

# Toimitusketjujen optimointi ja kustannusten vähentäminen massadata-analytiikan avulla

TURUN YLIOPISTO  
Tietotekniikan laitos  
TkK-tutkielma  
Tietotekniikka  
Joulukuu 2025  
Miro Prusila

TURUN YLIOPISTO

Tietotekniikan laitos

MIRO PRUSILA: Toimitusketjujen optimointi ja kustannusten vähentäminen massadata-analytiikan avulla

TkK-tutkielma, 23 s.

Tietotekniikka

Joulukuu 2025

---

Massadata-analytiikan merkitys toimitusketjujen hallinnassa on kasvanut nopeasti teollisuus 4.0:n, digitalisaation ja tekoälyn hyödyntämisen yleistyessä. Tässä tutkielmassa tarkastellaan, miten massadata-analytiikkaa voidaan hyödyntää toimitusketjujen optimoinnissa ja kustannusten vähentämisessä. Erityisesti tutkielmassa käsitellään datan roolia tehokkuuden parantamisessa, häiriöiden ennakoinnissa ja päätöksenteon nopeuttamisessa.

Työssä käydään läpi teollisuus 4.0:n keskeisiä teknologioita, kuten tekoälyä, koneoppimista ja esineiden internetiä (engl. internet of things, IoT), sekä tarkastellaan analytiikan eri tyyppejä, kuten kuvailevaa, diagnosoivaa, ennustavaa ja ohjaavaa analytiikkaa. Massadatan lähteinä käsitellään muun muassa esineiden internetin laitteita, ERP-järjestelmiä ja asiakaskäyttäytymistä. Lisäksi käsitellään käytännön sovelluksia, kuten digitaalisten kaksosten (engl. digital twin) hyödyntämistä ja datan roolia päätöksenteon tukena toimitusketjujen hallinnassa.

Tutkielmassa havaitaan, että oikein hyödynnettynä massadata mahdollistaa toimitusketjujen toiminnan reaaliaikaisen seurannan ja dynaamisen ohjauksen, mikä parantaa ennustettavuutta, asiakastyytyväisyyttä ja resurssien käyttöä. Esimerkkinä tarkastellaan digitaalisten kaksosten käyttöä satamissa, jossa massadata, simulaatiot ja tekoäly yhdistyvät käytännön ratkaisuksi.

Asiasanat: data-analytiikka, massadata, toimitusketjut, teollisuus 4.0, optimointi

# Sisällys

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Toimitusketjujen teollisuus 4.0</b>	<b>4</b>
2.1	Toimitusketjujen data-analytiikka . . . . .	5
2.2	Toimitusketjujen massadata . . . . .	6
2.3	Tekoäly ja koneoppiminen . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Toimitusketjujen optimointi</b>	<b>9</b>
3.1	Toimitusketjujen tehokkuus . . . . .	9
3.2	Toiminnan joustavuus ja reagointikyky . . . . .	11
3.3	Asiakasdatan hyödyntäminen . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Massadatalta tavoitellut hyödyt</b>	<b>14</b>
4.1	Päätöksenteon nopeuttaminen . . . . .	14
4.2	Reaaliaikainen seuranta ja ennustaminen . . . . .	15
4.3	Riskien hallinta . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Case: Satamien digitaaliset kaksoset</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>Pohdinnat</b>	<b>23</b>
	<b>Lähdeluettelo</b>	<b>24</b>

# Kuvat

1.1	Aineistonhaku . . . . .	2
2.1	Yleiskuva teollisuuden 4.0:sta . . . . .	4
2.2	Data-analytiikan eri tyypit . . . . .	6
2.3	Toimitusketjujen massadatan lähteitä . . . . .	7
3.1	Esimerkki yhteiselle alustalle liitettävistä sidosryhmistä . . . . .	11
3.2	Asiakasdatan lähteet ja hyödyntämisen kohteet . . . . .	12
4.1	Tietoon perustuva päätöksen teko . . . . .	14
5.1	Digitaalisen kaksosen toiminta . . . . .	20

# Taulukot

3.1	Toimitusketjujen tehokkuuden parantamisen strategioita . . . . .	10
5.1	Digitaalisen kaksosen hyödyt toimitusketjussa . . . . .	19

# 1 Johdanto

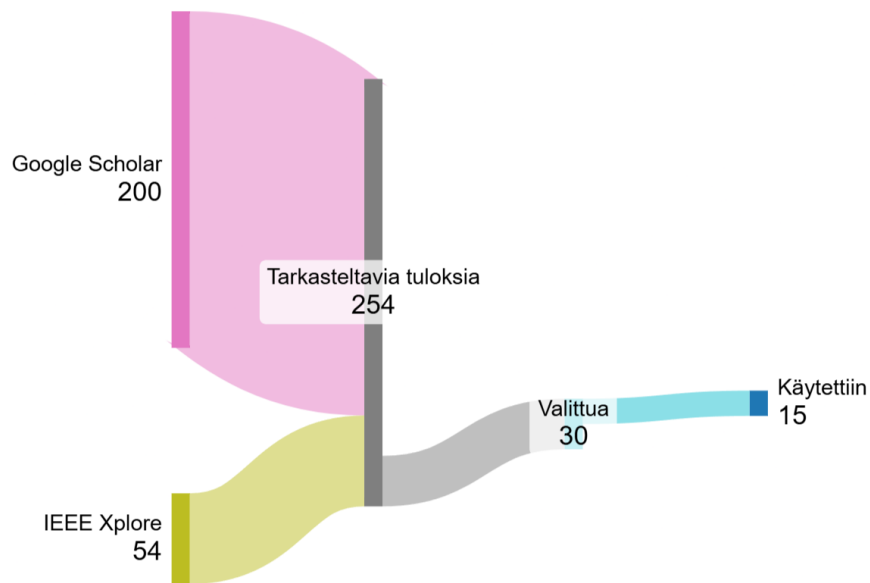
Toimitusketjut ovat elintärkeä osa liiketoimintaa, sillä ne yhdistävät raaka-aineet, valmistusprosessit ja kuluttajat. Nykypäivänä, kun globalisaatio ja kilpailu ovat arkipäivää, on toimitusketjun hallinnasta tullut keskeinen tekijä yritysten menestyksessä.

Toimitusketjujen teollisuus 4.0 ja digitalisoituminen ovat merkittävästi muuttaneet, miten toimitusketjuja voidaan hallita. Älykkäät teknologiat, kuten esineiden internet (engl. internet of things, IoT) ja massadata-analytiikka, mahdollistavat datan keräämisen useasta eri lähteestä ja datan analysoinnin, mitä voidaan hyödyntää parempien päätösten ja optimointien tekemiseen. Datan kerääminen mahdollistaa koneoppimismallien hyödyntämisen ja siten erilaiset mallit auttavat älykkäiden ja joustavien ratkaisujen kehittämisessä.

