

Joel Permikangas

**TEKOÄLYN VAIKUTUKSET TOIMITUSKETJUN TE-  
HOKKUUTEEN**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2024

## TIIVISTELMÄ

Permikangas, Joel

Tekoälyn vaikutukset toimitusketjujen tehokkuuteen

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2024, 22 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja(t): Riekkinen, Janne

Toimitusketjut ja siihen liittyvät prosessit muodostavat erittäin suuren kuluerän eri organisaatioiden toiminnassa. Pienetkin tehostuksen kohteet tähän liittyvissä prosesseissa voi saavuttaa merkittävän kuluvähennyksen näille organisaatioille. Tekoälyteknologioiden implementoiminen voi olla avaintekijä prosessien tehokkuuden lisäämiseksi. Tämän kandidaatintutkielman tarkoitus oli selvittää miten tekoälyn käyttöönotto vaikuttaa toimitusketjujen tehokkuuteen ja siihen liittyviin kuluihin eri organisaatioissa. Ensimmäiseksi tutkielmassa avattiin tekoälyyn liittyvää käsitteistöä, sekä käytiin läpi tekoälyyn liittyvää historiaa. Seuraavaksi tutkielmassa selvitettiin, miten erilaisia tekoälyteknologioita voidaan implementoida prosesseihin toimitusketjujen hallinnan näkökulmasta. Kolmannessa sisältöluvussa selvitettiin, miten tekoälyn implementointi oli vaikuttanut tehokkuuteen ja kustannuksiin. Tutkielma on suoritettu kirjallisuuskatsauksena ja lähteinä on käytetty useita vertaisarvioituja tieteellisiä julkaisuja, kirjoja, sekä verkkojulkaisuja. Lähteitä on haettu useista eri tietokannoista, kuten IEEE Xplore, Web of Science, sekä Scopus. Suurin osa aihetta käsittelevästä materiaalista oli kuitenkin kyselytutkimuksia ja selkeää dataa saavutetun hyödyn määrästä oli hankala löytää. Tutkielmassa saatiin kuitenkin selville, että tekoälyn integroiminen toimitusketjujen hallintaan tehosti prosesseja, sekä vähensi kuluja valtaosassa organisaatioista.

Asiasanat: Toimitusketjut, Tekoäly, Toimitusketjujen hallinta, koneoppiminen, neuroverkot

## ABSTRACT

Permikangas, Joel

The effects of artificial intelligence in supply chain management

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2024, 22 pp.

Information systems science, bachelor's Thesis

Supervisor(s): Riekkinen, Janne

Supply chains and processes involved with supply chain management (SCM) form a large share of expenses in different organizational structures. Even incremental improvements in these processes can create significant reduction in costs. Implementing technologies which utilize artificial intelligence could be a key factor in increasing efficiency and reducing costs. The aim of this bachelor's thesis was to investigate how the implementation of artificial intelligence effects the performance of SCM and to the costs related to it in various organizations. The first part of the thesis explored terminology related to artificial intelligence, as well as examined the history of artificial intelligence. Next, the thesis investigated how AI technologies can be implemented in processes regarding SCM. The third chapter the thesis investigated how implementations of artificial intelligence had affected the performance of SCM and how it had affected the cost related to supply chains. The thesis was done as a literary synthesis using various peer reviewed academic publications, books, and web-publications as sources. The sources were acquired using various databases, such as IEEE Xplore, Web of Science and Scopus. The majority of the studies regarding the outcomes of AI implementation were done as qualitative studies, mostly interviews with no other performance metrics besides the interviewee's answers. The thesis however showed that the integration of AI in SCM was able to increase performance and reduce costs in the majority of organizations.

Keywords: supply chain, Artificial Intelligence, supply chain management, machine learning, neural networks

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEKOÄLY.....	7
	2.1 Tekoälyn määrittely.....	7
	2.1.1 Koneoppiminen.....	8
	2.1.2 Neuroverkot.....	9
	2.1.3 Generatiivinen tekoäly .....	10
	2.2 Tekoälyn historiaa .....	11
3	TEKOÄLY TOIMITUSKETJUJEN HALLINNASSA.....	13
	3.1 Koneoppiminen toimitusketjujen hallinnassa.....	13
	3.2 Neuroverkot toimitusketjujen hallinnassa.....	14
	3.3 Generatiivinen tekoäly toimitusketjujen hallinnassa .....	15
4	TEKOÄLYN VAIKUTUKSET SUORITUSKYKYYN .....	16
5	YHTEENVETO JA POHDINTAA .....	18
	LÄHTEET .....	20

# 1 JOHDANTO

Tekoälyllä ja etenkin koneoppimiseen liittyvillä erinäisillä teknologioilla, kuten suurilla kielimalleilla ja neuroverkoilla, on potentiaalia radikaalisesti muuttaa logistiikka ja toimitusketjujen hallinta. Innovaation nousua tasapainottaa kuitenkin akateeminen keskustelu teknologian mahdollisuuksien ja riskien tasapainottamisessa. Tässä keskustelussa normaalia on dystooppiset tulevaisuuskuvioiden maalailut massatyöttömyyksistä ja vaikutuksista akateemiselle integriteetille. Tekoälyn implementaatiot alkavat kuitenkin olemaan läsnä valtaosan ihmisistä elämässä.

Globaalissa markkinataloudessa tehokkuuden lisääminen organisaatioiden eri tasoilla on elintärkeää kilpailukyvyyn säilyttämiseksi. Vuonna 2022 tehdyssä kyselyssä 34 prosenttia vastaajista oli integroinut tekoälyä laajasti organisaation toimintaan logistiikan ja teollisuuden toimialoilla (Statista, 2022). 11 prosenttia vastaajista koki tekoälyn kriittiseksi tekijäksi organisaation toiminnassa. 38 prosenttia vastaajista ennusti tekoälyn muodostumista kriittiseksi tekijäksi vuoteen 2025 mennessä.

Pääkysymys, johon opinnäytetyö vastaa: Miten tekoälypohjaisten teknologioiden implementoiminen vaikuttaa tehokkuuteen ja kustannuksiin toimitusketjujen hallinnan näkökulmasta. Lisäksi tutkielmassa on tarkoitus selvittää mitä tekoälyteknologioita on jo käytössä ja kuinka suuri osa organisaatioista on implementoinut näitä teknologioita prosesseihinsa.

