



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Jäljitettävät ja älykkäät toimitusketjut elintarvikealalla

Tietojärjestelmätieteen kandidaatintutkielma

Laatija:

Miika Summanen

Ohjaaja:

FT Kai Kimppa

10.12.2025

Turku

Opiskelijan lausunto tekoölyn käytöstä tähän tutkielmaan liittyen:

En ole käyttänyt tekoölyä hyödyntäviä työkaluja tätä tutkielmaa kirjoittaessani.

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

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

Kandidaatintutkielma

Oppiaine: Tietojärjestelmätiede

Tekijä: Miika Summanen

Otsikko: Jäljitettävät ja älykkäät toimitusketjut elintarvikealalla

Ohjaaja: FT Kai Kimppa

Sivumäärä: 30 + 1

Päivämäärä: 10.12.2025

Tiivistelmä

Elintarvikealan toimitusketjut ovat kriittisiä ruokaturvan ja talouden kannalta, mutta niiden monimutkainen ja globaali luonne altistaa ne häiriöille. Väestönkasvu, digitalisaatio ja kulutustottumusten muutos lisäävät painetta kehittää toimitusketjuja, jotka ovat läpinäkyviä, jäljitettäviä ja tehokkaita. Teknologian rooli korostuu tässä murroksessa, sillä tietojärjestelmät ja automaatoratkaisut nähdään keskeisinä keinoina parantaa resilienssiä ja vähentää hävikkiä. Tutkielma rajautuu tarkastelemaan teknologisia ratkaisuja ja niiden käyttöönottoon liittyviä haasteita elintarvikealan toimitusketjuissa.

Tutkimuskysymykset olivat: Mitä tietojärjestelmiä ja teknologioita hyödynnetään elintarvikealan nykyisissä ja tulevaisissa toimitusketjuissa? Miten nämä ratkaisut vaikuttavat toimitusketjujen resilienssiin, jäljitettävyyteen ja tehokkuuteen? Mitä mahdollisuuksia tai haasteita teknologian käyttöönotto luo alan toimijoille? Näiden kysymysten avulla tutkielma pyrkii muodostamaan kokonaiskuvan siitä, miten teknologia muuttaa toimitusketjujen hallintaa ja millaisia esteitä sen laajamittaiselle hyödyntämiselle on.

Tutkimus toteutettiin systemaattisena kirjallisuuskatsauksena Scopus- ja Google Scholar -tietokannoista sekä täydentävänä markkinakatsauksena ERP-järjestelmien toimittajien verkkosivuilta. Hakustrategia perustui alan keskeisiin käsitteisiin, ja lopulliseen analyysiin valittiin 25 lähdettä, jotka täyttivät relevanssi- ja laatuvaatimukset. Lisäksi hyödynnettiin Statistan tilastoaineistoa alan trendeistä ja markkinanäkymistä. Aineisto tarjosi sekä teoreettisen että käytännön näkökulman teknologioiden rooliin ja käyttöönoton esteisiin.

Keskeisiä ratkaisuja ovat toiminnanohjausjärjestelmät, varastohallintajärjestelmät ja päätöksenteontukijärjestelmät, joita täydentävät IoT-laitteet, RFID-teknologia, sensoriverkot, massadata-analytiikka, tekoäly ja lohkoketju. Nämä teknologiat parantavat jäljitettävyyttä, nopeuttavat takaisinvetoprosesseja ja mahdollistavat enakoivan ohjauksen, mutta käyttöönottoa hidastavat osaamisvaje, muutosvastarinta, integraatiohaasteet ja korkeat kustannukset. Tuloksena voidaan todeta, että teknologia ei ole enää pelkkä tukityökalu, vaan strateginen tekijä, joka määrittää elintarvikealan toimitusketjujen kilpailukyvyn ja kestävyuden tulevaisuudessa.

Avainsanat: elintarvikealan toimitusketju, ruokajärjestelmä, jäljitettävyys, resilienssi, digitalisaatio, ERP, RFID, massadata, tekoäly, lohkoketju

SISÄLLYS

1	Johdanto	6
1.1	Lähteiden haku	7
1.2	Tutkielman rakenne	8
2	Elintarvikealan erityispiirteet ja muutosvoimat	10
3	Elintarvikealan tietojärjestelmät	13
3.1	Toiminnanohjausjärjestelmät	14
3.2	Nykyjärjestelmien käytön kipupisteet	16
4	Tulevaisuuden elintarvikkeiden toimitusketju: data, järjestelmät ja hallinta yhteentoimivana kokonaisuutena	18
4.1	Havainnointi	18
4.2	Integraatio	19
4.3	Analytiikka	20
4.4	Toimeenpano ja hallinta	21
5	Teknologian käyttöönottoon liittyvät haasteet	23
5.1	Muutosvastarinta ja osaamisen puute	23
5.2	Integraatio haasteet, yhteensopimattomat järjestelmät ja datan hajanaisuus	24
5.3	Korkeat kustannukset	24
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	26
	Lähteet	28
	Liitteet	31

KUVIOT

Kuvio 1 Lähteiden haku ja valinta	8
Kuvio 2 Elintarvikealan toimitusketjujen muutosvoimien ja tietojärjestelmien suhde (Misra ym., 2022; Yadav ym., 2022)	12

TAULUKOT

Taulukko 1: Toiminnanohjausjärjestelmät elintarvikealan toimitusketjuille	15
---	----

1 Johdanto

1.1 Motivointi

Elintarvikealan toimitusketjut ovat kriittisiä ruokaturvan ja talouden kannalta, mutta ne ovat monimutkaisia ja alttiita häiriöille. Yhdistyneiden Kansakuntien mukaan kolmannes maailman ruoasta menee hukkaan, mikä merkitsee noin 750 miljardin dollarin taloudellista menetystä (FAO, 2017). Tehottomuus aiheuttaa suuren taloudellisen, ympäristö- ja sosiaalisen kuormituksen. Ongelma on vasta skaalautumassa. Vuosina 2012–2050 ruoan tarpeen odotetaan kasvavan 50 %. (FAO, 2017). Yadav ym., (2022) esittävät, että ongelman ratkaisuksi teknologia on avainroolissa. Tämä tutkielma rajataan teknisten ratkaisujen sekä järjestelmien tarkasteluun, toimitusketjujen hallintaan ja erityisesti niiden käyttöönottoon liittyviin haasteisiin ja mahdollisuuksiin.

Toiminnanohjausjärjestelmä (engl. enterprise resource planning, ERP) muodostaa elintarvikealan toimitusketjujen hallinnan ytimen. ERP:n keskeinen tehtävä on integroida yrityksen eri toiminnot yhdeksi kokonaisuudeksi. Elintarvikealan monimutkaisen prosessien takia toiminnanohjaukseen on tarve liittää erikoistuneita järjestelmiä kuten, päätöksentekijärjestelmiä (engl. decision support system, DSS), tuotannonohjausjärjestelmiä (engl. manufacturing execution system, MES) ja varastohallintajärjestelmiä (engl. warehouse management system, WMS). Monille yrityksille järjestelmien hankinta ja käyttö on vaikea, joskus jopa mahdoton prosessi. Tämän takia esimerkiksi riittämätön reaaliaikainen seuranta ja tiedon integrointi voivat viivästyttää takaisinvetoprosesseja, mikä johtaa merkittäviin taloudellisiin tappioihin ja kuluttajien luottamuksen horjumiseen. Ohjelmistoratkaisujen ohella merkittävä rooli on fyysisellä laitteistolla, kuten sensoreilla, esineiden internet laitteilla (engl. Internet of things, IoT) ja automaatioteknologioilla. (Misra ym., 2022.)