Tutkielman tarkoituksena on tarkastella, miten massadatalla ja sen analytiikalla pystytään saamaan etuja ja tehostamaan toimitusketjujen hallinnointia. Työn tutkimuskysymykset ovat:

1. Kuinka massadata-analytiikka voi parantaa toimitusketjun suorituskykyä ja kustannustehokkuutta?
2. Miten massadata-analytiikkaa voidaan käyttää toimitusketjun riskienhallinnassa ja häiriöiden ennakoimisessa?

Tiedonhaku tähän kirjallisuus katsaukseen on tehty käyttäen IEEE Explore- ja Google Scholar -tietokantoja hakulausekkeella: ("data analy\*"OR "big data") AND



Kuva 1.1: Aineistonhaku

"supply chain"AND opti\*. Termit "riskit"ja "häiriöt"jätettiin pois tiedonhausta, koska tutkielma keskittyy ensisijaisesti massadata-analytiikan hyödyntämiseen optimoinnissa ja kustannusten vähentämisessä. Hakua rajattiin vuodesta 2020 eteenpäin julkaistuihin tuloksiin. Google Scholarin kautta tietoa hakiessa käytettiin yksityistä tilaa poistaen googlen algoritmien suosittamat julkaisut omien tietojen perusteella.

IEEE Xploressa tuloksia tuli 54 ja Google Scholarissa 6 170. Google Scholarin tuloksista tutkittiin ensimmäiset 10 sivua eli 200 tulosta. Aineistot valittiin niiden nimen, tiivistelmän sekä chatGPT:llä luodun tiivistelmän perusteella. Valituksi tuli 30 aineistoa, jotka käytiin yksityiskohtaisesti läpi, ja näistä valittiin 15 aineistoa käytettäväksi lähteinä. Kuvassa 1.1 on havainnollistettu aineiston hakemisen etene-

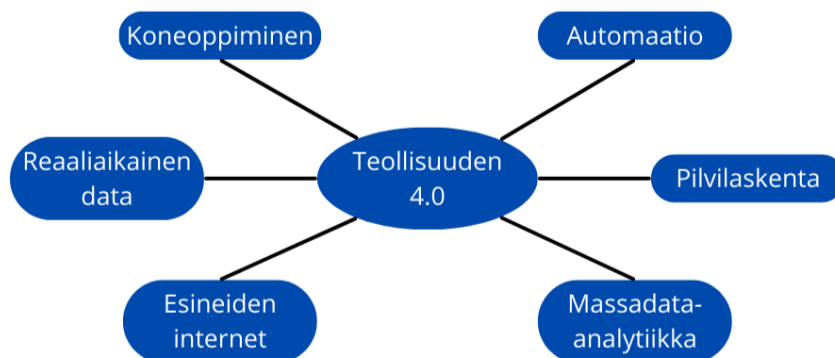
minen. Luvussa 2 tarkastellaan toimitusketjujen data-analytiikan roolia ja perehdytään teollisuus 4.0:n keskeisiin teknologioihin, kuten massadataan, tekoälyyn ja koneoppimiseen. Luvussa 3 käsitellään toimitusketjujen optimointia ja esitellään, miten analytiikkalähtöiset menetelmät voivat parantaa tehokkuutta ja joustavuutta. Lu-

vussa 4 käydään läpi massadatan tarjoamia käytännön hyötyjä yrityksille, kuten ennustettavuuden parantumista ja riskienhallinnan tehostumista. Luku 5 esittelee esimerkin massadata-analytiikan käytöstä digitaalisten kaksosten (engl. digital twin) hyödyntämisestä satamisissa, joka konkretisoi aiemmin esitettyä teoriaa. Luvussa 6 kootaan yhteen keskeiset tutkimuksessa esiin nousseet havainnot, ja lopuksi luvussa 7 pohditaan työn tuloksia, haasteita ja jatkotutkimuksen mahdollisuuksia.

## 2 Toimitusketjujen teollisuus 4.0

Teollisuus 4.0 viittaa neljänteen teolliseen vallankumoukseen, mikä tuo merkittäviä innovaatioita ja muutoksia teollisuuteen. Tämä kehitys perustuu esineiden internetin järjestelmiin, reaaliaikaiseen data-analysointiin, pilvilaskentaan sekä tekoälyn hyödyntämiseen teollisissa prosesseissa [1], [2]. Toimitusketjujen teollisuuden 4.0 keskittyy älykkäiden ja autonomisten järjestelmien ja reaaliaikaisten tietovirtojen hyödyntämiseen, mikä mahdollistaa paremman näkyvyyden ja joustavuuden koko toimitusketjussa [3]. Kuvaan 2.1 on kerätty yleiskuva teollisuuden 4.0:n tuomista teknologioista.

Toiminnan digitalisoituminen teollisuuden 4.0:n myötä mahdollistaa laitteiden, järjestelmien ja prosessien yhdistämisen. Tämä antaa mahdollisuuden kerätä ja analysoida suuria tietomääriä eri lähteistä esineiden internetiä hyödyntämällä. Niiden avulla voidaan valvoa eri tuotantoprosesseja sensoreilla ja liittää ne toisiinsa inter-



Kuva 2.1: Yleiskuva teollisuuden 4.0:sta

netin välityksellä luoden verkoston, josta ihmisten on helpompi saada tarvittavat tai tärkeät tiedot [4]. Yritykset pystyvät keräämään nämä tiedot datakeskuksiin, jotka mahdollistavat datan jatkoprosessoinnin, josta on mahdollista luoda ennustusmalleja tehokkuuden parantamiseksi ja kustannusten vähentämiseksi. Verkoston avulla tiedon kulku tapahtuu reaaliajassa koko toimitusketjussa mahdollistaen paremman datan saannin dataan pohjautuvien päätösten ja optimointien tekemiseen. [5] Dataa voidaan myös käyttää automaattisten ja älykkäiden ympäristöjen luomiseen [6].