Tutkielma on suoritettu kirjallisuuskatsauksena. Tavoitteena on suorittaa synteesi olemassa olevasta tutkimusmateriaalista. Materiaalia on haettu useista eri tietokannoista, sekä hakukoneita käyttämällä. Pääosa lähteistä on löydetty Google Scholar- hakukonetta käyttämällä, sekä Web of Science ja IEEE Xplore tietokannoista. Lähteitä on haettu käyttäen hyväksi hakusanoja "supply chain management", "ai", "machine learning", "neural networks", "scm", "large language models", "llm", sekä erilaisia variaatioita näitä yhdistelemällä. Valtaosa kirjallisuudesta, joka koskee tekoälyn tosielämän applikaatioita, on tehty tämän vuosikymmenen puolella. Pääosa tutkimuksista, jotka on tehty ennen 2010-lukua,

on puhtaasti teoreettisia. Esimerkiksi case tutkimuksista valtaosa on tehty viimeisen kolmen vuoden sisään. Kyseessä on siis hyvin ajankohtainen aihe.

## 2 TEKOÄLY

Luvun tarkoituksena on määrittää tekoäly käsitteenä sekä avata käytössä olevia teknologioita.

### 2.1 Tekoälyn määrittely

Yksinkertaisimmillaan tekoäly voidaan määrittää teknologiaksi, joka mahdollistaa tietokoneita imitoimaan erilaisia ihmisten taitoja (Sheikh ym., 2023). Samoili ym. (2020) määrittelee tekoälyn ihmisten suunnittelemaksi ja toteuttamaksi ohjelmaksi, tai laitteeksi, joka kykenee toimimaan fyysisessä tai digitaalisessa ympäristössä käyttäen sen hankkimaa tai sille annettua dataa. Lisäksi tekoälyn ominaisuuksiin kuuluu: informaation prosessointi ja tulkinta, päätöstenteko ja mukautuminen ympäristön muutoksiin, sekä annetuista tehtävistä suoriutuminen autonomisesti (Samoili ym., 2020). Samoili ym. (2020) mukaan tekoäly voidaan jakaa kahteen pääluokkaa. Kapea tai heikko tekoäly keskittyy yhteen tarkkaan tehtävään. Tehtävä voi olla esimerkiksi kasvojen tai muiden muotojen tunnistus. Yleinen tai vahva tekoäly vahva tekoäly pyrkii olemaan kykenevä suorittamaan minkä tahansa tehtävän, minkä ihminenkin voi tehdä (Samoili ym., 2020). Kaikki tällä hetkellä käytössä olevista teknologioista kuuluvat tällä määritelmällä kapeaan tekoälyyn. Vahva tekoäly on tällä hetkellä vain teorettinen konsepti. Monet tutkijat sekä akateemisella, että yksityisellä sektorilla pyrkivät vahvan tekoälyn luomiseen. IBM:n (ei pvm.) verkkojulkaisussa esitetään, että osalla alan merkittävistä tutkijoista kuten Marvin Minskyllä on vahva näkemys, että vahvan tekoälyn syntyyn voi kulua vain muutamia vuosikymmeniä. Konsensus kuitenkin on, että tämä ei ole lähitulevaisuudessa mahdollista (IBM, ei pvm.)

Tekoäly on käsitteenä hyvin laaja ja pitää sisällään monia toisistaan paljonkin eroavia teknologioita. Tämän hetken merkittävimpiä teknologioita ovat

koneoppiminen, suuret kielimallit, neuroverkot ja syväoppiminen. Koneoppiminen on yläkategoria, jonka sisällä nämä muut teknologiat toimivat (IBM, 2023).

### 2.1.1 Koneoppiminen

El Naqa ja Murphy (2015) esittävät kirjassaan, että koneoppiminen (Machine learning, ML) on tekoälyn alaluokka, joka keskittyy algoritmien ja tilastollisten mallien kehittämiseen. Tavoitteena on algoritmien muodostaminen siten, että ne kykenevät suoriutumaan määritellyistä tehtävistä autonomisesti. Sen sijaan, että ne seuraisivat ennalta määrättyä ohjeiden sarjaa, koneoppimisjärjestelmä oppivat datasta. Ne tunnistavat toistuvia malleja ja pystyvät tekemään päätöksiä vähäisellä ohjauksella ihmisten toimesta (El Naqa & Murphy, 2015). El Naqan ja Murphyn (2015) mukaan koneoppimisen käyttämä data voi olla erilaisissa muodoissa. Pääasiassa koneoppimisjärjestelmät käyttävät datanaan syötettyä tekstiä, mutta data voi myös koostua kuvista, äänestä, tai erilaisista sensorilukemista. Koneoppimisjärjestelmä on siis täysin riippuvainen datan laadusta. Sen ollessa puutteellista koneoppimisjärjestelmä on hyödytön. Ohjelma prosessoi dataa erilaisilla algoritmeilla. Erilaiset datatyypit ja tehtävät vaativat toisistaan eroavia algoritmeja. Kuten koneoppimisen nimestäkin huomaa, menetelmän tavoitteena on opettaa ohjelma. Opetusvaiheessa ohjelmalle syötetään dataa ja virheiden satutuessa sen sisäisiä parametreja säädetään siihen asti, että ohjelma osaa tehdä oikeita ratkaisuja. Silloin kun ohjelmaa on riittävästi opetettu ja testattu se voidaan ottaa käyttöön työympäristöön, missä kaikki sen saama data on uutta (El Naqa & Murphy, 2015).

IBM (2023) mukaan koneoppiminen voidaan jakaa neljään pääkategoriaan. Ohjattu koneoppiminen, ohjaamaton oppiminen, puoliOhjattu koneoppiminen, sekä vahvistusoppiminen. Ohjatussa oppimisessa ohjelmalle annetaan syöte ja tulos, mihin syötteen perusteella pitäisi päästä. Kun järjestelmä on oppinut ohjatun datan perusteella tekemään päätöksiä, voidaan sille antaa uusia ennalta tuntemattomia datasettejä, joiden perusteella se voi tehdä päätöksiä (IBM, 2023).