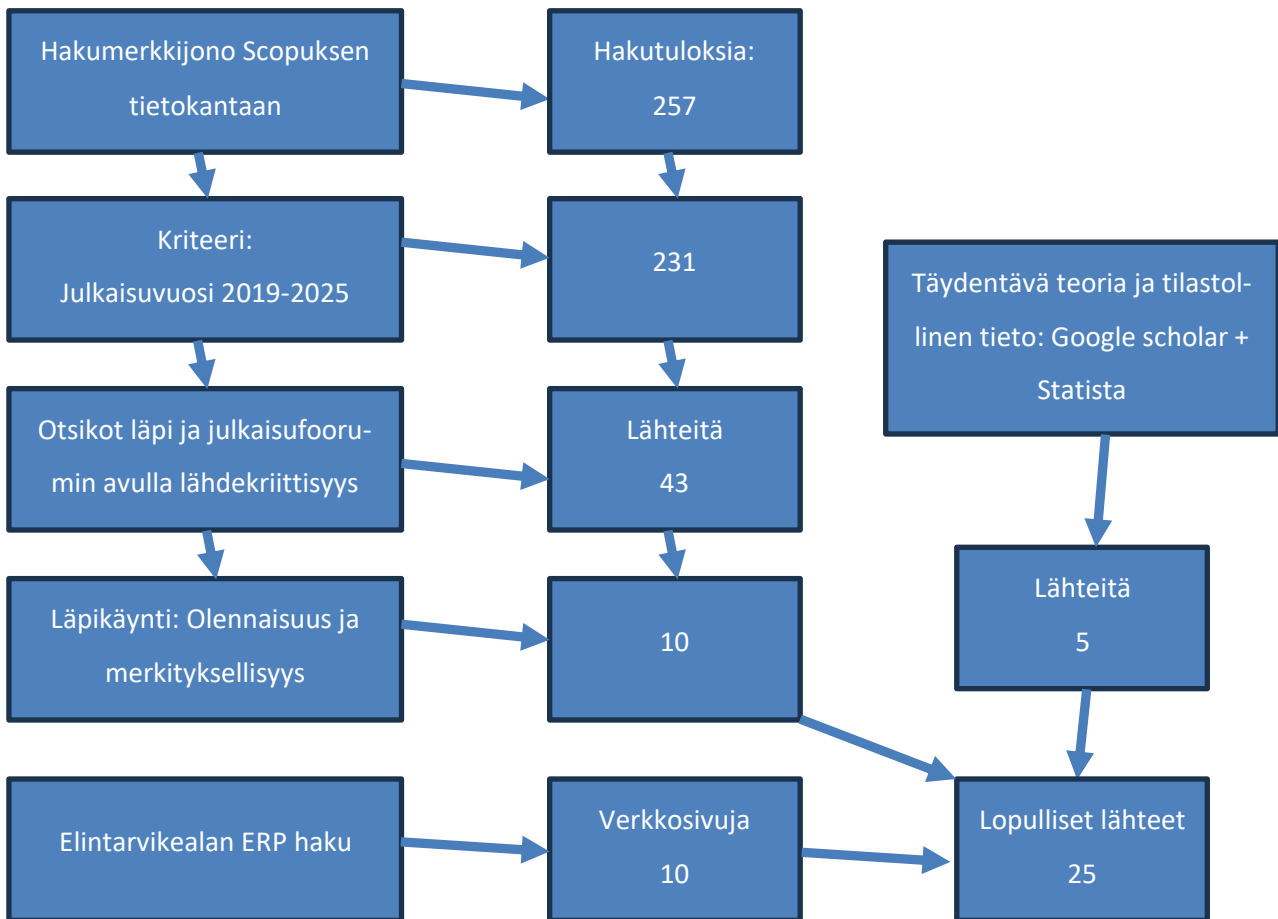
Tutkimuskysymykset:

1. Mitä tietojärjestelmiä ja teknologiaa hyödynnetään elintarvikealan nykyisissä ja tulevaisissa toimitusketjuissa?
2. Miten nämä ratkaisut vaikuttavat toimitusketjujen resilienssiin, jäljitettävyyteen ja tehokkuuteen?
3. Mitä mahdollisuuksia tai haasteita teknologian käyttöönotto luo elintarvikealla ja sen toimijoille?

Tutkielman tarkastelun kannalta keskeiset käsitteet ovat resilienssi, jäljitettävyys ja tehokkuus. Resilienssi tarkoittaa toimitusketjun adaptiivista kyvykkyyttä valmistautua odottamattomiin tapahtumiin, reagoida häiriöihin ja palautua niistä siten, että toiminnan jatkuvuus säilyy halutulla tasolla rakenteen ja toimintojen hallinnan näkökulmasta (Ponomarov & Holcomb, 2009). Jäljitettävyys viittaa kykyyn seurata tuotteen liikkumista toimitusketjussa ja todentaa sen alkuperä ja ominaisuudet luotettavasti, mikä on keskeistä elintarviketurvallisuuden, laadun ja kriisinhallinnan kannalta (Dabbene ym., 2014; FAO, 2006). Tehokkuus puolestaan liittyy toimitusketjun kykyyn hyödyntää resursseja niin, että saavutetaan korkea suorituskyky ja kustannustehokkuus koko ketjun tasolla, ei vain yksittäisissä osissa. Elintarvikealalla tämä tarkoittaa mm. hävikin vähentämistä ja prosessien optimointia (Liang ym., 2006). Käsitteet muodostavat viitekehyksen, jossa toimitusketjujen johtaminen ja tietojärjestelmätiede yhdistyvät monitieteiseksi kokonaisuudeksi tutkielmassa.

1.2 Lähteiden haku

Lähteiden haku toteutettiin strukturoituna prosessina Scopus-tietokannassa. Hakustrategia määriteltiin etukäteen ja dokumentoitiin. Hakusanojen valinta perustui alan keskeisiin käsitteisiin. Haun tuloksena saatiin 257 viitettä, joista poistettiin vanhentuneet ja Julkaisufoorumin 1-3 tason ulkopuoliset lähteet. Katsaukseen valittiin 10 artikkelia, jotka täyttivät relevanssi-, laatu- ja ajantasaisuusvaatimukset. Lisäksi toteutettiin erillinen markkinakatsaus elintarvikealan toiminnanohjausjärjestelmistä hyödyntäen tekoälyavusteista verkkohakua. Tutkielmaa täydennettiin Google Scholar -tietokannan haulla hakulausekkeella ("Supply chain management") AND (resilience OR traceability OR efficiency), jotta keskeiset käsitteet saivat alkuperäiset ja relevantit lähteet. Trendejä ja markkinoiden kehityssuuntia tuettiin Statistan tilastollisella aineistolla, joka tarjosi kvantitatiivista näkökulmaa alan nykytilaan ja ennusteisiin.



Kuvio 1 Lähteiden haku ja valinta

Scopuskeen syötetty alkuperäinen hakumerkkijono: ("food supply chain" OR "food industry" AND (traceab* OR "track and trace" OR transparency) AND (smart OR intelligent OR digital* OR automation) AND ("food safety" OR recall* OR "risk management"))

1.3 Tutkielman rakenne

Luvussa 2 tarkastellaan elintarvikealan erityispiirteitä ja muutosvoimia, jotka vaikuttavat toimitusketjujen kehitykseen. Luvussa käydään läpi keskeiset trendit, kuten väestönkasvu, digitalisaatio ja kulutustottumusten muutokset, sekä niiden vaikutukset alan vaatimuksiin ja teknologisiin ratkaisuihin. Luvussa 3 keskitytään elintarvikealan nykyisiin tietojärjestelmiin ja laitteistoihin. Luvussa esitellään toiminnanohjausjärjestelmät, varastonhallintajärjestelmät, tuotannonohjausjärjestelmät ja päätöksenteontukijärjestelmät, sekä arvioidaan niiden roolia toimitusketjun resilienssin, jäljitettävyyden ja tehokkuuden parantamisessa. Lisäksi käsitellään nykyisten järjestelmien puutteita ja integraatiohaasteita. Luvussa 4 tarkastellaan tulevaisuuden toimitusketjuja kerrosmallin avulla. Luvussa kuvataan, miten data, IoT-laitteet, analytiikka ja automaatio muodostavat yhteentoimivan kokonaisuuden, joka tukee reaaliaikaista päätöksentekoa ja läpinäkyvyyttä. Lopuksi käsitellään

lohkaketjun (engl. blockchain) ja tekoälyn roolia jäljitettävyyden ja hallinnan vahvistamisessa. Luvussa 5 analysoidaan teknologian käyttöönottoon liittyviä haasteita. Luvussa käsitellään muutosvastarintaa, osaamisen puutetta, integraatio- ja standardointiongelmia sekä taloudellisia rajoitteita, jotka voivat hidastaa uusien ratkaisujen laajamittaista käyttöönottoa. Yhteenveto ja johtopäätökset kokoavat tutkielman keskeiset havainnot ja vastaavat päätutkimuskysymyksiin.