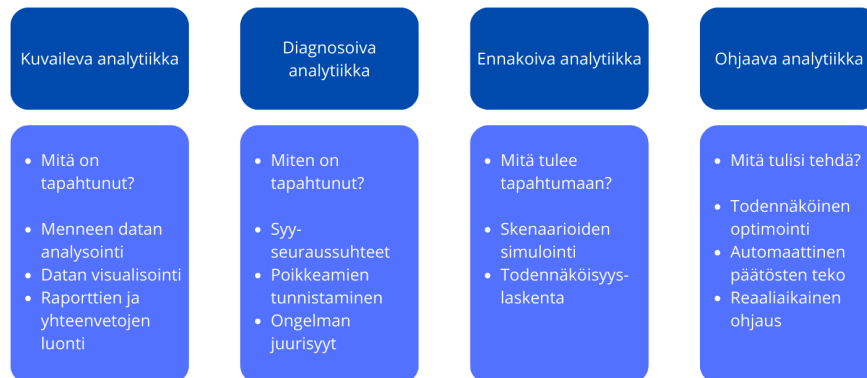
## 2.1 Toimitusketjujen data-analytiikka

Data-analytiikka on tärkeä osa nykypäiväistä toimitusketjun hallintaa, sillä se mahdollistaa yritysten keräämän datan hyödyntämisen strategisten päätösten tekemisessä. Data-analytiikka voidaan kategorisoida neljään erilaiseen kategoriaan: kuvailevaan, diagnosoivaan, ennakoivaan ja ohjaavaan analytiikkaan (kuva 2.2) [7], [8], [9].

*Kuvailevalla analytiikalla* voidaan vastata kysymykseen "Mitä on tapahtunut?". Tällöin tarvitaan suuria määriä dataa, jotta voidaan tunnistaa toistuvia samankaltaisuuksia sekä havainnollistaa aiempia tapahtumia [8]. Kuvailevaa analytiikkaa voidaan hyödyntää antamaan tietoja siitä, mitä monikanavaisessa varastojärjestelmissä tai monimutkaisessa ketjussa tapahtuu [9]. Tämä helpottaa ajan tasalla pysymistä toimitusketjujen tilasta sekä helpottaa mahdollisten pullonkaulojen paikantamista.

*Diagnosoivan analytiikan* avulla vastataan "Miksi on tapahtunut?". Tämän avulla selvitetään syy-seuraussuhteita tapahtuman taustalla olleista tekijöistä.

*Ennakoivalla analytiikalla* pyritään vastaamaan kysymykseen "Mitä tulee tapahtumaan?". Sillä tavoitellaan tulevaisuuden ennusteiden luomista ja täten antaen lisätietoa päätöstentekijöille jopa epävarmoina aikoina [8]. Ennakoimalla tulevaa kysyntää voidaan paremmin välttää ylivarastointia ja säästää varastokustannuksissa. [9]



Kuva 2.2: Data-analytiikan eri tyypit

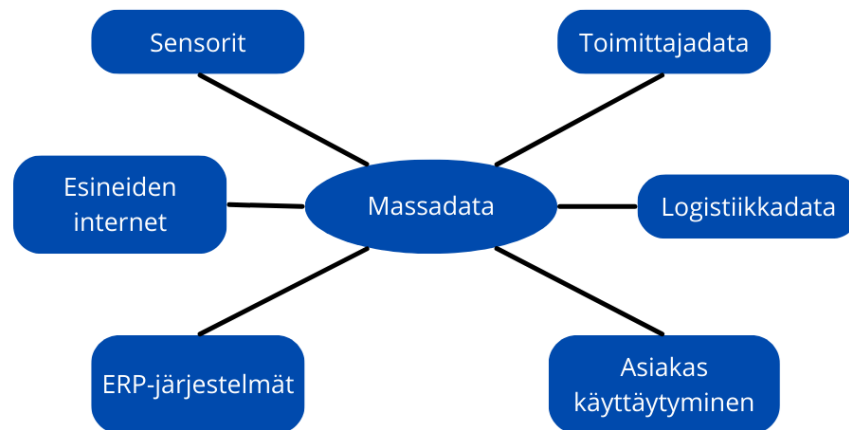
*Ohjaava analytiikka* vie ennakoivaa analytiikkaa pidemmälle ja vastaa kysymykseen "Mitä tulisi tehdä?". Sitä käytetään päätösten tukemiseen tai päätösten automatisointiin [8]. Ohjaava analytiikka ehdottaa optimaalisinta ratkaisua eri vaihtoehdoista, kun otetaan huomioon tiedossa olevat rajoitukset [9]. Tätä hyödyntämällä toimitusketjun hallinta nopeutuu, koska saadaan mahdolliset parhaat vaihtoehdot nopeasti jatkokäsittelyyn ja käyttöön.

Kaikkien näiden analyttisten mallien avulla yritykset saavat parannettua tehokkuuttaan, vähennettyä kustannuksia sekä parannettua asiakastyytyvyyttä, mikä edistää huomattavasti kilpailukykyä.

## 2.2 Toimitusketjujen massadata

Massadata on keskeinen käsite nykyaikaisessa toimitusketjun hallinnassa. Massadata viittaa valtaviin tietomääriin ja monimuotoisiin tietoihin, joita ei voida käsitellä perinteisillä hallintajärjestelmillä vaan niiden varastointiin ja hyödyntämiseen tarvitaan resursseja ja teknistä osaamista.

Massadatan haastavuus johtuu datan valtavasta määrästä, monimuotoisuudesta, keräämisen ja käsittelyn nopeudesta, sekä datan luotettavuudesta ja tarkkuudesta, jotka johtavat suureen laskentatehon tarpeeseen ja siten korkeampiin kustannuksiin



Kuva 2.3: Toimitusketjujen massadatan lähteitä

[2], [9]. Nämä investoinnit massadatan analysointiin kuitenkin tekevät hallinnasta tehokkaampaa ja tarkempaa, koska niiden avulla on mahdollista luoda ennusteita ja helpottaa ongelmakohtien paikantamista.

Toimitusketjujen massadataa voidaan kerätä esineiden internetin laitteista, ERP-järjestelmistä, toimitus- ja logistiikkadatasta, erilaisista sensoreista sekä asiakkaiden käyttäytymisestä, kuten kuvassa 2.3 on visualisoitu.

Luotavien ennusteiden avulla voidaan optimoida varastotasoja ja säästää resursseja ylivarastoinnilta tai parantaa asiakastyytyväisyyttä ennakkoiden kasvavaan kysyntään. Massadatan avulla voidaan myös arvioida ja tunnistaa riskejä toimitusketjun sisällä, kuten erilaisia häiriöitä, jotka näkyisivät tuotannon hidastumisena tai pysähtymisenä. Tämä mahdollistaa nopean reagoinnin ja strategisten toimenpiteiden suunnittelun ennen ongelmien syntymistä.

## 2.3 Tekoäly ja koneoppiminen

Tekoäly (engl. artificial intelligence, AI) ja koneoppiminen (engl. machine learning, ML) ovat tärkeässä roolissa nykyaikaisessa toimitusketjun kehityksessä. Tekoäly on laaja käsite, joka viittaa tietojärjestelmän kykyyn suorittaa tehtäviä, jotka vaativat

oppimista, päättelyä ja ongelmanratkaisua. Koneoppiminen on tekoälyn osa-alue, jonka avulla tietokoneet voivat oppia ja parantaa suorituksen tulosta sille annetusta datasta. Datasta on varmistuttava, että se on hyvä laatuista ja dataa on oltava riittävästi, jotta mahdollisten virheellisten tulosten ilmeneminen pysyy pienenä.