Ohjamattomassa oppimisessa ohjelmaa opetetaan määrittelemättömällä datasetillä. Tarkoituksena on löytää toistuvia ilmiöitä tai rakenteita datasta. Ohjaamattomassa oppimisessa ohjelman tehtäviin sisältyy ryvästyminen, sekä ulottuvuuksien vähentäminen. Ryvästyksessä ohjelma kerää yhteen samankaltaisia pisteitä annetusta datasta. Ulottuvuuksien vähentämisen tarkoituksena on yksinkertaistaa dataa poistamalla siitä tietoa, joka ei ole relevanttia (IBM, 2023).

Vahvistetussa oppimisessa malli oppii vuorovaikuttamalla ympäristönsä kanssa. Se saa palautetta tekemistään ratkaisuksista ”palkintojen” ja ”rangaistusten” muodossa tarkoituksena saada mahdollisimman paljon palkintoja. Miljoonien toistojen jälkeen algoritmi oppii palautteen perusteella ratkaisemaan ongelman. Tämä malli sopii hyvin esimerkiksi robotiikassa ja pelissä bottien opettamisessa (IBM, 2023). PuoliOhjatussa oppimisessa ohjelmaa opetetaan määritellyn ja määrittelemättömän datan yhdistelmällä. Kotsiantis ym. (2006) mukaan absoluuttisesti parhaimman koneoppimismallin löytäminen ei ole tärkeää vaan jokaisessa



tilanteessa on erikseen arvioitava, mikä malli sopii parhaiten kyseiseen tilanteeseen.

### 2.1.2 Neuroverkot

Neuroverkot (Artificial Neural Networks, ANN) ovat koneoppimiseen kuuluva teknologia. Russellin ja Norvigin (2016) mukaan neuroverkkojen nimi ja rakenne tulee sen rakenteesta, jonka tarkoitus on imitoida ihmisen aivoja. Aivot prosessoivat informaatiota neuroneiden avulla. Neuronin on hermokudoksen solu, joka prosessoi informaatiota sähköisten hermoimpulssien avulla. Neuroverkot muokkaavat tätä biologista mallia rakenteessaan (Russell & Norvig, 2016). Gurney (1997) esittää neuroverkkojen olevan toisiinsa kytketyistä prosessointiyksiköistä koostuva kokonaisuus, jonka toiminnallisuus perustuu löyhästi biologiseen neuronin. Neuroverkon prosessointikyky liittyy yksiköiden välisten liitosten painotuksiin, jotka muodostuvat oppimisen tai mukautumisen kautta. Neuroverkot on käytännössä laskentaan käytettävä malli, joka koostuu toisiinsa liitettyistä yksiköistä. Näitä yksiköitä kutsutaan keinotekoisiksi neuroneiksi. Neuroverkon perusrakenne koostuu neuroneista, jotka on asetettu toimimaan usealla eri tasolla. Tasot, joista neuroverkot koostuvat ovat: Syötetaso, piilotaso(t) ja ulostulotaso. Verkossa toimivat neuronit ovat yhdistettyinä toisiinsa synapseilla, joita pitkin neuronit saavat syötteen, jonka neuronin prosessoi määritellyllä tavalla. Prosessoidun syötteen neuronin jakaa eteenpäin seuraavalle tasolle. Näitä piilotasoja, jossa annettuja syötteitä prosessoidaan voi olla useita, ja neuroverkon tyyppin mukaan syötteet voivat kulkea verkkoa pitkin usealla eri tavalla (Gurney 1997).

Russellin ja Norvigin (2016) mukaan neuroverkot voidaan jakaa toiminnallisesti kahteen eri pääryhmään. Eteenpäin syöttäviin neuroverkkoihin ja toisteesiin neuroverkkoihin. Eteenpäin syöttävät neuroverkot on järjestetty tasoihin siten, että jokainen yksikkö tai neuronin saa syötteitä vain sitä edeltävältä tasolta ja antaa ulostuloja vain sitä seuraaville tasoille. Toisteesissä neuroverkossa neuronit voivat syöttää omat ulostulonsa takaisin tasolle, joista nämä saivat oman syötteen (Russell & Norvig 2016).

Mijwel (2021) määrittelee julkaisussaan neuroverkkojen vahvuudet ja heikoudet Neuroverkkojen kyky käsitellä suuria määriä dataa ja tunnistaa monimutkaisia rakenteita on teknologian suurin vahvuus. Puutteellisesta datasta huolimatta verkko kykenee tuottamaan ulostulon. Neuroverkon rakenne mahdollistaa järjestelmän toiminnan huolimatta siinäkin tapauksessa, että jokin järjestelmän neuroneista on viallinen. Verkkojen joustavuus ja mukautuvuus mahdollistaa teknologian käytön usealla eri alalla. Verkkoihin liittyy myös useita eri ongelmia. Neuroverkot vaativat merkittävän määrän laskentatehoa ja muita datan prosessointiin liittyviä resursseja. Teknologia vaatii myös toimiakseen suuret määrät dataa, mikä ei ole mahdollista kaikissa käyttötapauksissa. Verkot ovat myös toiminta periaatteiltaan mustan laatikon tyyppisiä, mikä seurauksena niiden tekemiä päätöksiä ja antamia ulostuloja voi olla hankala tulkita. Myös

vianmääritys ongelmatapauksissa on haastavaa verkon prosessointiosan piilotetun rakenteen takia (Mijwel, 2021).

### 2.1.3 Generatiivinen tekoäly

Feurriegel ym. (2024) mukaan generatiivinen tekoäly on tekoälyyn liittyvä alakäsite, joka pitää sisällään teknologioita, joiden tarkoituksena on uuden sisällön luominen. Uusi sisältö voi olla tekstiä, musiikkia, videoita, kuvia, tai muita muotoja datasta. Generatiivisen tekoälyn toiminta perustuu laajemmin koneoppimisessa sekä neuroverkoissa käytettyihin teknologioihin. Etenkin neuroverkot ja niiden alaryhmä syväoppiminen sopivat hyvin uutta dataa tuottaviin malleihin (Feurriegel ym., 2024). Hyvä esimerkki generatiivisesta tekoälystä on suuri kielimalli (Large Language Model, LLM), jossa malli on opetettu algoritmien avulla tunnistamaan, generoimaan ja tiivistämään suuria määriä ihmisten tuottamaa tekstiä. Feurriegel ym. (2024) esittää tutkimuksessaan kolme pääpiirrettä, jotka ovat tyypillisiä suurille kielimalleille. Ensiksi kielimallit käyttävät tekstin tuottamiseen laajoja neuroverkkoja. Toiseksi neuroverkot ovat opetettu tuottamaan luonnollista tekstiä välttämättä ylisovittamista. Kolmas piirre, joka on kaikille kielimalleille tyypillistä on se, että niiden opettamiseen käytetään suuria määriä dataa (Feurriegel ym., 2024).