2 Elintarvikealan erityispiirteet ja muutosvoimat

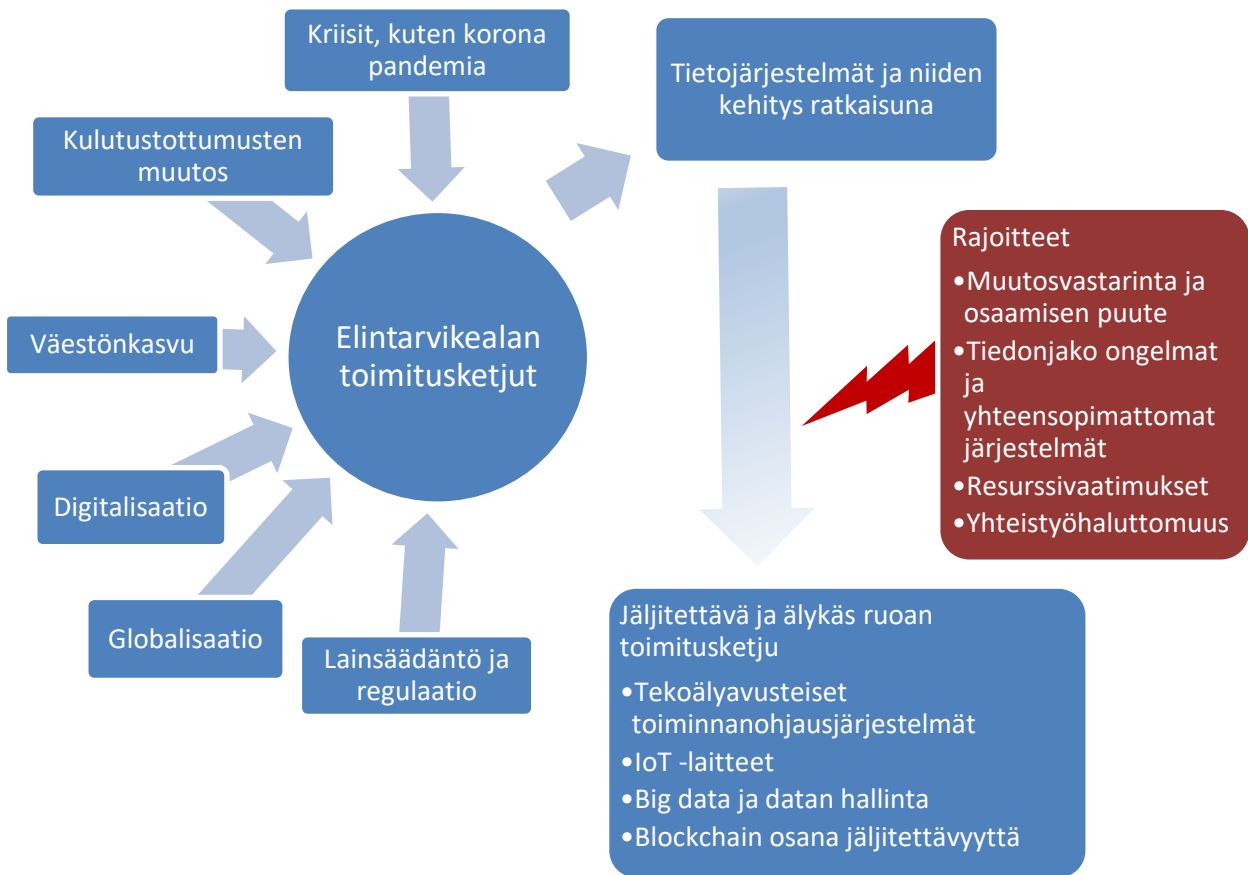
Ruoan toimitusketjut ovat paineen alla monen samanaikaisen muutosvoiman seurauksena, jotka asettavat uusia vaatimuksia koko ruokajärjestelmälle. Väestönkasvu lisää ruoan kysyntää, ja vuosina 2012–2050 ruoan tarpeen odotetaan kasvavan 50 % (FAO, 2017). Lainsäädäntö ja viranomaisvaatimukset ohjaavat toimitusketjuja olemaan vastuuvetoitteisia läpinäkyvillä ja jäljitettävillä prosesseilla. Kulutustottumukset ovat muuttuneet kohti vastuullisuutta ja läpinäkyvyyttä, mikä näkyy kasvavana kiinnostuksena kestävästi tuotettuihin ja jäljitettäviin elintarvikkeisiin. Samanaikaisesti terveellisyys korostuminen, digitalisaation synnyttämät odotukset nopeasta saatavuudesta sekä personoiduista palveluista ja ruokahävikin vähentämiseen liittyvä tietoisuus ovat nousseet keskeisiksi trendeiksi. (Astill ym., 2019.) Digitalisaatio sekä uusi teknologia toimii muutosvoimana ja samalla avaintekijänä toimitusketjuille, jotka ovat resurssitehokkaita ja läpinäkyviä (Yadav ym., 2022).

Ruoan toimitusketju on poikkeuksellisen herkkä ja monimutkainen kokonaisuus, koska se ulottuu pellolta kuluttajan lautaselle eli noudattaa niin sanottua ”farm to fork” -periaatetta. Ketju kattaa tuotannon, jalostuksen, pakkaamisen, jakelun, vähittäiskaupan ja kuluttajan, ja jokaisessa vaiheessa on kriittisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat tuotteen laatuun, turvallisuuteen ja säilyvyyteen. (Dadi ym., 2021.) Pilaantuvien tuotteiden hallinta edellyttää tarkkaa lämpötilan ja olosuhteiden seurantaa, mikä tekee prosesseista aikaherkkäksi ja altistaa ne häiriöille. Lisäksi ketju on globaali ja monitoimijainen, mikä lisää riskejä ja edellyttää läpinäkyvyyttä sekä standardoitua tiedonvaihtoa. (Misra ym., 2022.)

Elintarvikealan kompleksisuus korostuu erityisesti prosessoitujen tuotteiden kohdalla. Astill ym. (2019) havaitsivat tapauksen, jossa naudan lihan jäljitettävyys katosi täysin sen prosessoinnin ensimmäisessä vaiheessa. Yksi lopputuote voi sisältää raaka-aineita useista maista ja useilta toimittajilta, jolloin jäljitettävyys ja laadunhallinta edellyttävät monikerroksista tietoa ja hallintaa. Tämä rakenne yhdistää useita tieteenaloja, maataloudesta ja toimitusketjujen johtamisesta kemiaan, ravitsemukseen ja tietojärjestelmätieteeseen. (Yadav ym., 2022)

Esimerkkinä ruoan toimitusketjun monimutkaisesta luonteesta voidaan käyttää kylmäketjologiistiikka, joka ylläpitää pilaantuvien tuotteiden (liha, maitotuotteet, kala, hedelmät ja vihannekset) laatua ja turvallisuutta lämpötilanhallinnan avulla. Kylmäketjologiistiikka markkina on arviolta n. 363 miljardin Yhdysvaltain dollarin arvoinen, ja kasvun odotetaan kiihtyvän seuraavan 10 vuoden aikana noin nelinkertaiseksi sen nykyisestä markkinakoosta (Statista, 2025). Kylmäketjologiistiikka

on altis monenlaisille kriiseille ja häiriöille pidentyvien välimatkojen, tuoreiden elintarvikkeiden kasvavan kysynnän sekä monimutkaisten ja aikaherkkien prosessien takia. COVID-19-pandemia paljasti kylmäketjulongistiikan kriittisen merkityksen elintarvikealan toimitusketjuissa. Kun rajat sulkeutuivat ja kuljetusketjut katkesivat, erityisesti pilaantuvien tuotteiden säilyvyys ja toimitusvarmuus joutuivat koetukselle. Rajoitukset lisäsivät varastointipaineita ja pidentyneet toimitusajat nostivat tarvetta reaaliaikaiselle lämpötila- ja olosuhdeseurannalle. (Mustafa ym., 2024.) Pandemia toimi katalyyttinä toimitusketjujen digitalisaatiolle ja osoitti, että datanhallinta on keskeinen tekijä ruokaturvan ylläpitämisessä ja toimitusketjujen resilienssin vahvistamisessa. Prosessien tehostamiseksi, läpinäkyvyyden parantamiseen ja kriisien välttämiseksi: tietojärjestelmät ja IoT-laitteet ottavat yhä suurempaa roolia. (Mustafa ym., 2024.) Yrityksissä muutosta ajavat sekä yhteiskunnalliset tai lainsäädännölliset paineet että taloudelliset ja resurssitehokkuuteen liittyvät tavoitteet (Misra ym., 2022). Sekä Mustafa ym. (2024) että Misra ym. (2022) painottavat järjestelmien kehitystä ja uuden teknologian roolia ruoan toimitusketjujen ongelmien ratkaisuun. Muutosvoimia ovat väestönkasvu, globalisaatio, digitalisaatio, lainsäädäntö ja regulaation muutokset, kulutustottumusten muutos ja kriisit, kuten koronapandemia. Kuvio 2 visualisoi ulkoisten muutosvoimien vaikutusta jo valmiiksi haastavaan elintarvikealan toimitusketjuun teknologisesta näkökulmasta. Käyttöönottoon liittyvät rajoitukset ja haasteet käsitellään tarkemmin luvussa 5.



Kuvio 2 Elintarvikealan toimitusketjujen muutosvoimien ja tietojärjestelmien suhde (Misra ym., 2022; Yadav ym., 2022)

3 Elintarvikealan tietojärjestelmät

Elintarvikeala muodostuu laajasta kirjosta eri kokoisia toimijoita, ja PK-yritykset ovat keskeinen osa ruokajärjestelmää alkutuotannosta vähittäiskauppaan asti. Vuonna 2010 Euroopassa 99,1 % elintarvikealan yrityksistä on PK-yrityksiä, jotka vastaavat lähes puolesta alan liikevaihdosta ja 63 % työllisyydestä. PK-yrityksiä on mm. pienet leipomot, panimot, perhetilat, kuljetusyritykset ja vähittäiskaupat. (Saguy & Sirotinskaya, 2014.) Lisäksi suuret kansainväliset konsernit pitävät allaan monta brändiä ja tuotetta, joka luo tarpeen maailmanlaajuiselle toimitusketjulle (Misra ym., 2022). Alan toimijoille yhteistä on monivaiheiset prosessit, jotka vaativat tarkkaa vaiheittaista seurantaa (Teerasoponpong & Sopadang, 2022). Tässä luvussa pyritään selvittämään, mitä järjestelmiä ja laitteistoa hyödynnetään, sekä miten ne vaikuttavat nykyisen elintarvikealan toimitusketjun resilienssiin, jäljitettävyyteen ja tehokkuuteen.