Nämä teknologiat mahdollistavat tehokkaan massadatan käsittelyn ja analysoinnin, jonka avulla voidaan saada merkittäviä etuja toimitusketjuihin. Koneoppimismallit pystyvät ennustamaan mahdollista tulevaa kysyntää ja asiakaskäyttäytymistä sekä optimoimaan toimitusketjuja ja kuljetus reittejä [5].

Tekoälyn ja koneoppimisen merkitys toimitusketjuissa tulee kasvamaan jatkuvasti, koska niitä integroidaan yhä syvemmälle eri toimitusketjun vaiheisiin. Yhdistämällä esineiden internetin ja tekoälyn teknologiat saadaan älykkäämpi ja joustavampi toimitusketju, joka mahdollistaa päätöksien teon reaaliaikaisella data-analyysillä. [5]

## 3 Toimitusketjujen optimointi

Toimitusketjun optimointi on liiketoiminnalle elintärkeä osa, jonka tavoitteena on parantaa toimitusketjun tehokkuutta, tuottavuutta, joustavuutta ja kykyä reagoida muutoksiin, jotka kaikki tehostavat yrityksen kilpailukykyä.

Monimutkaiset toimitusketjut sekä globaalit markkinat tekevät kuitenkin muutosten tekemisestä hidasta ja kankeaa, mikä lisää piiskavaikutuksen (engl. bullwhip effect) voimakkuutta, jossa pienetkin muutokset kysynnässä moninkertaistuvat toimitusketjujen eri vaiheissa aiheuttaen ylituotantoa, ylivarastointia ja resurssien hukkakäyttöä. Näihin ongelmiin on kehitetty dataohjautuvia strategioita, joiden avulla nämä voitaisiin ratkaista.

### 3.1 Toimitusketjujen tehokkuus

Tehokkaiden toimitusketjujen luominen on tärkeä tavoite toimitusketjun optimoinnissa. Yritykset etsivät jatkuvasti keinoja vähentää kustannuksia, parantaa kannattavuutta ja ylläpitää kilpailukykyään. Tehokkuuden parantamiseksi voidaan hyödyntää erilaisia strategioita. Massadata-analytiikka tarjoaa työkaluja, joiden avulla voidaan tunnistaa tehottomuuksia ja kehittää toimintaa kokonaisvaltaisesti. Toimitusketjun tehokkuutta voidaan tarkastella neljän keskeisen näkökulman kautta: prosessien laadun ja virheiden vähentäminen, varaston ja resurssien optimointi, logistiikan tehostaminen sekä yhteistyö ja tiedon jakaminen. Nämä strategiat ja niiden hyödyt on kerätty taulukkoon 3.1.

Strategia	Keskeiset hyödyt toimitusketjussa
6 Sigma (DMAIC)	Tunnistaa ja poistaa hukkaa sekä pullonkauloja, parantaa laatua ja vähentää virheitä.
Varastotason optimointi	Vähentää varastointikustannuksia, parantaa varaston kiertoa ja ehkäisee ylivarastointia.
Reitityksen ja aikataulutuksen optimointi	Vähentää kuljetuskustannuksia, säästää polttoainetta ja lyhentää toimitusaikoja.
Yhteinen alusta	Lisää tiedon läpinäkyvyyttä, tehostaa kommunikaatiota ja vähentää väärinkäsityksiä.

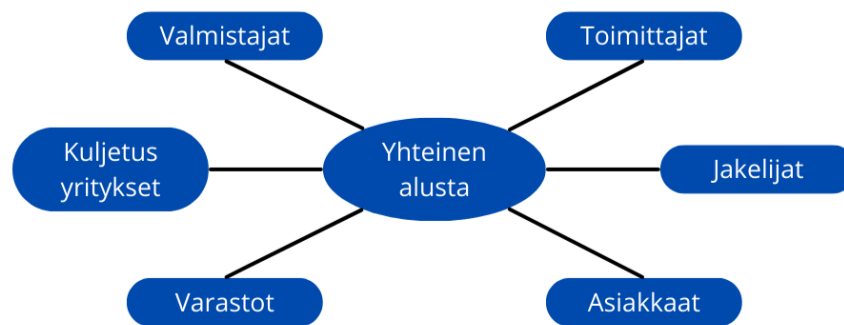
Taulukko 3.1: Toimitusketjujen tehokkuuden parantamisen strategioita

6 Sigma (engl. Six Sigma) on käytäntö, joka perustuu prosessien jatkuvaan kehittämiseen ja virheiden vähentämiseen. 6 Sigma perustuu DMAIC-malliin eli määrittelee (Define), mittaa (Measure), analysoi (Analyze), parantaa (Improve) ja ohjaa (Control). Massadata tukee näitä menetelmiä mahdollistamalla virheiden, häiriöiden ja pullonkaulojen tunnistamisen reaaliaikaisesti. Analytiikan avulla voidaan selvittää esimerkiksi poikkeamien syitä ja kohdentaa kehitystoimia tarkemmin. Käytäntö tehostaa hukkaan menevien resurssien ja pullonkaulojen tunnistamista ja vähentämistä. [10], [11]

Optimoimalla varastotasoja ja prosesseja voidaan vähentää varastointikustannuksia ja parantaa varaston kiertoa. Massadata mahdollistaa kysynnän ennustamisen historiallisten tietojen ja reaaliaikaisen markkinadatan avulla, jolloin varastotaso voidaan sovittaa tarkemmin tarpeisiin. Tämä vähentää ylivarastointia ja ehkäisee tuotepuutteita [9].