Anantrasirichain ja Bullin (2022) mukaan toinen merkittävä generatiiviseen tekoälyyn kuuluva teknologia on generatiivinen kilpaileva verkosto (Generative adversarial network, GAN). Kilpailevan verkoston toimintaperiaate on asettaa kaksi neuroverkkoa toimimaan toisiaan vastaan. Tavoitteena on tuottaa dataa, jota on vaikea erottaa oikeasta datasta. Toinen neuroverkoista luo halutun datamuodon, esimerkiksi valokuvan, samalla toinen neuroverkoista pyrkii tunnistamaan generatiivisen verkon luoman synteettisen datan oikeasta datasta. Lopulta, kun tunnistamisesta vastaava neuroverkko ei enää kykene tunnistamaan luotua dataa, ohjelma palauttaa datan (Anantrasirichai & Bull, 2022). Generatiivisen neuroverkon toimintaperiaatteet asettavat kuitenkin rajoitteita sen toiminnalle. Anantrasirichai ja Bull (2022) määrittelevät tämän mallin suurimmaksi ongelmaksi sen, että sen tuottama data pyrkii vain imitoimaan olemassa olevaa dataa. Uuden luovan sisällön tuottaminen on teoriassa mahdotonta tällä mallilla.

Feurriegel ym. (2024) mukaan suuria generatiivisen tekoälyn malleja, jotka kykenevät toimimaan monen erilaisen datatyyppin mukaisesti voidaan kutsua perustusmalleiksi (foundation model). Perustusmallien ominaisuuksiin kuuluu kyky käsitellä ja tuottaa dataa tyylillä, mitä niille ei ole erikseen opetettu. Feurriegel ym. (2024) käyttää tutkimuksessaan esimerkkinä GPT mallia, joka kykenee tuottamaan tiedostoja ohjelmointikielillä, jota sille ei ole erikseen opetettu (Feurriegel, ym. 2024).

## 2.2 Tekoälyn historiaa

Tekoälyn historia ulottuu useiden vuosikymmenten ajalle alkaen ensimmäisten tietokoneiden kehittämisestä. 1950-luvulla Alan Turing julkaisi teoksen ”Computing Machinery and intelligence.”, jossa tuotiin esille tapoja tekoälyn määrittelyyn. Turing toi teoksessaan esillä Turingin testin, jota voidaan käyttää tekoälyn älykkyyden mittaamiseen (Smith ym., 2006). Turingin teoksessa myös luotiin pohjatyö koneoppimiselle ja neuroverkoille. Tässä vaiheessa kaikki tekoälyyn liittyvä oli kuitenkin puhtaasti teoreettista, sillä olemassa olevat tietokoneet eivät vielä kyenneet tallentamaan dataa. Vuonna 1956 John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester ja Claude Shannon järjestivät Dartmouthissa konferenssin tekoälystä, jota yleisesti pidetään ensimmäisenä instanssina, jossa tekoälyä tarkasteltiin akateemisessa kontekstissa. Tässä konferenssissa myös termiä tekoäly käytettiin ensimmäisen kerran (Mutukrishnan ym. 2020).

Smith ym. (2006) mukaan vuosien 1950 ja 1970 välillä kiinnostus tekoälyä kohtaan oli suurta sekä akateemisella puolella, sekä suuremman yleisön ja median puolelta. Vuonna 1955 Alan Newell ja Herbert A. Simon kehittivät ohjelman nimeltä ”Logic Theorist”, joka pystyi todistamaan matemaattisia teoreemoja. Tätä ohjelmaa pidetään yhtenä ensimmäisistä tekoälyohjelmista (Smith ym., 2006). Newell ja Simone myös kehittivät General Problem Solver nimisen ohjelman vuonna 1957. Ohjelman tarkoituksena oli olla universaali ongelmanratkaisija. Samoihin aikoihin Frank Rosenblatt kehitti Perceptron nimisen neuroverkon. Neuroverkon tarkoituksena oli tunnistaa erilaisia toistuvia rakenteita ja oppia niistä. Tätä neuroverkkoa voidaan pitää koneoppimisen tutkimuksen kivijalkana (Anyoha, 2017).

Alkuinnostuksen jälkeen teknologian realiteetit alkoivat näkyä. 1970-luvun alussa rahoitus tekoälyn tutkimiseen väheni radikaalisesti. Tässä vaiheessa tietokoneiden laskentateho ei ollut vielä riittävää minkään konkreettisen tekemiseen. Teorioita ja malleja oli kyllä reilusti, mutta ilman tosielämän käyttötarkoituksia kiinnostus alaa kohtaan väheni huomattavasti. Etenkin julkisorganisaatiot vähensivät tekoälyrahoitustaan huomattavasti. Tätä aikaa vuosien 1974 ja 1980 välillä kutsuttiin ensimmäiseksi tekoälytalveksi.

1980-luvun alussa kiinnostus alaa kohtaan alkoi lisääntyä uudestaan. Etenkin neuroverkot olivat suuressa nosteessa uusien teorioiden myötä. Edward Feigenbaum kehitti nk. ”eksperttijärjestelmän”, jonka tarkoituksena oli imitoida asiantuntijaa ongelmanratkaisutilanteissa (Anyoha, 2017). 1990-luvun alkua kohti näiden järjestelmien ongelmat alkoivat ilmetä. Kehitetyt järjestelmät eivät olleet hyvin skaalautuvia johtuen puutteellisesta laskentatehosta (Mutukrishnan ym. 2020). Rahoitus ja kiinnostus alaa kohtaan väheni taas huomattavasti ja tätä aikaa kutsutaan nykyisin toiseksi tekoälytalveksi.