PK-yritysten laitteistovalintoihin vaikuttavat ensisijaisesti taloudelliset resurssit ja yrityksen toiminnot, sillä rajallinen budjetti ohjaa investointeja edullisiin ja helposti saatavilla oleviin ratkaisuihin, kuten viivakooditulostimiin ja käsiskannereihin (Teerasoponpong & Sopadang, 2022). Lisäksi yrityksen liiketoiminnan muoto, kuten esimerkiksi valmistus, jakelu tai vähittäismyynti määrittää, millaisia laitteita tarvitaan. Tuotannon volyyymi ja tuotevalikoiman laajuus määrittävät automaation tarpeen: pienet tuotantomäärät eivät yleensä perustele kallista teknologiaa, kun taas suurempi volyyymi voi edellyttää tehokkaampia ratkaisuja (Teerasoponpong & Sopadang, 2022). Tuotetyyppi ja pilaantuvuus vaikuttavat siihen, tarvitaanko esimerkiksi sensoreita mm. lämpötilanseurantaan (Mustafa ym., 2024). Lisäksi lainsäädäntö ja asiakkaiden vaatimukset voivat pakottaa investoimaan jäljitettävyysteknologiaan, kuten RFID-järjestelmiin (Misra ym., 2022). Osaaminen ja käyttöönoton helppous rajoittavat monimutkaisten järjestelmien käyttöä, ja yhteensopivuus nykyisten ERP- tai varastohallintajärjestelmien kanssa ohjaa valintoja.

Data- ja resurssipuutteita johtavat PK-yrityksiä päätöksentekoon minimi tilausmäärien (engl. minimum order quantity, MOQ) ja toimittajien kampanjoiden varassa. (Teerasoponpong & Sopadang, 2022.) ERP:n käyttö on usein hybridistä ja osittaista. Taulukkolaskentaa ja mahdollisia toiminnanohjausjärjestelmiä täydennetään rajatuilla analyttisillä työkaluilla. (Teerasoponpong & Sopadang, 2022.) Teerasoponpongin ja Sopadangin (2022) tekemä tapaustutkimus Thaimaalaisesta PK-leipomosta osoittaa, että kun DSS otetaan käyttöön, se voi selvästi pienentää osto- ja varastokustannuksia. Hyödyt realisoituvat vain, jos datan laatu ja käyttäjäkyykykkyudet ovat kunnossa. (Teerasoponpong & Sopadang, 2022) Lopulta myös yrityksen kasvusuunnitelmat ja tarve skaalautuville ratkaisuille vaikuttavat siihen, minkälaista laitteistoa hankitaan. Todellisuudessa useilla PK-toimijoilla

data siirtyy suurimmalta osin manuaalisesti toiminnanohjausjärjestelmään ja RFID:tä käytetään lähinnä lava- tai laatikkotasolla, ei yksittäistuotteissa. (Misra ym., 2022; Teerasoponpong & Sopadang, 2022.)

Konsernit, jotka hallitsevat useita brändejä ja tuoteryhmiä, hyödyntävät mittakaavaetuja keskittämällä toimitusketjujen hallinnan integroituihin toiminnanohjausjärjestelmiin. Näissä ratkaisuihin yhdistetään varastonhallinta, päätöksenteon tuki, tuotannonohjaus yhteen kokonaisuuteen, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonvaihdon ja prosessien optimoinnin maailmanlaajuisella tasolla. Integraatio vähentää tiedon hajanaisuutta, nopeuttaa päätöksentekoa ja parantaa jäljitettävyyttä. (Misra ym., 2022.) Suurilla toimijoilla voi olla resursseja kehittää omia räätälöityjä järjestelmiä, kun taas PK-yritykset turvautuvat kevyempiin ja osittain manuaalisiin ratkaisuihin, mikä korostaa teknologisen kyvykkyyden eroja alan sisällä (Teerasoponpong & Sopadang, 2022).

Myös laitteiston laajempi integraatio on yleisempää kuin PK-toimijoilla, joilla on rajoitteena tietotaito ja resurssit. Kiinteät RFID-portit ja automaattiset skannerilinjat vastaanotossa ja lähdössä, kylmäkuljetusten telematiikka sekä varastoautomaatio. Data ei ole niin hajanaista, koska se kirjataan järjestelmiin automaattisesti. Myös tekoälyä hyödynnetään laajemmin sekä päätöksenteon tuessa että tuotannon prosesseissa, esimerkkinä konenäön rajoitettu käyttö tuotantolinjalla tunnistamaan viallisia tuotteita. (Misra ym., 2022.)

3.1 Toiminnanohjausjärjestelmät

Toiminnanohjausjärjestelmät nähdään keskeisenä osana toimitusketjujen hallintaa, sillä niiden avulla ketjun eri toiminnot integroidaan yhdeksi kokonaisvaltaiseksi näkymäksi. Tutkielmassa toiminnanohjausjärjestelmät on valittu tutkimuskohteeksi, koska niiden katsotaan muodostavan leikkauspisteen toimitusketjujen johtamisen ja tietojärjestelmätieteen välillä, mikä tarjoaa kokonaisuuden hahmottamisen ja käsittelyn kannalta selkeyttä.

Taulukko 1 kartoittaa elintarvikealan toimitusketjun toiminnanohjausjärjestelmiä, joita löytyy useita eri kokoisille yrityksille ja monenlaisille organisaatorakenteille. Taulukon tiedot perustuvat järjestelmätoimittajien omiin tuotekuvauksiin. Tarjonta on jaettu kahteen kategoriaan: konsernitason toiminnanohjausjärjestelmä ja toimialavalmiit toiminnanohjausjärjestelmät. Järjestelmät eroavat skaalattavuuden, toimialavalmiuksien ja käyttöönoton monimutkaisuuden suhteen. Toimialavalmius tarkoittaa mm. sitä, että palvelutarjontaan voi kuulua esimerkiksi panimoille tarkoitettu tuotannonohjausjärjestelmä integroituna ERP:iin.

Taulukko 1: Toiminnanohjausjärjestelmät elintarvikealan toimitusketjuille

Kategoria	Toimittajia ja tuotteita	Kuvaus ja käyttötarkoitus	Lähde
Konsernitason toiminnanohjausjärjestelmät	SAP S/4HANA	Koko konsernin pilvessä toimiva integroitu ERP. Vahvasti räätälöity. Globaalit ja moniyhtiöisen kokonaisuuden hallinta.	(SAP, ei pvm.),
	Oracle Cloud ERP		(Microsoft, ei pvm.),
	Dynamics 365		(Oracle ERP, ei pvm.)
Toimialavalmiit toiminnanohjausjärjestelmät	QAD Adaptive ERP	Pilvipohjainen integroitu ERP, joka on räätälöity elintarvikealan prosesseille ja kokonaisuuden hallintaan. Helpompi käyttöönnotto toimialavalmiiden kokonaisuuksien takia. Vaatii resursseja ja datakyvykkyyttä, joten tarkoitettu skaalattavuutta hakeville yrityksille.	(QAD, ei pvm.)
	Aptean F&B ERP		(Aptean, ei pvm.)
	IFS Cloud F&B		(IFS, ei pvm.)
	Plex F&B (Rockwell)		(Rockwell, ei pvm.)
	Infor CloudSuite F&B		(Infor, ei pvm.)
	YAVEON ProBatch		(Yaveon, 2025)
Oracle NetSuite F&B	(Oracle NetSuite, ei pvm.)		

Kaikki toimittajat mainitsevat tekoälyn osana palvelutarjontaansa. SAP, Oracle ja Microsoft kuvaavat AI:n olevan “sisäänrakennettuna” suoraan prosesseihin, jolloin käyttäjä saa suosituksia ja hälytyksiä työnkulun yhteydessä. Infor painottaa mallia, jossa AI toimii erillisenä alustana ERP:n päällä ja tuottaa ennusteita ja analyyskejä järjestelmään. Yhteistä toimittajien tekoäly ominaisuuksissa on tavoite parantaa näkyvyyttä, nopeuttaa päätöksiä ja vähentää manuaalista työtä.

Huomionarvoista on, että PK-yrityksille suunnattuja toimialakohtaisia ratkaisuja on markkinoilla selvästi vähemmän kuin skaalaaville yrityksille tarkoitettuja täysimittaisia ERP-järjestelmiä. Tämä voi rajoittaa pienten toimijoiden mahdollisuuksia hyödyntää kehittyneitä teknologioita toimitusketjujen hallinnassa ja johtaa toimijoita nojaamaan manuaalisiin järjestelmiin. Lisäksi järjestelmien hankintaan liittyvät taloudelliset ja osaamiseen liittyvät kyvykkyydet voivat muodostaa merkittävän esteen käyttöönotolle (Teerasoponpong & Sopadang, 2022). Voidaan kysyä, missä määrin PK-yritysten tarpeet jäävät huomioimatta nykyisissä järjestelmäkehityksissä ja onko tarjonnan rajallisuus yhdessä kyvykkyyshaasteiden kanssa este digitaalisen kyvykkyyden kehittymiselle elintarvikealalla kokonaisuudessa.

3.2 Nykyjärjestelmien käytön kipupisteet

Miten määritellään kestävä ruoan toimitusketju? Palazzo & Vollero (2021) esittävät sen seuraavanlaisella tavalla: Ruoan toimitusketju sekä tuottaa taloudellista suorituskykyä, minimoi ympäristövaikutuksia ja hävikkiä koko ketjussa että huomioi sosiaalisen vastuun ja ruokaturvan, joka perustuu jäljitettävyyteen, läpinäkyvään tiedon jakoon, standardeihin ja sääntelyyn sekä jatkuvaan yhteistyöhön kohti yhteisiä tavoitteita yli organisaatorajojen. Näiden tavoitteiden täyttämiseksi tietojärjestelmät nähdään kriittisenä perustana, jonka päälle tehokkuutta ja resilienssiä tukevat ratkaisut voidaan rakentaa (Palazzo & Vollero, 2021). Seuraavaksi tarkastellaan nykyisten järjestelmien ongelmakohtia ja niiden syitä.