Reitityksen ja aikataulutuksen optimoinnilla voidaan vähentää kuljetuskustannuksia ja parantaa toimitusprosessin tehokkuutta. Reitityksen ja aikataulutuksen optimointi voidaan toteuttaa koneoppimisen avulla, jossa ajoneuvot toimivat ”agentteina” ja keräävät tietoa kuljetusta reitistä ja sen tuloksista. Näin voidaan laskea tehokkaimmat kuljetusreitit, säästää polttoainetta ja lyhentää toimitusaikoja. [12]

Sujuva yhteistyö eri toimijoiden, kuten toimittajien, valmistajien, varastojen ja



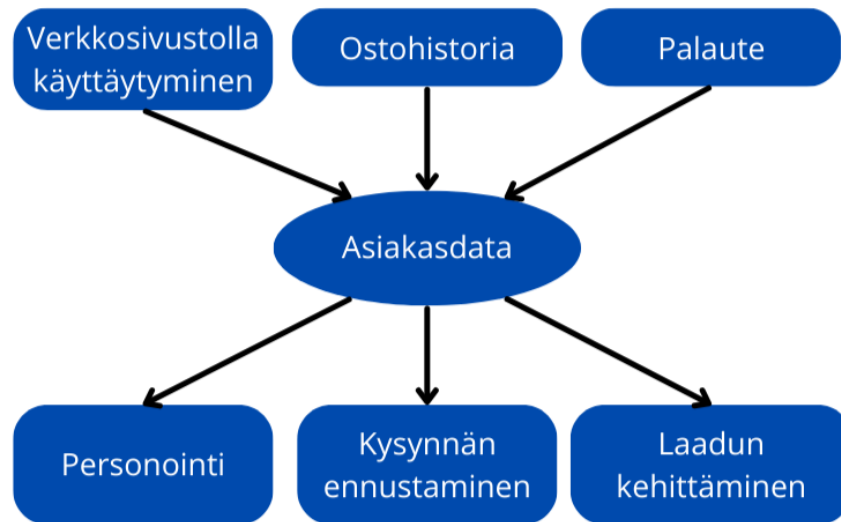
Kuva 3.1: Esimerkki yhteiselle alustalle liitettävistä sidosryhmistä

jakelijoiden välillä on tehokkuuden kannalta välttämätöntä. Toimitusketjun sidosryhmien kommunikaatiota ja datan läpinäkyvyyttä voidaan parantaa huomattavasti kehittämällä heille yhteinen alusta. Yhteisten digitaalisten alustojen avulla voidaan jakaa tietoa läpinäkyvästi ja reaaliaikaisesti. Integroimalla toimitusketjujen eri osat ja parantamalla tiedonjakamista voidaan paremmin välttyä väärinkäsityksiltä. [1]. Kuvassa 3.1 on esitetty esimerkki yhteiselle alustalle liitetyistä sidosryhmistä.

## 3.2 Toiminnan joustavuus ja reagointikyky

Toiminnan joustavuudella tarkoitetaan yrityksen kykyä mukautua muuttuviin olosuhteisiin kuten kysynnän muutoksiin tai toimittajien häiriöihin. Joustavalla toimitusketjulla pystytään reagoimaan nopeasti, mikä on elintärkeää nykyisessä nopeasti muuttuvassa liiketoiminta ympäristössä. Joustavuuden parantamiseksi voidaan hyödyntää erilaisia strategioita, kuten reaaliaikaista tiedonkeruuta, ketteriä prosesseja ja monipuolisia toimittajaverkostoja.

Esineiden internetin ja massadata-analytiikan avulla voidaan kerätä ja analysoida dataa reaaliajassa. Tämä mahdollistaa nopeamman päätöksenteon, koska poikkeamat ja trendit voidaan havaita aikaisessa vaiheessa. Reaaliaikainen näkyvyys toimitusketjuun mahdollistaa nopeamman päätöksenteon sekä häiriöiden havaitsemisen ja niihin reagoimisen jo ennen kuin ne ehtivät vaikuttaa laajemmin toimitus-



Kuva 3.2: Asiakasdatan lähteet ja hyödyntämisen kohteet

ketjun toimintaan [4].

Ketterät toimitusketjut hyödyntävät joustavia prosesseja, joiden avulla voidaan mukautua vaihteleviin tilanteisiin tehokkaasti. Menetelmät kuten Lean ja 6 Sigma tukevat prosessien jatkuvaa kehittämistä ja häiriöiden minimointia. Lean strategia keskittyy ylimääräisten toimintojen poistamiseen [11]. Näiden avulla toimitusketju saadaan toimimaan tasaisemmin ja tehokkaammin.

### 3.3 Asiakasdatan hyödyntäminen

Asiakastiedon kerääminen ja analysointi on suuri etu toimitusketjujen kehittämisessä. Asiakasdataa voidaan kerätä useista eri lähteistä, kuten ostohistoriasta, verkkosivustolla käyttäytymisestä ja asiakaspalautteista. Näiden tietojen perusteella yritykset voivat syventää ymmärrystään asiakaskäyttäytymisestä ja reagoida nopeasti muuttuviin tarpeisiin. [8]

Ostodatan avulla voidaan tunnistaa kausivaihteluita ja luoda tarkempia kysyntäennusteita. Tämä tukee varastotason optimointia sekä tuotanto- ja logistiikka-

suunnittelua. Ennustetarkkuuden paraneminen voi vähentää ylivarastointia ja estää tuotteiden loppumisen kriittisillä hetkillä [9].

Lisäksi asiakaspalautteiden analysointi voi tuoda esiin laatu- tai palveluongelmia. Tekstianalyysin ja koneoppimismallien avulla voidaan automaattisesti luokitella palautteita ja reagoida nopeasti toistuviin ongelmiin. Tämä parantaa asiakaskokemusta ja tukee laadun kehittämistä [8].

Kokonaisuudessaan asiakasdatan hyödyntäminen tukee toimitusketjun optimointia strategisesti, ennakoimalla kysyntää, kohdentamalla resursseja tehokkaammin ja vahvistamalla asiakassuhteita. Kuvassa 3.2 on havainnollistettu asiakasdatan lähteitä ja hyödyntämisen kohteita.

## 4 Massadatala tavoitellut hyödyt

Massadata-analytiikka tarjoaa merkittäviä etuja toimitusketjujen hallinnassa. Sen avulla voidaan parantaa prosessien ennustettavuutta, resurssien käytön tehokkuutta ja riskeihin reagointia. Suurten ja monimuotoisten datamassojen analysointi mahdollistaa tarkemman päätöksenteon, joka puolestaan parantaa toimitusketjun ennustettavuutta, reagointikykyä ja resurssien käytön tehokkuutta.

### 4.1 Päätöksenteon nopeuttaminen

Päätöksenteon kulkua voidaan kuvata vaiheittain etenevänä prosessina, joka alkaa datan keräämisestä ja etenee analyysin ja visualisoinnin kautta päätöksentekoon, kuten kuvassa 4.1.

Prosessien automatisointi, kuten varaston täydennyksen tai tilausprosessien hallinta, voi merkittävästi nopeuttaa toimintaa ja vähentää inhimillisten virheiden riskiä. Järjestelmät, jotka esimerkiksi hyödyntävät massadata-analytiikkaa jälkitoimitusten ennustamiseen ja varastopäätösten optimointiin, voivat ennaltaehkäistä varastopuutteita ja parantaa saatavuutta [9]. Tällaiset ratkaisut mahdollistavat toimi-



Kuva 4.1: Tietoon perustuva päätöksen teko

tusprosessien tehokkaamman hallinnan ja tukevat kustannustehokkuutta.