Tietokoneiden laskentatehon lisääntyessä vuosituhannen vaihteen läheisyydessä kiinnostus tekoälyä kohtaan alkoi lisääntyä uudestaan. Etenkin IBM:n kehittämä shakkitietokone Deep Blue saavutti suurta mainetta päihittäessään hallitsevan maailmanmestarin Garri Kasparovin (Smith ym., 2006). Tämän jälkeen

tekoölyn kehityksessä ei ole ollut merkittäviä hidasteita, Tietokoneiden laskenta-tehon jatkuva lisääntyminen on luonut tekoälylle paljon uusia käyttötarkoituksia. Viimeisimmän vuosikymmenen aikana datan tallennus on muodostunut entistä halvemmaksi ja nopeammaksi. Samanaikaisesti graafisten prosessointiyksiköiden (GPU) suorituskyky on kasvanut moninkertaiseksi. Tämä on mahdollistanut koneoppimisen ja neuroverkkojen nopean kehityksen. Etenkin koneoppimisalgoritmit ovat riippuvaisia saatavilla olevasta datasta. Graafisten prosessointiyksiköiden lisääntynyt suorituskyky on taas auttanut etenkin neuroverkkojen kehityksessä (Mutukrishnan ym., 2020).

### 3 TEKOÄLY TOIMITUSKETJUJEN HALLINNASSA

Generatiivinen tekoäly on mullistava teknologia, jonka implementoimalla yritykset voivat tehdä merkittäviä kehitystä liiketoiminnalleen. Chenin (2024) kyselytutkimuksessa, joka kohdistui monien eri alojen yrityksille, 40 % vastaajista oli sitä mieltä, että heidän yrityksensä oli jollain tavalla integroinut tekoälyä toimitusketjujen hallintaan. Toorajipour ym. (2021) mukaan yleisin tällä hetkellä käytössä olevista teknologioista toimitusketjujen hallinnassa on neuroverkot. seuraavaksi kolme yleisintä käytössä olevaa teknologiaa ovat Fuzzy Logic/mallintaminen, agenttiperustaiset järjestelmät, sekä yleiset tekoälyn muodot.

Sharma ym. (2022) mukaan tekoälyä voidaan integroida mukaan moneen osa-alueeseen toimitusketjujen hallinnassa. Tutkimuksen mukaan toimitusketjujen kuljetusverkkojen suunnittelu on kriittisin osa päätöksenteossa toimitusketjujen hallinnassa. Tekoälyä voidaan hyödyntää erilaisten varastopaikkojen ja reittien optimoimisessa. Tutkimuksen mukaan toinen kriittinen tekijä toimitusketjujen hallinnassa on oikeiden hankkijoiden ja tavarantoimittajien valinta. Tekoälyn keräämää ja prosessoimaa dataa voidaan käyttää myös näiden prosessien tehostamiseen (Sharma ym., 2022).

#### 3.1 Koneoppiminen toimitusketjujen hallinnassa

Koneoppimista voidaan käyttää toimitusketjujen hallinnassa monessa eri vaiheessa. Tirkolaee ym. (2021) esittää, että koneoppimisen avulla voidaan ennustaa tulevaa kysyntää analysoimalla myyntihistoriaa. käyttäen samalla hyödyksi ulkopuolista dataa. Esimerkiksi talouden tilanne, keliolosuhteet, sosiaalisen median trendit ovat kaikki tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa kysyntään tulevaisuudessa. Kysynnän ollessa hyvin ennustettavaa organisaatiot voivat optimoida

varastotilanteensa kuhunkin hetkeen sopivaksi näin vähentäen varastokustannuksia merkittävästi (Tirkolaee ym., 2021).

Koneoppimista voidaan käyttää toimitusketjujen hallinnassa myös varastohallintaan. Tirkolaee ym. (2021) määrittelee varastointikustannukset yhdeksi merkittävimmistä kulueristä toimitusketjuissa. Tämän vuoksi varastojen hallinta on tärkeä osa toimitusketjua. Oikeanlaisen inventaariotason saavuttaminen on hyvin hankalaa. Koneoppimisesta voi olla tähän suuri apu. Ohjelma voi määrittää jokaiselle hetkelle sopivan inventaariotason analysoimalla myyntidataa ja tavarantoimittajien luettavuutta. Koneoppimisen avulla optimaalisen varastotason ylläpitäminen on mahdollista muuttuvista kysyntätrendeistä huolimatta. Näin pystytään välttämään tilanteet, joissa varastoista kysynnän muuttuessa haluttua tuotetta ei ole saatavilla, tai sitä on varastossa liikaa (Tirkolaee ym., 2021).

Toimitusketjujen optimointi on tärkeä osa toimitusketjujen hallintaa ja siinäkin voidaan Tirkolaee ym., (2021) mukaan implementoida koneoppimista toiminnan tehostamiseksi. Ajoreitteihin liittyvät haasteet ovat yksi tunnetuimmista ongelmista, mitä tulee toimitusketjujen hallintaan. Tirkolaee ym. (2021) määrittelevät nimenomaan ajoreittien ongelmien ratkaisun on pääasialliseksi käyttökohteeksi koneoppimiselle toimitusketjussa. Koneoppimisen avulla voidaan optimoida ajoreitit kulujen minimoimiseksi. Myös tässä tapauksessa kysynnän ennustaminen on tärkeää, jotta tavaran kuljetukseen osataan allokoida oikea määrä henkilöstöä oikeaan aikaan (Tirkolaee ym., 2021).

Riskien hallinta on olennainen osa toimitusketjujen hallintaa ja Tirkolaee ym. (2021) mukaan riskien hallinta on yksi osa-alue, jossa koneoppimisesta voi olla merkittävää hyötyä. Riskien tunnistaminen, ennustaminen, monitorointi ja niiden välttäminen ovat kaikki asioita, joissa koneoppimisen integroimisesta voi olla apua.