Tietojärjestelmät kärsivät ennen kaikkea hajanaisesta tiedosta ja puutteellisesta integraatiosta. Yadav ym. (2022) kuvaavat, miten useat toimijat ja järjestelmät vaikeuttavat tiedon jakamista tiiloilta jalostukseen, jakeluun ja vähittäismyyntiin. Ilmiö näkyy erityisesti alkutuotannossa, jota molemmat Misra ym. (2022) ja Yadav ym. (2022) korostavat. Tästä on tuloksena, että vähäinen data jää toimijarajoille, eikä se kulje ketjun päästä päähän. Jäljitettävyys toteutuu usein vain minimitasolla, jossa pystytään jäljittämään ainoastaan välitön toimittaja tai asiakas. Tämä ”one step back, one step forward” -malli, tekee takaisinvetoprosesseista pitkiä ja työläitä. Misra ym. (2022) kuvaavat konkreettisesti, miten tällainen minimitason jäljitettävyys johti Yhdysvalloissa romaine-salaatin tautiepidemian aikana siihen, että kaikki salaatti poistettiin myynnistä, koska saastelähde löytyi hitaasti. Ensimmäisestä sairastumisesta FDA:n takaisinvetoon kului 67 päivää. Tiedon jakaminen yli toimittaja- ja organisaatorajojen on hidaste järjestelmien integraatiolle ja datan keskittämislle. Tiedonvaihdolle esteenä on mm. tietoturvaan, yksityisyyteen ja omistajuuteen liittyvät kysymykset. Yritykset epäröivät jakaa dataa, kun hyötyjen ja vastuiden jako on epäselvää ja vuotojen seuraukset voivat olla mainehaittaa pienempiä. (Misra ym., 2022.) Tiedon pitäisi olla sekä yhteismitallista että kaikkien välittömässä käytössä ketjun päästä päähän, mutta standardien ja tarvittavan osaamisen puutteesta johtuen tätä ei käytännössä tapahdu (Yadav ym., 2022). Lisäksi suorituskyvyn mittaaminen on hajanaista. Yhteismitallisia malleja on niukasti, koska elintarvikealalla on useita erityispiirteitä ja ketjut ovat komplekseja. Tämä tekee mm. järjestelmien suorituskyvyn arvioinnista koko toimitusketjulle haastavaa. (Yadav ym., 2022.)

Kuten mainittu viime luvussa, kustannukset ja tekniset kyvykkyydet rajoittavat etenkin PK-toimijoita. Tiedonkeruuseen, antureihin ja pilvipalveluihin vaadittavat investoinnit ja osaamisvaatimukset hidastavat käyttöönottoa. Kun datan laatu on huonoa ja prosessit eivät ole valmiita, hyödyt jäävät osittaisiksi ja manuaalinen työ lisääntyy. (Teerasoponpong & Sopadang, 2022.) Ongelman

ytimen voi nähdä olevan vähemmän teknologiassa ja enemmän resursseissa ja kyvykkyyksissä.

Yadav ym. (2022) ja Misra ym. (2022) molemmat painottavat, että nämä esteet tulee ratkaista ennen kuin uudet ratkaisut voivat aidosti parantaa elintarvikealan toimitusketjuja.

4 Tulevaisuuden elintarvikkeiden toimitusketju: data, järjestelmät ja hallinta yhteentoimivana kokonaisuutena

Seuraavaksi pyritään vastamaan kysymykseen: Miltä näyttää lähitulevaisuuden toimitusketjun järjestelmät ja teknologia elintarvikealalla?

Elintarvikeketjujen digitalisaatiota jäsenetään kirjallisuudessa kerrosarkkitehtuurin avulla, koska edellä mainittujen tavoitteiden saavuttaminen edellyttää useiden teknologioiden yhteentoimivuutta. Astill ym. (2019) korostavat, että IoT toimii läpileikkaavana teknologiana, joka yhdistää sensorit, datan hallinnan ja analytiikan, mutta toteavat, että tämä kokonaisuus vaatii selkeän arkkitehtuurin datan keruusta hallintaan. Samalla lohkoketju ja massadata-analytiikka (engl. big data analytics) täydentävät IoT:n roolia varmistamalla datan luotettavuuden ja jalostamalla sen päätöksenteon tueksi. Näiden havaintojen perusteella esitellään seuraavaksi kerrosmalli, joka toimii synteettisenä viitearkkitehtuurina, jossa havainnointi, integraatio, analytiikka, toimeenpano ja hallinta muodostavat rakenteen teknologioiden roolien ja vaikutusten tarkasteluun (Astill ym., 2019; Dadi ym., 2021.)

4.1 Havainnointi

Ensimmäisessä kerroksessa eli havainnointikerroksessa syntyy raakadata. IoT-laitteet kuten langaton sensoriverkko (engl. wireless sensor network, WSN) tuottavat jatkuvaa tietoa tuotteista, olosuhteista ja liikkeestä. Tämän havainnointikerroksen voidaan jakaa tarkoituksellisesti kolmeen kategoriaan: tunnistus, olosuhdeseuranta ja sijaintitieto. Tunnistuksessa hyödynnetään radiotaajuista tunnistusta (engl. radio frequency identification, RFID), jossa lukija kommunikoi pakkaukseen liitetyn tunnisteen kanssa langattomasti. RFID:n etuna on nopea ja automaattinen tunnistus ilman näköyhteyttä. Kun RFID integroidaan antureihin, sama tunniste voi välittää myös olosuhdetietoja, kuten lämpötilaa ja kosteutta, mikä yhdistää identiteetin ja laadunhallinnan yhdeksi datapisteeksi. Olosuhdeseurannassa käytetään antureita ja sensoreita mittamaan sekä kirjaamaan esimerkiksi valoa, kosteutta ja lämpötilaa. Sijaintitieto syntyy ajoneuvon telematiikasta sekä porttilukijoista, joiden kautta tieto siirtyy taustajärjestelmiin (Dadi ym., 2021.) Kylmäketjussa langaton sensoriverkko yhdessä RFID:n kanssa mahdollistavat lämpötila- ja kosteushistorian seuraamisen jopa erä- ja tuotetasolla (Mustafa ym., 2024). Kun poikkeus havaitaan, voi järjestelmä laukaista varoituksen sekä ennalta määritellyn toimenpiteen toimintaan, kuten priorisoidun jakelun, kohdennetun tarkastuksen tuotetasolla tai dynaamisen myynnin ennen päiväystä. Samalla ensimmäisenä vanhentuvan, ensimmäisenä ulos (engl. first-expired, first-out, FEFO) -periaate toteutuu paremmin, kun saadaan tuote- ja eräkohtaista tarkkaa tietoa säilyvyysajasta (Misra ym., 2022).

RFID-teknologian ja langattomien sensoriverkkojen käyttö laajenee nopeasti varastointiprosesseihin, mikä mullistaa tuoretuotteiden hallinnan. Kiinteät RFID-portit ja hyllytason lukijat mahdollistavat automaattisen sisään- ja uloskirjauksen varastoissa ja terminaaleissa, jolloin inventaariotasot ovat tarkasti tiedossa reaaliajassa. Tämä parantaa täydennysten ennustettavuutta ja vähentää manuaalista työtä. Kun tavara lähtee varastolta kuljetukseen, RFID-järjestelmä kirjaa sen automaattisesti ja yhdistää tiedon sijaintiseurantaan sekä olosuhdeseurantaan, mikä on kriittistä kylmäketjun hallinnassa. RFID-pohjainen olosuhdeseuranta on osoittautunut tehokkaaksi keinoksi vähentää ruokahävikkiä. (Zuo ym., 2022.) NRDC:n vuoden 2017 raportin mukaan Yhdysvalloissa jopa 41 % liha-, kala- ja siipikarjatuotteista päätyy hukkaan, ja Zuo ym. (2022) esittävät, että RFID-teknologian avulla voidaan merkittävästi pienentää tätä osuutta hallitsemalla lämpötila- ja kosteusprofiileja koko kuljetusketjun ajan. Nikolicic ym. (2021) simulaation perusteella arvioitiin, että RFID:n implementoinnilla toimitusketjuun voidaan säästää jopa 29-38% maidon hävikistä.

RFID:n merkitys korostuu erityisesti älypakkauksissa (engl. smart packaging). Kehityksen painopiste on edullisissa, siruttomissa RFID-antureissa, jotka voidaan painaa suoraan pakkaukseen. Siruttomuus vähentää kustannuksia ja parantaa kierrätettävyyttä, mikä tekee teknologiasta houkuttelevan massatuotteiden ja kestävän kehityksen näkökulmasta. Näiden avulla voidaan toteuttaa dynaaminen säilyvyysajan hallinta ja tarjota kuluttajille läpinäkyvää tietoa tuotteen tuoreudesta. RFID:n kyky lukea satoja tunnisteita samanaikaisesti ilman näköyhteyttä tekee siitä ylivoimaisen verrattuna perinteisiin viivakoodeihin. Kun RFID yhdistetään langattomiin sensoriverkkoihin, syntyy kokonaisuus, joka mahdollistaa sekä jäljitettävyyden että laadunhallinnan ketjun päästä päähän. Vaikka siruttomat RFID-teknologiat tarjoavat merkittäviä etuja kustannusten ja kierrätettävyyden näkökulmasta, niiden laajamittainen käyttöönotto edellyttää edelleen huomattavaa kehitystyötä. Katsaukset korostavat haasteita, jotka liittyvät muun muassa biokompatibiliteettiin, lukuetaisyyden parantaminen, moniparametriseen sensorointiin sekä kierrätettävyyteen ja tietoturvaan. (Zuo ym., 2022.)