Reaaliaikaiset raportointityökalut ja hallintapaneelit tukevat päätöksentekoa tarjoamalla jatkuvan näkyvyyden keskeisiin mittareihin, kuten varastotasoihin, toimitusaikoihin ja asiakastilauksiin. Tämä parantaa organisaation kykyä reagoida nopeasti poikkeamiin ja tukee jatkuvaa parantamista. Dataohjautuva toimintamalli, yhdistettynä teknologisiin kyvykkyyksiin, voi vahvistaa organisaation sopeutumiskykyä ja rakentaa pitkäjänteistä kilpailuetua [13].

## 4.2 Reaaliaikainen seuranta ja ennustaminen

Reaaliaikainen seuranta ja ennustaminen ovat keskeisiä tekijöitä toimitusketjun hallinnassa erityisesti toimintaympäristössä, jossa muutosnopeus ja epävarmuus ovat kasvaneet. Nopean tiedonkulun ja analyysin avulla yritykset voivat tunnistaa poikkeamia, ennakoida kysynnän vaihteluita ja tehdä ajoissa korjaavia toimenpiteitä.

Modernit teknologiat, kuten esineiden internet ja RFID-tunnisteet (engl. radio frequency identification), mahdollistavat jatkuvan tilannetiedon keräämisen tuotannosta, varastoista ja kuljetuksista. Näiden avulla voidaan seurata esimerkiksi inventaariotilannetta ja automatisoida materiaalitäydennyksiä, kun resurssien määrä laskee tietyn rajan alle [4], [5], [8]. Tämä vähentää tuotannon keskeytyksiä ja parantaa toimitusvarmuutta.

Reaaliaikaisten raporttien saaminen auttaa yrityksiä tunnistamaan pullonkauloja tai viivästyksiä. Massadataa saadaan ERP-järjestelmistä varastojentilanteisiin, kuljetusten edistymiseen, tuotantoprosessien tiloihin, läpimenoaikoihin, aiempiin tilauksiin ja tilausten kustannuksiin [9]. Tämä tieto voidaan visualisoida hallintapaneelisiin, joiden avulla yritysjohto voi nopeasti havaita poikkeamat ja ryhtyä toimenpiteisiin.

Ennakoivan analytiikan avulla voidaan tunnistaa pitkänaikavälin trendejä, kuten sesonkiaikojen kasvavaa kysyntää. Kysynnän muutosten ollessa tiedossa ennen

niiden tapahtumista voidaan varastotasoja ja tuotantoja optimoida niiden mukaisesti. Hyödyntämällä teknologiaa, kuten RFID-tunnisteita toimitusketjuihin niin olisi mahdollista tilata automaattisesti lisää resursseja niiden ollessa vähissä [5]. Näin pystyttäisiin vähentämään toiminnan pysähtymistä resurssien odottamisen vuoksi.

### 4.3 Riskien hallinta

Toimitusketjut voivat altistua useille eri riskitekijöille, kuten toimitusviiveille, resurssien puutteelle, tuotantokatkoksille ja kyberturvallisuushille. Resilienssin eli häiriönsietokyvyn vahvistaminen on noussut keskeiseksi teemaksi toimitusketjujen hallinnassa. Massadata-analytiikka tarjoaa tehokkaita keinoja riskien tunnistamiseen, ennakkointiin ja hallintaan.

Massadatan avulla voidaan analysoida toimittajiin, logistiikkareitteihin ja asiakasmarkkinoihin liittyviä historiallisia ja reaaliaikaisia tietoja. Näin voidaan tunnistaa esimerkiksi toistuvat toimitusviiveet, epäluotettavat toimittajat tai poikkeamat normaalista toiminnasta. Toimittajien valintaprosessissa voidaan hyödyntää laajoja tietokantoja ja mittareita, jotka arvioivat toimittajien toimitusvarmuutta ja riskejä [8].

Datan eheys ja luotettavuus ovat keskeisiä edellytyksiä tehokkaalle riskienhallinnalle. Esimerkiksi reaaliaikaisten sensorijärjestelmien ja yritysten ERP-jestelmistä saadun datan ristiinvalidointi parantaa kykyä havaita virheitä ja epäloogisia tietoja ennen kuin ne vaikuttavat toimintaan [9]. Lisäksi riskienhallintaa voidaan tehostaa yhdistämällä historiallinen ja reaaliaikainen data ennustemalleihin, jotka tunnistavat mahdollisia häiriöitä, kuten kuljetusviiveitä tai epätavallisia tilausmääriä. Tämä parantaa toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja luotettavuutta, sillä analytiikka mahdollistaa ongelmien havaitsemisen proaktiivisesti sen sijaan, että niihin reagoitaisiin vasta jälkikäteen [5].

Massadataa voidaan hyödyntää myös skenaariopohjaiseen riskianalyysiin, jossa

simuloidaan erilaisia häiriötilanteita ja arvioidaan niiden vaikutuksia toimitusketjuun. Näin yritykset voivat suunnitella toimenpiteitä, kuten vaihtoehtoisia kuljetusreittejä tai varatoimittajia, ja vahvistaa toimitusketjunsä joustavuutta [14].

# 5 Case: Satamien digitaaliset kaksoset

Käsiteltyjä aiheita ja teknologioita voidaan konkreettisesti käyttää esimerkiksi digitaalisten kaksosten luomiseen. Digitaalinen kaksonen on virtuaalinen malli, joka vastaa fyysistä järjestelmää tai prosessia. Sen avulla voidaan seurata, analysoida ja simuloida fyysisen kohteen toimintaa reaaliaikaisen datan perusteella. Digitaalinen kaksonen ei ole pelkkä staattinen mallinnus, vaan jatkuvasti päivittyvä järjestelmä, joka hyödyntää massadataa, IoT-sensoreita ja koneoppimista päätöksenteon tukena. [1]

Digitaalisten kaksosten kykyä simuloida järjestelmien toimintaa on kutsuttu "kvantti-  
tihyypiksi esille tulevien käytösten löytämisessä ja ymmärtämisessä"[1]. Digitaalisten kaksosten avulla satamat pystyvät mallintamaan koko toimintaketjunsä, kuten alusten saapumisen, rahdin purkamisen, kuljetusten jatkokäsitteyn ja varastoinnin. Virtuaalisen mallin avulla voidaan simuloida esimerkiksi eri sääolosuhteiden, henkilöstöresurssien tai aikataulumuutosten vaikutuksia sataman toimintaan ilman, että fyysistä järjestelmää tarvitsee muuttaa.