### **3.2 Neuroverkot toimitusketjujen hallinnassa**

Soori ym. (2023) mukaan keinotekoisia neuroverkkoja voidaan käyttää monessa kohteessa toimitusketjujen hallintaan liittyen. Verkkoja voidaan käyttää myyntihistorian, kuluttajatrendien ja muiden kysyntään liittyvien muuttujien analysoimiseen. Tämän avulla voidaan ennustaa tarkemmin tulevaisuuden kysyntää, mikä auttaa inventaarion optimoinnissa. Varastotilan hallinnan optimointi auttaa välttämään kysytyjen tuotteiden loppumisen ja vähentää varastointiin liittyviä kustannuksia, kun tuotteita ei ole liikaa varastoissa (Soori ym., 2023). Tirkolaee ym. (2021) mukaan neuroverkot ovat yksi eniten käytetyistä koneoppimistekniikoista, mitä tulee riskien hallintaan toimitusketjuissa.

Sharma ym. (2022) mukaan suurin osa toimitusketjujen hallinnassa käytetyistä neuroverkoista on tyypiltään eteenpäin syöttäviä virheiden tapauksessa takaisinpäin eteneviä (feed-forward error back propagation). Tutkimuksessa

mainittuja onnistuneita neuroverkkojen implementoinnin kohteita ovat muun muassa toimitusketjujen kapasiteetin ennustaminen ja suunnittelu, reittien ja varastojen päätöksenteko alatasolla, sekä ylemmällä tasolla päätöshierarkiassa tuotannon suunnittelu ja siihen liittyvä päätöksenteko (Sharma ym., 2022). Kumari ym. (2023) tuovat myös tutkimuksessaan esille vastaavia kohteita neuroverkkojen implementoinnille. Tutkimuksen mukaan yleisimmät neuroverkkojen käyttökohteet johtamiseen liittyen ovat ennusteiden luominen myyntihistorian ja kysyntään vaikuttavien ulkopuolisten tekijöiden avulla. Hankinnan puolella neuroverkkoja on käytetty tehostamaan tavarantoimittajan valintaan. Neuroverkkojen avulla on voitu analysoida tehokkaammin toimittajien luotettavuutta ja tiedottamisen laatua. Tuotannon ja inventaarion hallinnassa neuroverkkoja on käytetty apuna tuotannon suunnittelussa, inventaarioiden hallinnassa, sekä tuotantoerän suuruuden määrittelyssä (Kumari ym., 2023).

### **3.3 Generatiivinen tekoäly toimitusketjujen hallinnassa**

Richey ym. (2023) tutkimuksessa tuodaan esille useita käyttökohteita generatiiviselle tekoälylle toimitusketjujen hallinnan näkökulmasta. Monet käyttökohteista kuten varastonhallinta, hankinnan suunnittelu, tuotannon valvonta ja suunnittelu ja muut päätöksentekiapplikaatiot ovat vastaavia muiden tekoälyteknologioiden kanssa. Tutkimuksen ensimmäisenä mainitsema käyttökohde generatiiviselle tekoälylle on hankintaan liittyvän päätöksenteon avustaminen. Generatiivisen tekoälyn kyky analysoida nopeasti dataa monelta potentiaaliselta toimittajalta, useita parametreja samanaikaisesti käyttämällä mahdollistaa kattavan toimittajalistan luomisen. Tutkimuksen mukaan generatiivisen tekoälyn kyky luoda uutta dataa mahdollista sen osalta proaktiivisen ehdotusten tekemisen ja strategioiden luomisen (Richey ym., 2023). Generatiivinen tekoäly voi auttaa toimitusketjuihin liittyvien riskien vähentämistä analysoimalla ja luomalla potentiaalisia liiketoimintaan vaikuttavia ulkoisia riskitekijöitä, kuten pandemiota, luonnonkatastrofeja ja lakkoja. Tämän analyysin perusteella tekoäly kykenee luomaan suunnitelmia poikkeustilanteiden varalle (Richey ym., 2023)

## 4 TEKOÄLYN VAIKUTUKSET SUORITUSKYKYYN

Chenin (2024) suorittamassa kyselytutkimuksessa 40 % vastaajista oli vahvasti sitä mieltä, että heidän yrityksensä oli jollain tavalla sisällyttänyt tekoälytoimitusketju prosesseihinsa. 30 % vastaajista koki, että heidän yrityksensä oli jollain tavalla sisällyttänyt tekoälyä. Lisäksi 20 %:lla vastaajista ei ollut mielipidettä asiaan. Vain 10 % vastaajista koki, että heidän liiketoimintansa ei ollut ottanut tekoälyä millään tavalla mukaan liiketoimintaansa. Tutkimuksen toinen osa käsitteli tekoälyn implementoinnin vaikutuksia tehokkuuteen ja kuluihin. Kyselyyn vastanneista 45 % koki, että tekoälyn käyttöönotto oli vähentänyt toimitusketjuihin liittyviä kustannuksia merkittävästi. 15 % koki vaikutuksen kuluihin olleen huomattava ja 35 %:n mielestä kuluihin oli tullut pieni muutos. Vain 5 % vastaajista oli sitä mieltä, että tekoälyn implementoinnilla ei ollut mitään vaikutusta kuluihin. Chenin (2024) mukaan 40 % vastaajista oli onnistunut tekoälyn käyttöönoton myötä vähentämään prosesseihin kuluvaan aikaan merkittävästi ja 30 %:n mielestä se oli vähentänyt kuluvaan aikaa jonkinasteisesti. Prosenttiluvut asiakaspalvelutyytyväisyyden ja varastonhallinnan kanssa olivat vastaavia. Tekoälyn kokonaisvaikutuksista toimitusketju prosesseihin oli hyvin tyytyväisiä 40 % vastaajista, 25 % vastaajista oli tyytyväisiä ja 20 % (Chen, 2024). Tämän tutkimuksen mukaan suurin osa vastaajista oli implementoinut tekoälytoimitusketjuprosesseihinsa ja merkittävä osa näistä vastaajista koki tekoälyn lisänneen tehokkuutta ja vähentänyt kuluja.