4.2 Integraatio

Integraatio ja tietomallit muuttavat raakadatan käyttökelpoiseksi tiedoksi. Tietomallit määrittelevät, miten tieto on rakenteistettu ja esitetty. Ne varmistavat, että esimerkiksi nimikkeet, eräkoodit ja olosuhdetiedot tulkitaan yhdenmukaisesti eri järjestelmissä. Integraatio puolestaan tarkoittaa eri tietojärjestelmien yhdistämistä niin, että tieto siirtyy automaattisesti niiden välillä. Siirron aikana tiedon muoto voi muuttua, jotta se vastaa vastaanottavan järjestelmän vaatimuksia eli hyvät tietomallit mahdollistavat integraation. (Astill ym., 2019.) Raakadata kulkee havainnointikerroksesta yrityksen analytiikkatasolle useiden järjestelmien kautta. Havainnointikerroksessa kerätty data siirtyy

tuotannonohjausjärjestelmiin prosessiseurantaan varten. Varastohallintajärjestelmät lisäävät sijainti- ja erätiedot, minkä jälkeen ERP-järjestelmä yhdistää tiedon liiketoimintaprosesseihin. (Dadi ym., 2021.) Digitalisaatio ja IoT-teknologiat ovat lisänneet integraation ja tietomallien merkitystä (Astill ym., 2019). IoT-laitteet ja sensorit keräävät suuria määriä dataa tuotannosta, kuljetuksesta ja varastoinnista, ja tämä tieto on integroitava eri järjestelmiin reaaliaikaisesti. Tietomallit toimivat sillanrakentajina, sillä ne määrittelevät, miten sensoridata muunnetaan analytiikkajärjestelmien ymmärtämään muotoon ja varmistavat tiedon yhdenmukaisuuden toimitusketjun eri vaiheissa.

4.3 Analytiikka

Analytiikan kerroksessa linkitetty data muuttuu päätöksiksi, kun sitä hyödynnetään liiketoimintaprosessien tarkasteluun, ennakointiin ja optimointiin. Käytännössä tämä tarkoittaa kysynnän ennusteita, varastotason optimointia, reitityksen suunnittelua sekä olosuhdepoikkeamien automaattisia hälytyksiä. Tekoäly ja koneoppiminen (engl. machine learning, ML) mahdollistavat näiden prosessien automatisoinnin, mikä parantaa toimitusketjun joustavuutta ja reagoitokykyä. (Dadi ym., 2021.)

Big data -analytiikka tuo tähän uuden ulottuvuuden. Se käsittelee erittäin laajoja ja monimuotoisia tietoaaineistoja, joita syntyy IoT-laitteista, tuotantojärjestelmistä ja ulkoisista lähteistä. Näiden avulla voidaan tunnistaa piileviä riippuvuuksia ja optimoida prosesseja reaaliaikaisesti. (Dadi ym., 2021.) Dadi ym., (2021) korostavat, että big data -ratkaisut eivät ainoastaan nopeuta päätöksentekoa, vaan myös vähentävät kustannuksia ja riskejä sekä tukevat kestävästä kehityksestä esimerkiksi hävikin vähentämisen kautta. Lisäksi analytiikkaa hyödynnetään yhä enemmän ennakoivassa kunnossapidossa ja tuotantokapasiteetin hallinnassa, mikä parantaa koko arvoketjun tehokkuutta. Merkittävä kehityssuunta on big datan yhdistäminen sosiaalisen median dataan kysynnän ennustamisessa. Kuluttajien ostokäyttäytymistä ja trendejä voidaan analysoida hakusanojen, reseptien ja keskustelujen perusteella, jolloin toimitusketjut voivat reagoida nopeammin muuttuviin preferensseihin ja sesonkien kysyntäpiikkeihin. (Misra ym., 2022.) Tämä yhdistelmä voidaan nähdä tarjoavan yrityksille mahdollisuuden siirtyä reaktiivisesta ohjauksesta proaktiiviseen, jossa päätökset perustuvat reaaliaikaiseen tietoon ja ennakoiviin malleihin.

Kansainväliset tutkimukset tukevat tätä suuntausta. Statistan (2022) kysely osoittaa, että yli 70 % toimitusketjujen johtamisen ammattilaisista arvioi big datan ja analytiikan olevan yksi kolmesta merkittävimmästä trendistä, joka muuttaa toimitusketjujen toimintaa vuoteen 2025 mennessä. Tämä tekee analytiikasta kriittisen kilpailutekijän, joka ei ainoastaan paranna tehokkuutta, vaan myös luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia datalähtöisen päätöksenteon kautta

4.4 Toimeenpano ja hallinta

Toimeenpanokerroksessa analytiikan tuottamat hälytykset ja ennusteet muutetaan konkreettisiksi toimenpiteiksi tuotannossa, varastossa ja kuljetuksissa. Sensorien ja älypakkauksen tuottama olosuhdedata yhdistyy WMS- ja MES-järjestelmiin, jotka ohjaavat FEFO-perusteisia keräyksiä, kohdennettuja laatutarkastuksia ja reittien päivityksiä reaaliajassa (Misra ym., 2022). ML-ennusteista käynnistyy automaattisia osto- ja tuotantomuutoksia, kun taas takaisinvetotilanteissa toimet kohdistetaan eräkohtaisesti eli vältetään koko valikoiman pysäytys. Robotiikka on keskeinen osa tätä automaatiota. Esimerkiksi automaattiset ohjatut ajoneuvot (engl. automated guided vehicle, AGV) ja mobiilirobotit ovat yleistyneet varastojen sisälogistiikassa. Ne hyödyntävät konenäköä ja samanai-kainen paikannus ja kartoitus teknologiaa (engl. simultaneous localization and mapping, SLAM) reittien optimointiin ja turvalliseen navigointiin. Ilman yhdenmukaisia tietomalleja ja suojattua tiedonvaihtoa automaatio ei ole turvallista eikä skaalautuvaa. (Dadi ym., 2021.) Ruokajärjestelmän toimivuus edellyttää teknologian lisäksi luottamusta, selkeitä rooleja ja sääntelyä. Viimeinen hallintokerros käsittelee nämä asiat. Yadav ym. (2022) ja Casino ym. (2020) ehdottavat ratkaisuksi rooli-pohjaista pääsynhallintaa ja yhteisiä tietomalleja, jotka varmistavat, että data on tulkittavissa ja auditoitavissa ketjun päästä päähän hyödyntäen lohkoketjua (engl. blockchain).

Jäljitettävyyden vahvistamiseksi lohkoketju tarjoaa hajautetun ja muuttumattoman tapahtumaketjun, joka nopeuttaa kohdennettuja takaisinveitoja ja parantaa viranomaisraportointia. Konkreettinen esimerkki on Casinon ym. (2020) esittelemä yrityksen ”Pagonis dairy” tapaus, jossa lohkoketjua ja älykkäitä sopimuksia (engl. smart contracts) käytettiin automatisoimaan kriittisiä prosesseja. Älykkäät sopimukset tarkoittavat ohjelmallisia protokollia, jotka toteuttavat ja varmistavat sopimuksen ehdot automaattisesti lohkoketjussa ennalta määritettyjen ehtojen täytyessä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jokainen erä ja sen olosuhdetiedot kirjataan hajautettuun ketjuun, ja poikkeama laukaisee automaattisen hälytyksen sekä toimenpiteen, kuten tarkastuksen tai hyvityksen. Tiedon kirjaaminen hajautettuna ketjuun pyrkii estämään tietojen peukalointia ja älykkäisiin sopimuksiin perustuva ratkaisu mahdollistavat kuluttajalle reaaliajassa näkymän tuotteen alkuperästä. (Casino ym., 2020.) Misra ym. (2022) korostavat, että lohkoketjun potentiaali on merkittävä nopeissa takaisinveidoissa ja kriisitilanteissa, joissa perinteiset menetelmät ovat hitaita ja alttiita virheille. Konkreettinen esimerkkinä tästä Misra ym. (2022) esittää tapauksen, jossa tutkittiin kahden eri toimitusketjun jäljitettävyyttä: sianlihaa Kiinassa ja mangoja Yhdysvalloissa. Perinteisillä menetelmillä mangoerän alkuperän selvittäminen vei seitsemän päivää, kun taas lohkoketjuun perustuva ratkaisu tuotti saman tiedon 2,2 sekunnissa. Tämä osoittaa, kuinka merkittävästi teknologia voi nopeuttaa tiedonkulkua ja vähentää hävikkiä kriittisissä tilanteissa. Lopulta toimivan jäljitettävyyden tärkein tekijä on eheä

data, joka kulkee ketjun päästä päähän yhteismittaisena. Tämän päämäärään saavuttamiseksi vaaditaan laajaa yhteistyötä eikä pelkästään teknisiä ratkaisuja. (Astill ym., 2019.)