Käytännössä digitaalinen kaksonen kerää ja hyödyntää dataa useista eri lähteistä, kuten IoT-sensoreista, RFID-tunnisteista, GPS-laitteista ja ERP-järjestelmistä [8]. Esimerkiksi konttien sijaintitiedot, nostureiden toimintadata ja alusten saapumissajat yhdistetään analytiikkajärjestelmässä, joka muodostaa reaaliaikaisen tilanne-

kuvan koko satamasta. Tätä dataa voidaan analysoida koneoppimisen avulla ennusteiden tekemiseksi. Esimerkiksi alusten viivästymisriskien arvioimiseksi, resurssien uudelleenallokoinniksi tai ruuhkien ennakoimiseksi [5]. Näin voidaan tehdä päätöksiä proaktiivisesti, mikä lisää operatiivista tehokkuutta ja vähentää viiveistä aiheutuvia kustannuksia.

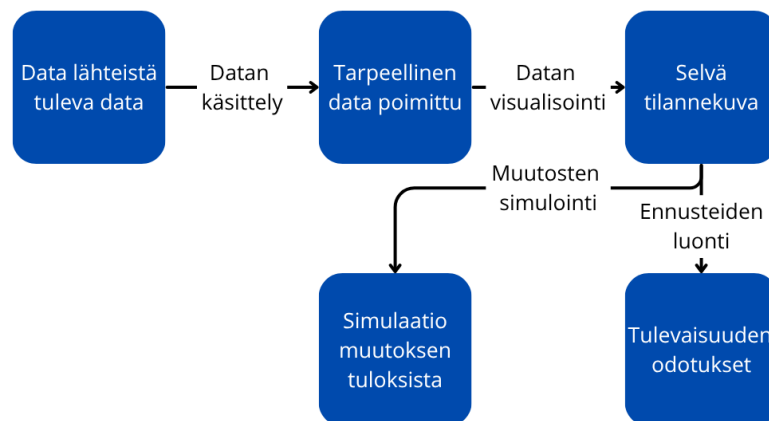
Digitaalinen kaksonen ei kuitenkaan ole pelkästään tekninen ratkaisu, vaan myös strateginen työkalu. Sen avulla voidaan parantaa läpinäkyvyyttä, lisätä yhteistyötä eri toimijoiden välillä ja vahvistaa toimitusketjujen resilienssiä [8]. Kun data visualisoidaan hallintapaneeleihin ja reaaliaikaisiin raportointityökaluihin, päätöksenteko muuttuu tietopohjaiseksi ja nopeammaksi. Tämä tukee myös toimitusketjujen ohjaavaa analytiikkaa, jossa järjestelmä ei ainoastaan analysoi tilannetta, vaan myös ehdottaa optimaalisia toimintavaihtoehtoja [9].

Taulukossa 5.1 on esitetty vertailu perinteisen satamatoimintamallin ja digitaalisen kaksosen hyödyntävän järjestelmän välillä. Vertailu havainnollistaa, miten digitaalinen kaksonen muuttaa toimintatapoja datan hallinnan, riskienhallinnan ja päätöksenteon näkökulmista.

Ominaisuus	Perinteinen toimintamalli	Digitaalinen kaksonen
Datan keruu	Hajautettua ja manuaalista	Reaaliaikaista IoT- ja RFID-sensoreilla
Toiminnan näkyvyys	Rajoittunut, usein viiveellinen	Kattava ja reaaliaikainen näkymä koko toimitusketjuun
Riskienhallinta	Reaktiivista, perustuu aiempaan kokemukseen	Ennakoivaa, perustuu massadata-analytiikkaan ja simulaatioihin
Kustannustehokkuus	Manuaalinen optimointi	Automaattinen optimointi koneoppimisen avulla
Päätöksenteko	Ihmiskeskeinen ja viivästynyt	Dataohjautuva ja dynaaminen

Taulukko 5.1: Digitaalisen kaksosen hyödyt toimitusketjussa

Digitaalisen kaksosen rakentaminen tapahtuu vaiheittain. Ensin kerätään ja in-



Kuva 5.1: Digitaalisen kaksosen toiminta

tegroidaan data eri lähteistä, minkä jälkeen luodaan virtuaalinen malli prosesseista. Tämän jälkeen malliin liitetään analytiikka- ja koneoppimiskomponentteja, jotka mahdollistavat ennusteiden ja optimointien suorittamisen reaaliaikaisesti [5]. Lopuksi digitaalinen kaksonen kytketään takaisin fyysiseen järjestelmään, jolloin se voi ohjata toimintoja automaattisesti tai tukea työntekijöiden päätöksentekoa.

Kuvassa 5.1 on esitetty digitaalisen kaksosen toiminnallinen prosessi, jossa dataa kerätään, käsitellään ja hyödynnetään simulaatioiden ja ennusteiden kautta päätöksenteossa toimitusketjussa.

## 6 Yhteenveto

Tämä tutkielma on tarkastellut, kuinka massadata-analytiikkaa voidaan hyödyntää toimitusketjujen optimoinnissa ja kustannusten vähentämisessä. Työssä käytiin läpi teollisuuden 4.0 liittyviä teknologioita ja niiden tarjoamia mahdollisuuksia, kuten esineiden internetiä, tekoälyä, koneoppimista ja reaaliaikaista datankeruuta. Näiden teknologioiden avulla voidaan kerätä ja hyödyntää massadataa tehokkaammin toimitusketjujen eri osa-alueilla. Työssä pyrittiin vastaamaan kahteen tutkimus kysymykseen:

1. Kuinka massadata-analytiikka voi parantaa toimitusketjun suorituskykyä ja kustannustehokkuutta?

Massadata-analytiikka parantaa toimitusketjun suorituskykyä ja kustannustehokkuutta optimoimalla varastotasoja, ennakoimalla kysyntää ja tunnistamalla prosessien pullonkauloja. Analytiikan eri tyyppien avulla yritykset voivat tehdä tietopohjaisia päätöksiä nopeammin ja tehokkaammin, mikä vähentää resurssien hukkaan menemistä ja parantaa toimituskykyä. Lisäksi dataohjautuva prosessien hallinta tarjoavat yrityksille työkaluja prosessien jatkuvaan kehittämiseen ja kustannusten hallintaan.

