificial Intelligence in Industry and Society*, edited by Dimple Patil, Nitin Liladhar Rane, Pravin Desai, and Jayesh Rane, 156-84. Deep Science Publishing. [https://doi.org/10.70593/978-81-981367-4-9\\_5](https://doi.org/10.70593/978-81-981367-4-9_5).

Chaturvedi, Vineet, and Walter T. de Vries. 2021. "Machine Learning Algorithms for Urban Land Use Planning: A Review" *Urban Science* 5, no. 3: 68.  
<https://doi.org/10.3390/urbansci5030068>