5 Teknologian käyttöönottoon liittyvät haasteet

Seuraavaksi otamme tarkasteluun kolmannen tutkimuskysymyksen: Mitä mahdollisuuksia tai haasteita teknologian käyttöönotto luo alan toimijoille? Vaikka teknologiset ratkaisut kuten tekoäly, RFID ja lohkoketju, voivat tarjota etuja läpinäkyvyyden, tehokkuuden ja jäljitettävyyden parantamisessa, niiden käyttöönottoon liittyy myös monia konkreettisia haasteita, jotka voivat hidastaa tai jopa estää niiden laajamittaisen hyödyntämisen Misran ym. (2022) mukaan. Viime kappaleessa tarkasteltiin mahdollisuuksia mitä teknologian käyttöönotto luo, kun taas tässä kappaleessa tarkastellaan käyttöönoton haasteita.

5.1 Muutosvastarinta ja osaamisen puute

Teknologian käyttöönotto vaatii koulutusta, prosessien uudelleenmuotoilua ja organisaatiokulttuurin muutosta kohti datalähtöisempää päätöksentekoa, joka korvaa perinteiset toimintamallit (Dadi ym., 2021). Tämä muutos ei ole aina sujuvaa. Esimerkiksi AI:n ja lohkoketjun kohdalla on dokumentoitu hyväksyntähaasteita ja muutosvastarinnan riskejä Zatsun ym. (2024) ja Casinon ym. (2021) mukaan. Muutosvastarinta tarkoittaa organisaation tai yksilöiden taipumusta vastustaa muutoksia nykyisiin toimintatapoihin, prosesseihin tai teknologioihin, vaikka muutoksella tavoiteltaisiin parannuksia. Käytännössä tämä hidastaa tai vaikeuttaa uuden teknologian käyttöönottoa. Casinon ym. (2020) tapauksessa ”Pagonis Sisters and Co.”, kreikkalainen keskisuuri perheyrittäjä, siirtyi puhelimitse hoidetuista jäljitettävyydysprosesseista lohkoketju pohjaiseen järjestelmään, mikä edellytti sääntelyyn ja raportointiin liittyvien prosessien integrointia älykkäisiin sopimuksiin, henkilöstön koulutusta ja manuaalisten käytäntöjen korvaamista automatisoiduilla ratkaisuilla. Tapauksessa yritys koki haasteita erityisesti henkilökunnan sitouttamisessa ja hyväksynnän puutteesta, mikä johtui lohkoketjun monimutkaisesta luonteesta ja opituista tavoista.

Osaamisen puute on yksi keskeisimmistä esteistä teknologian käyttöönotolle. Dadi ym. (2021) korostavat, että teknologiat, kuten IoT, tekoäly ja big data, edellyttävät uutta osaamista datan analytiikassa, järjestelmäintegraatiossa ja kyberturvallisuudessa. Ilman riittävää koulutusta ja teknistä kyvykkyyttä yritykset eivät pysty hyödyntämään teknologioiden potentiaalia, mikä johtaa osittaisiin ratkaisuihin ja manuaalisen työn lisääntymiseen. Misra ym. (2022) tuovat esiin, että erityisesti alkutuotannossa osaamisvajae on merkittävä: viljelijöillä ja pienillä toimijoilla ei ole tarvittavaa tietotaitoa IoT-laitteiden, sensoriverkkojen ja pilvipohjaisten analytiikkaratkaisujen käyttöönottoon. Tämä rajoittaa datan keruuta ja sen hyödyntämistä toimitusketjun läpi. Yadav ym. (2022) lisäävät, että osaamisen puute yhdistettynä resurssirajoitteisiin tekee investoinneista riskialttiita, mikä hidastaa

digitalisaatiota erityisesti PK-yrityksissä. Kun datan laatu on heikko ja prosessit eivät ole valmiita, hyödyt jäävät osittaisiksi ja teknologian käyttöönotto koetaan monimutkaiseksi. Tämä luo noidankehän, jossa teknologian potentiaali jää hyödyntämättä, koska osaamisen puute estää tehokkaan implementoinnin.

5.2 Integraatio haasteet, yhteensopimattomat järjestelmät ja datan hajanaisuus

Huono tiedon jakaminen ja yhteensopimattomat järjestelmät muodostavat merkittävän esteen uusien teknologioiden käyttöönotolle. Nykyiset toimitusketjut ovat usein hajautettuja ja monitoimijaisia, mikä johtaa siihen, että tiedot tallennetaan eri muodoissa ja eri järjestelmiin ilman yhteisiä standardeja (Astill ym., 2019). Misra ym. (2022) korostaa, että ongelma ei ole pelkästään PK-toimijoilla. Suuret organisaatiot käyttävät merkittävän määrän alihankintaa alkutuotantoon ja pakkaamisvaiheeseen, josta dataa ei joko ole saatavilla ollenkaan tai se ei ole sopivassa muodossa. Tämä vaikeuttaa jäljitettävyyttä ja ruokaturvaa, sillä tiedon siirto ketjun päästä päähän ei ole sujuvaa.

Datan standardointi ja jakaminen korostuu mm. Astill ym. (2019), Casino ym. (2020), Dadi ym. (2021), Misra ym. (2022) ja Yadav ym. (2022) julkaisuissa keskeisimpänä hidasteena uusien teknologioiden käyttöönotolle, jäljitettävyydelle ja läpinäkyvälle toimitusketjulle. Myös legacy-järjestelmien yhteensopivuusongelmat korostuvat erityisesti IoT- ja RFID-ratkaisujen kohdalla, koska reaaliaikainen data ei integroidu helposti vanhoihin ERP tai WMS järjestelmiin ilman erillisiä rajapintoja. (Misra ym., 2022.) Nämä ongelmat vaativat laajaa organisaatorajojen ylittävää yhteistyötä ja Misra ym. (2022) tuo esille, ettei niitä pysty ratkaisemaan pelkillä investoinneilla vaan tarvitaan myös julkisen puolen aloitteita kohti demokratisoitua dataa ja sitä kautta läpinäkyvää ruoan toimitusketjua.

5.3 Korkeat kustannukset

Vaikka RFID-tagien yksikköhinta on laskenut merkittävästi viime vuosina, kustannukset voivat silti muodostua esteeksi erityisesti volyymituotteissa, joissa katteet ovat pieniä. Lisäksi älypakkauksissa käytettävien sensorimateriaalien elintarvikeeturvallisuus ja kierrätettävyyden ovat edelleen kehityskohteita. Esimerkiksi jotkin sensorit voivat sisältää materiaaleja, jotka eivät sovellu suoraan elintarvikekäyttöön tai aiheuttavat haasteita kierrätyksessä, mikä rajoittaa teknologian soveltamista erityisesti ympäristötietoisilla markkinoilla. (Zuo ym., 2022.)

Merkittävä kustannustekijä liittyy erityisesti järjestelmäkehitysprojekteihin ja integraatioon. Uusien teknologioiden, kuten IoT:n ja lohkoketjun, käyttöönotto vaatii usein räätälöityjä rajapintoja, datan

standardointia ja infrastruktuurin päivityksiä, mikä nostaa kokonaiskustannuksia huomattavasti (Misra ym., 2022). Zatsu ym. (2024) huomauttavat, että AI- ja IoT-ratkaisujen käyttöönotto ei rajoitu pelkästään laitteistohankintoihin, vaan sisältää myös ohjelmistokehityksen, tietoturvan varmistamisen ja henkilöstön koulutuksen, mikä kasvattaa kokonaiskustannuksia merkittävästi. IoT ja automaatio tuottavat valtavia datamääriä, mikä edellyttää tehokasta tallennus- ja käsittelyratkaisua. Yrityksillä on kaksi päävaihtoehtoa: rakentaa oma infrastruktuuri tai hyödyntää pilvipalveluja. Oma infrastruktuuri tarjoaa paremman kontrollin datan hallintaan, tietoturvaan ja omistajuuteen, mutta vaatii merkittäviä investointeja laitteistoihin, ylläpitoon ja osaamiseen. Pilvipalvelut, kuten AWS, Microsoft Azure ja IBM Watson, puolestaan tarjoavat skaalautuvuutta, nopean käyttöönoton ja kehittyneet analytiikkatyökalut ilman suuria alkuinvestointeja. Niiden haasteina ovat kuitenkin jatkuvat palvelumaksut, riippuvuus palveluntarjoajasta sekä mahdolliset tietosuojaj- ja omistajuuskysymykset. (Misra ym., 2022.) Misran ym. (2022) esittää, että tämäkin hidastaa erityisesti maatalous sektorin IoT:n ja automaation käyttöönottoa. Järjestelmien kehittäminen on palikoiden yhdistämistä ja oikeiden palikoiden valinta on olennaisessa osassa onnistunutta tietojärjestelmän kehitysprojektiä. Elintarvikkeiden toimitusketjujen järjestelmien kehitys tapahtuu vaiheittain sen kompleksin luonteen vuoksi. Esimerkiksi Dadi ym. (2021) ja Teerasoponpong & Sopadang (2022) esittävät, että teknologia pilotointi rajatulla tuotevalikoimalla ja selkeillä mittareilla vähentää riskejä ja parantaa oppimista.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Elintarvikealan toimitusketjut ovat murroksessa. Digitalisaatio, automaatio ja datan hallinta eivät ole enää pelkkiä tukitoimintoja, vaan strategisia tekijöitä, jotka määrittävät alan kilpailukyvn ja ruokaturvan tulevaisuudessa. Tutkielmassa selvitettiin, mitä teknologioita ja tietojärjestelmiä hyödynnetään nykyisissä ja tulevissa toimitusketjuissa, miten ne vaikuttavat resilienssiin, jäljitettävyyteen ja tehokkuuteen sekä millaisia mahdollisuuksia ja haasteita niiden käyttöönotto luo.