2. Miten massadata-analytiikkaa voidaan käyttää toimitusketjun riskienhallinnassa ja häiriöiden ennakoimisessa?

Massadata-analytiikka tarjoaa keinoja tunnistaa riskejä jo ennen niiden toteutumista. Kun historiallista dataa hyödynnetään koneoppimismalleissa, voidaan havai-

ta piileviä yhteyksiä ja ennakoida häiriöitä, kuten toimitusviiveitä, resurssipuutteita tai markkinashokkeja. Näitä havaintoja voidaan hyödyntää reaaliaikaisen datan kanssa, jolloin järjestelmä voi ehdottaa ennakoivia toimenpiteitä riskien lieventämiseksi. Teknologiat kuten sensorijärjestelmät ja ERP-järjestelmät parantavat datan eheyttä ja toimitusketjun luotettavuutta. Analytiikan avulla voidaan myös simuloida erilaisia skenaarioita ja testata toimintamalleja muuttuvissa olosuhteissa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että massadata-analytiikka ei ole vain teknologinen työkalu, vaan keskeinen strateginen voimavara. Sen tehokas hyödyntäminen mahdollistaa toimitusketjujen kokonaisvaltaisen optimoinnin, kustannussäästöjen saavuttamisen sekä toimintaympäristön muutoksiin sopeutumisen. Yritykset, jotka kykenevät hyödyntämään analytiikkaa tehokkaasti ja reaaliaikaisesti, voivat parantaa merkittävästi kilpailukykyään.

## 7 Pohdinnat

Massadata-analytiikan hyödyntäminen toimitusketjujen hallinnassa tarjoaa etuja, kuten lisääntynyttä läpinäkyvyyttä, parempaa reagointikykyä ja tietopohjaista päätöksentekoa. Reaaliaikainen seuranta ja analytiikka auttavat yrityksiä tunnistamaan pullonkaulat ajoissa, optimoimaan varastotasoja ja vastaamaan kysynnän muutoksiin ennakoivasti.

Näiden hyötyjen saavuttaminen ei kuitenkaan ole yksinkertaista, koska se vaatii merkittäviä investointeja. Yrityksen voi olla tarpeen päivittää infrastruktuurinsa, johon kuuluu esineiden internetin laitteet, sensorit ja tietojärjestelmät, jotka tukevat teollisuus 4.0 ympäristön datavetoista toimintaa.

Toinen haaste on osaamisen puute. Datavetoisten järjestelmien suunnittelu, käyttöönotto ja ylläpito vaativat korkeaa teknologista osaamista. Yritysten onkin päätettävä, kehittävätkö ne tarvittavaa osaamista sisäisesti vai ulkoistavatko järjestelmäkehityksen ja analytiikan palveluntarjoajille.

Tulevaisuudessa kehitys siirtyy kohti teollisuus 5.0 ajattelua, jossa korostuvat ihmisen ja koneen yhteistyö sekä entistä syvempi tekoälyn, koneoppimisen ja virtuaalitekniikoiden integrointi tuotantoon ja logistiikkaan.

Voidaan todeta, että vaikka massadata-analytiikka ja siihen liittyvät teknologiat avaavat merkittäviä mahdollisuuksia toimitusketjujen optimoinnissa, niiden täysimittainen hyödyntäminen edellyttää pitkäjänteistä kehittämistä, investointeja ja kokonaisvaltaista muutosjohtamista.

# Lähdeluettelo

- [1] R. Klar, A. Fredriksson ja V. Angelakis, "Digital Twins for Ports: Derived From Smart City and Supply Chain Twinning Experience", *IEEE Access*, vol. 11, s. 71 777–71 799, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3295495.
- [2] D. Zhao, "Big Data-Driven Digital Economic Industry Based on Innovation Path of Manufacturing", *IEEE Access*, vol. 12, s. 24 104–24 115, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3365716.
- [3] S. Kediya, R. Santhanam, R. A. Kayande, A. Sharma, Y. Sure ja V. Disawal, "Smart Supply Chain Management and Big Data Analysis Using Machine Learning in Industry 4.0", teoksessa *2023 International Conference on Communication, Security and Artificial Intelligence (ICCSAI)*, 2023, s. 500–505. DOI: 10.1109/ICCSAI59793.2023.10421144.
- [4] M. Zheng, S. Zhang, Y. Zhang ja B. Hu, "Construct Food Safety Traceability System for People's Health Under the Internet of Things and Big Data", *IEEE Access*, vol. 9, s. 70 571–70 583, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3078536.
- [5] W. Wang, "A IoT-Based Framework for Cross-Border E-Commerce Supply Chain Using Machine Learning and Optimization", *IEEE Access*, vol. 12, s. 1852–1864, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3347452.
- [6] R. Rakholia, A. L. Suárez-Cetrulo, M. Singh ja R. Simón Carbajo, "Advancing Manufacturing Through Artificial Intelligence: Current Landscape, Perspecti-

- ves, Best Practices, Challenges, and Future Direction”, *IEEE Access*, vol. 12, s. 131 621–131 637, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3458830.
- [7] V. Kumar C ja P. Selvaprabhu, ”An Examination of Distributed and Decentralized Systems for Trustworthy Control of Supply Chains”, *IEEE Access*, vol. 11, s. 137 025–137 052, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3338739.
- [8] C. Stahl, N. Stein ja C. M. Flath, ”Analytics Applications in Fashion Supply Chain Management—A Review of Literature and Practice”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 70, nro 4, s. 1258–1282, 2023. DOI: 10.1109/TEM.2021.3075936.
- [9] P. Hajek ja M. Z. Abedin, ”A Profit Function-Maximizing Inventory Backorder Prediction System Using Big Data Analytics”, *IEEE Access*, vol. 8, s. 58 982–58 994, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2983118.
- [10] H. Yang et al., ”Six-Sigma Quality Management of Additive Manufacturing”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 109, nro 4, s. 347–376, 2021. DOI: 10.1109/JPROC.2020.3034519.
- [11] V. Ramakrishnan, N. Ramasamy, M. Dev Anand ja N. Santhi, ”Supply Chain Management Efficiency Improvement in the Automobile Industry Using Lean Six Sigma and Artificial Neural Network”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 71, s. 3278–3294, 2024. DOI: 10.1109/TEM.2023.3332147.
- [12] L. Ren, X. Fan, J. Cui, Z. Shen, Y. Lv ja G. Xiong, ”A Multi-Agent Reinforcement Learning Method With Route Recorders for Vehicle Routing in Supply Chain Management”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, nro 9, s. 16 410–16 420, 2022. DOI: 10.1109/TITS.2022.3150151.
- [13] A. Vafaei-Zadeh, J. Madhuri, H. Hanifah ja R. Thurasamy, ”The Interactive Effects of Capabilities and Data-Driven Culture on Sustained Competitive

Advantage”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 71, s. 8444–8458, 2024. DOI: 10.1109/TEM.2024.3355775.

- [14] C. Jiang, F.-Y. Wang, M. Zhou, A. K. Nandi ja G. Liu, ”Guest Editorial: Special Issue on Big Data and Computational Social Intelligence for Guaranteed Financial Security”, *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 11, nro 2, s. 1551–1555, 2024. DOI: 10.1109/TCSS.2024.3373929.