Hao ja Helo (2022) haastattelivat case-tutkimuksessaan neljää eri yritystä, joista kaikkien liiketoimintaan kuuluu toimitusketjujen hallinta. Ensimmäisen haastatellun yrityksen toimialaan kuului muuntajien valmistus. Tekoälyn implementoinnin tavoitteena oli vähentää tarjouksen tekemiseen kuluvaan aikaa, parantaa myyntiin liittyvien dokumenttien laatua, sekä vähentää näihin prosesseihin liittyvää manuaalista työtä. Toisessa yrityksessä, joka toimii metallialalla, tavoitteena oli parantaa tuotantoon liittyvän laitteiston käyttöastetta, kehittää ketterämpi lähestymistapa tuotannon suunnittelulle, sekä erottaa tuotannon hallinta fyysisistä hyödykkeistä. Kolmannessa yrityksessä tekoälyn implementoinnin tarkoituksena oli kehittää laadun hallintaa. Yritys toimii ruoan valmistuksen



alalla. Pää tavoitteet olivat erämuotoisesta laaduntarkistuksesta siirtyminen täysimuotoiseen tarkistukseen teknologiaa hyödyntämällä, systemaattisen tarkistusjärjestelmän luominen ja prosesseista syntyvän jätteen vähentäminen. Neljännessä organisaatiossa, jonka toimiala on rakennusalaalla käytettyjen laitteiden valmistus, tavoitteena tekoälyn implementoinnissa oli parantaa valmistamiensa tuotteiden elinkaaren kestoa parantamalla varaosiin liittyviä prosesseja, kalenteripohjaisesta huoltoaikataulusta siirtyminen laitteiston kunnosta riippuvaan huoltoon ja vähentää kustannuksia yleisesti. Kaikissa haastateltavista yrityksistä olivat tekoälyn implementoinnin myötä tehostamaan tuotantoaan ja vähentämään etenkin asiakirjojen käsittelyyn kuluvia työtunteja. Yhdessäkään tapauksessa ihmisten suorittamaa työtä ei onnistuttu siirtämään kokonaisuudessaan koneiden vastuulle (Hao & Helo, 2022). Mohsenin (2023) mukaan tekoälyyn implementoinnilla on potentiaalia tehostaa toimitusketjujen hallintaa monilla eri tavoilla. Tekoälyn mahdollistama suurten datamäärien prosessointi auttaa ennustamaan kysyntää, optimoimaan ajoreitit, sekä muut toimitusketjuihin liittyvät operaatiot (Mohsen, 2023). Belhadi ym. (2021) suorittamassa tutkimuksessa toimitusketjujen tehokkuus lisääntyi merkittävästi tekoälyn implementoimisen myötä. Tutkimuksen mukaan etenkin dynaamisissa ympäristöissä toimivat yritykset hyötyivät merkittävästi tekoälyn käyttöönotosta. Tekoälyn kyky omaksua nopeasti valtavat määrät dataa ja tehdä päätöksiä nopeasti sen perusteella on elintärkeää dynaamisesti toimivalla markkina-alueella (Belhadi ym., 2021)

## 5 YHTEENVETO JA POHDINTAA

Tutkielma päätavoitteena oli selvittää miten tekoälyn integroiminen osaksi toimitusketjujen hallintaan vaikuttaa tehokkuuteen ja kuluihin. Etenkin suurten kielimallien ilmestyminen on luonut uutta innostusta aihetta kohtaan ja se on nyt enemmän ajankohtaista kuin koskaan aikaisemmin. Toimitusketjujen hallintaan liittyy valtavat määrät dataa, jota kehittyneiden koneoppimismallien ja siihen liittyvien teknologioiden, kuten neuroverkkojen ja syväoppimisen, avulla on mahdollista hyödyntää enemmän kuin koskaan aikaisemmin. Toimitusketjujen hallintaan liittyvät kulut muodostavat hyvin suuren osan koko maailman bruttokansantuotteesta. Etenkin sen vuoksi kaikki tehokkuuteen positiivisesti vaikuttavat tekijät ovat merkittävässä roolissa.

Tutkielma suoritettiin kirjallisuuskatsauksena. Lähdemateriaalin etsimiseen käytettiin tieteellisten artikkeleiden tietokantoja kuten IEEE Xplore. Pääosa aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta on hyvin tuoretta. Suurin osa tutkielman lähdemateriaalina käytetyistä tieteellisistä artikkeleista on tehty viime vuosien aikana. Tutkimuskysymykset, johon tutkielmassa vastattiin olivat:

- Miten tekoälypohjaisten teknologioiden implementoiminen vaikuttaa tehokkuuteen ja kustannuksiin toimitusketjujen hallinnan näkökulmasta?
- Mitä tekoälyteknologioita on jo käytössä ja kuinka suuri osa organisaatioista on implementoinut näitä teknologioita prosesseihinsa?

Tutkielma koostuu kolmesta sisältökappaleesta, sekä johdannosta ja yhteenvedosta. Ensimmäisessä sisältökappaleessa avattiin tekoälyyn liittyviä käsitteitä ja tekoälyn historiaa, joka oli tärkeä pohjustus tutkimuskysymyksiin vastaamisen kannalta. Toisessa sisältökappaleessa perehdyttiin, miten erilaisia tekoälyteknologioita on otettu käyttöön toimitusketjujen hallinnassa. Kolmas sisältö-luku pyrki vastaamaan tutkielman pääkysymykseen.

Tutkielmassa selvisi, että valtaosa toimitusketjujen hallinnan piirissä toimivista organisaatioista on ottanut tekoälyteknologioita käyttöönsä. Merkittävä osa aihetta käsittelevistä artikkeleista ja tutkimuksista osoittavat, että tekoälyn implementoimisella toimitusketjujen hallintaan on merkittäviä positiivisia vaikutuksia. Valtaosa tekoälyä käyttöön ottaneista organisaatioista raportoi käyttöönoton vähentäneen kustannuksia, sekä lisänneen toimitusketjujen tehokkuutta.

Tieteellinen kirjallisuus aiheeseen liittyen on tässä vaiheessa vielä erittäin puutteellisia. Tutkielman käsitteiden käsittelyyn lähdemateriaalia löytyi reilusti. Nykyään käytössä olevat tekoälyteknologiat ovat olleet teoriatasolla olemassa jo vuosituhatien alusta ja aihetta on tutkittu runsaasti. Tekoälyn implementoiminen käytännössä on kuitenkin hyvin tuore ilmiö. Tämän takia laadukasta määrällistä dataa tekoälyn implementoimisesta on hankala löytää. Valtaosa etenkin toimitusketjujen tehokkuuteen liittyvistä tutkimuksista on puhtaasti teoreettisia. Varsinkin todellisia käyttötapauksia koskevia tutkimuksia oli hyvin hankala löytää. Niissä tutkimuksissa, joissa tekoälyn implementoinnin vaikutuksia on pyritty tutkimaan, menestyksen mittarina toimivat haastateltujen organisaatioiden antamat vastaukset tutkimuksiin. Konkreettisia lukuja tekoälyn käyttöönoton vaikutuksista suorituskykyyn oli hankala löytää. Monet suuremmista kansainvälisesti merkittävistä yrityksistä on käyttänyt tekoälyyn liittyviä teknologioita jo vuosien ajan, joten tieteellisellä kirjallisuudella on vielä reilusti kirittävää aiheen ympärillä.

## LÄHTEET

- Anantrasirichai, N., & Bull, D. (2022). Artificial intelligence in the creative industries: a review. *Artificial intelligence review*, 55(1), 589-656.  
<https://doi.org/10.1007/s10462-021-10039-7>
- Anyoha, R. (28.8.2017). *The history of artificial Intelligence. Special edition on artificial intelligence.* <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence/>
- Belhadi, A., Mani, V., Kamble, S. S., Khan, S. A. R., & Verma, S. (2024). Artificial intelligence-driven innovation for enhancing supply chain resilience and performance under the effect of supply chain dynamism: an empirical investigation. *Annals of Operations Research*, 333(2), 627-652.  
<https://doi.org/10.1007/s10479-021-03956-x>
- Chen, Y. (2024). Leveraging AI and Machine Learning in Modern Supply Chain Management: An Evaluation of Technological Adoption and Performance Impact. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12(14s), 457-467.  
<https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/4681>
- El Naqa, I., & Murphy, M. J. (2015). *What is machine learning?* (pp. 3-11). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3_1)
- Feuerriegel, S., Hartmann, J., Janiesch, C., & Zschech, P. (2024). Generative ai. *Business & Information Systems Engineering*, 66(1), 111-126.  
<https://doi.org/10.1007/s12599-023-00834-7>
- Fosso Wamba, S., Queiroz, M. M., Guthrie, C., & Braganza, A. (2022). Industry experiences of artificial intelligence (AI): Benefits and challenges in operations and supply chain management. *Production planning & control*, 33(16), 1493-1497. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1882695>
- Gurney, K. (1997). *An introduction to neural networks.* CRC press.  
<https://doi.org/10.1201/9781315273570>
- IBM (6.7.2023). AI versus machine learning versus deep learning versus neural networks: What's the difference? <https://www.ibm.com/think/topics/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-vs-neural-networks>
- IBM (ei pvm.). What is Strong AI <https://www.ibm.com/topics/strong-ai>
- Kotsiantis, S. B., Zaharakis, I. D., & Pintelas, P. E. (2006). Machine learning: a review of classification and combining techniques. *Artificial Intelligence Review*, 26, 159-190. <https://doi.org/10.1007/s10462-007-9052-3>
- Mijwel, M. M. (2021). Artificial neural networks advantages and disadvantages. *Mesopotamian Journal of Big Data*, 2021, 29-31..  
<https://doi.org/10.58496/MJBD/2021/006>

- Mohsen, B. M. (2023). Impact of artificial intelligence on supply chain management performance. *Journal of Service Science and Management*, 16(1), 44-58. <https://doi.org/10.4236/jssm.2023.161004>
- Muthukrishnan, N., Maleki, F., Ovens, K., Reinhold, C., Forghani, B., & Forghani, R. (2020). Brief history of artificial intelligence. *Neuroimaging Clinics of North America*, 30(4), 393-399. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2020.07.004>
- Kumari, N., Chaudhary, D., Kaur, H., & Yadav, A. L. (2023, June). Artificial Intelligence in Supply Chain Optimization. In *2023 International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT)* (pp. 1-6). IEEE. 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICICAT57735.2023.10263631.
- Helo, P., & Hao, Y. (2022). Artificial intelligence in operations management and supply chain management: An exploratory case study. *Production Planning & Control*, 33(16), 1573-1590. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1882690>
- Pournader, M., Ghaderi, H., Hassanzadegan, A., & Fahimnia, B. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 241, 108250.
- Richey Jr, R. G., Chowdhury, S., Davis-Sramek, B., Giannakis, M., & Dwivedi, Y. K. (2023). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 532-549. <https://doi.org/10.1111/jbl.12364>
- Sharma, R., Shishodia, A., Gunasekaran, A., Min, H., & Munim, Z. H. (2022). The role of artificial intelligence in supply chain management: mapping the territory. *International Journal of Production Research*, 60(24), 7527-7550. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2029611>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence: a modern approach*. Pearson.
- Samoili, S., Cobo, M. L., Gómez, E., De Prato, G., Martínez-Plumed, F., & Delipetrev, B. (2020). AI Watch. Defining Artificial Intelligence. Towards an operational definition and taxonomy of artificial intelligence. EUR 30117 EN, *Publications Office of the European Union, Luxembourg* doi:10.2760/382730, JRC118163.
- Sheikh, H., Prins, C., & Schrijvers, E. (2023). *Mission AI: the new system technology* (p. 410). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-21448-6>
- Smith, C., McGuire, B., Huang, T., & Yang, G. (2006). The history of artificial intelligence. *University of Washington* <https://courses.cs.washington.edu/courses/csep590/06au/projects/history-ai.pdf>

- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Artificial Neural Networks in Supply Chain Management, A Review. *Journal of Economy and Technology*.  
<https://doi.org/10.1016/j.ject.2023.11.002>
- Statista (2022). *Artificial Intelligence (AI) Adoption Rate in Supply Chain and Manufacturing Businesses Worldwide in 2022 and 2025*.  
<https://www.statista.com/statistics/1346717/ai-function-adoption-rates-business-supply-chains/>
- Tirkolaei, E. B., Sadeghi, S., Mooseloo, F. M., Vandchali, H. R., & Aeini, S. (2021). Application of machine learning in supply chain management: a comprehensive overview of the main areas. *Mathematical problems in engineering*, 2021(1). <https://doi.org/10.1155/2021/1476043>
- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502-517.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>