Keskeinen havainto on, että elintarvikealan toimitusketjut eivät voi enää nojata manuaalisiin prosesseihin ja hajanaiseen dataan. Toiminnanohjausjärjestelmät, varastohallintajärjestelmät, tuotannon ohjausjärjestelmät ja päätöksenteontukijärjestelmät muodostavat hallinnan perustan, mutta niiden rinnalle nousevat teknologiat, jotka tuovat reaaliaikaisen näkyvyyden ja automaation: IoT-laitteet, RFID-tunnisteet, langattomat sensoriverkot, big data -analytiikka, tekoäly ja lohkoketju. Näiden avulla toimitusketjuista tulee läpinäkyviä, jäljitettäviä ja joustavia ominaisuuksia, joita kuluttajat, viranomaiset ja markkinat vaativat yhä enemmän.

Teknologioiden vaikutus on kaksijakoinen. Ne parantavat tehokkuutta ja vähentävät hävikkiä, nopeuttavat takaisinvetoprosesseja ja mahdollistavat ennakoivan ohjauksen. Toisaalta niiden käyttöönotto tuo mukanaan merkittäviä haasteita: osaamisvaje, muutosvastarinta, integraatio-ongelmat ja korkeat kustannukset hidastavat etenkin PK-yritysten digitalisaatiota. Teknologian potentiaali jää vajaaksi, jos data on hajanaista ja prosessit eivät ole valmiita automatisointiin. Tämä luo tilanteen, jossa teknologia ei ole enää vain investointi, vaan strateginen valinta, joka vaatii johdon sitoutumista ja ekosysteemin yhteistyötä.

Tulevaisuuden näkymät ovat kuitenkin selkeät: elintarvikealan toimitusketjut kehittyvät kohti älykkäitä ja jäljitettäviä ekosysteemejä, joissa data ja automaatio ohjaavat päätöksentekoa. Lohkoketju voi mullistaa jäljitettävyyden, tekoäly ennakoinnin ja IoT reaaliaikaisen hallinnan. Ne toimijat, jotka onnistuvat yhdistämään teknologiat eheäksi kokonaisuudeksi ja ratkaisemaan käyttöönoton esteet, voidaan nähdä määrittävän alan suunnan.

Johtopäätökset:

1. Elintarvikealan toimitusketjuissa hyödynnetään ERP-, WMS- ja MES-järjestelmiä, joita täydentävät IoT-laitteet, RFID-tunnisteet, langattomat sensoriverkot, big data -analytiikka, tekoäly ja lohkoketju. Arvo syntyy datasta ja integroiduista prosesseista. Teknologia ei ratkaise ongelmia yksin, vaan sen todellinen hyöty saavutetaan vasta, kun data on luotettavaa ja prosessit saumattomasti yhteensovitettuja.

2. Teknologiat voivat vähentää hävikkiä, parantaa ruokaturvaa ja luoda uusia liiketoimintamalleja datalähtöisen päätöksenteon kautta. IoT ja RFID mahdollistavat olosuhdeseurannan ja nopean reagoinnin poikkeamiin, big data ja tekoäly tukevat ennakoivaa ohjausta ja optimointia, ja lohkoketju lyhentää takaisinvetoprosessit päivistä sekunteihin. Näin toimitusketjut muuttuvat läpinäkyviksi, joustaviksi ja kustannustehokkaiksi.
3. Elintarvikealan kehitystä hidastaa teknologian käyttöönoton haasteet, kuten osaamisvaje, muutosvastarinta ja kustannukset. Nämä haasteet vaativat tutkimusta, ja huomiota yrityksiltä sekä julkiselta puolelta.

Lähteet

- Aptean. (ei pvm.). *Aptean: Enterprise Software to Help Your Business Thrive*. Aptean.Com. Noudettu 3. marraskuuta 2025, osoitteesta <https://www.aptean.com/en-US>
- Astill, J., Dara, R. A., Campbell, M., Farber, J. M., Fraser, E. D. G., Sharif, S., & Yada, R. Y. (2019). Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions. *Trends in Food Science and Technology*, *91*, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.024>
- Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T. K., Moschuris, S., Stachtiaris, S., Pagoni, M., & Rachaniotis, N. P. (2020). Blockchain-based food supply chain traceability: A case study in the dairy sector. *International Journal of Production Research*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1789238>
- Dabbene, F., Gay, P., & Tortia, C. (2014). Traceability issues in food supply chain management: A review. *Biosystems Engineering*, *120*, 65–80. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.09.006>
- Dadi, V., Nikhil, S. R., Mor, R. S., Agarwal, T., & Arora, S. (2021). Agri-food 4.0 and innovations: Revamping the supply chain operations. *Production Engineering Archives*, *27*(2), 75–89. <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.10>
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture—Trends and challenges* (1. p.). FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6583e>
- FAO, W. (2006). Principles of traceability/product tracing as a tool within food inspection and certification systems. 2006.
- IFS. (ei pvm.). *Food and Beverage*. Noudettu 3. marraskuuta 2025, osoitteesta <https://www.ifs.com/industries/manufacturing/food-and-beverage>
- Infor. (ei pvm.). *Food and Beverage Industry Software | Infor CloudSuite*. Infor. Noudettu 3. marraskuuta 2025, osoitteesta <https://www.infor.com/industries/food-beverage>
- Liang, L., Yang, F., Cook, W. D., & Zhu, J. (2006). DEA models for supply chain efficiency evaluation. *Annals of Operations Research*, *145*(1), 35–49. <https://doi.org/10.1007/s10479-006-0026-7>
- Microsoft. (ei pvm.). *Tekoälypohjaiset CRM- ja ERP-ratkaisut | Microsoft Dynamics 365*. Noudettu 3. marraskuuta 2025, osoitteesta <https://www.microsoft.com/fi-fi/dynamics-365>
- Misra, N. N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R., & Martynenko, A. (2022). IoT, Big Data, and Artificial Intelligence in Agriculture and Food Industry. *IEEE Internet of Things Journal*, *9*(9), 6305–6324. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2998584>

- Mustafa, M. F. M. S., Navaranjan, N., & Demirovic, A. (2024). Food cold chain logistics and management: A review of current development and emerging trends. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101343>
- Nikolicic, S., Kilibarda, M., Maslaric, M., Mircetic, D., Bojic, S., Nikolicic, S., Kilibarda, M., Maslaric, M., Mircetic, D., & Bojic, S. (2021). Reducing Food Waste in the Retail Supply Chains by Improving Efficiency of Logistics Operations. *Sustainability*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/su13126511>
- NRDC. (2017, elokuuta 16). *Wasted: How America Is Losing Up to 40 Percent of Its Food from Farm to Fork to Landfill*. <https://www.nrdc.org/resources/wasted-how-america-losing-40-percent-its-food-farm-fork-landfill>
- Oracle ERP. (ei pvm.). Noudettu 3. marraskuuta 2025, osoitteesta <https://www.oracle.com/erp/>
- Oracle NetSuite. (ei pvm.). *NetSuite Food and Beverage ERP*. Oracle NetSuite. Noudettu 3. marraskuuta 2025, osoitteesta <https://www.netsuite.com/portal/industries/food-and-beverage.shtml>
- Palazzo, M., & Vollero, A. (2021). A systematic literature review of food sustainable supply chain management (FSSCM): Building blocks and research trends. *The TQM Journal*, 34(7), 54–72. <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2021-0300>
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, 20(1), 124–143. <https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- QAD. (ei pvm.). *Food and Beverage Industry Solutions | QAD*. Noudettu 3. marraskuuta 2025, osoitteesta <https://www.qad.com/industries/food-and-beverage>
- Rockwell. (ei pvm.). *Food and Beverage Manufacturing | Rockwell Automation*. Plex. Noudettu 3. marraskuuta 2025, osoitteesta <https://plex.rockwellautomation.com/en-us/industries/food-and-beverage.html>
- Saguy, I. S., & Sirobinskaya, V. (2014). Challenges in exploiting open innovation's full potential in the food industry with a focus on small and medium enterprises (SMEs). *Trends in Food Science & Technology*, 38(2), 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.05.006>
- SAP. (ei pvm.). *SAP S/4HANA Cloud Public Edition | SAP Help Portal | SAP Help Portal*. Noudettu 3. marraskuuta 2025, osoitteesta https://help.sap.com/docs/SAP_S4HANA_CLOUD?locale=en-US
- Statista. (2022). *Disruptive technologies for supply chain by 2025*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1182110/global-supply-chain-disruptions-technologies/>

- Statista. (2025, lokakuuta 17). *Estimated size of the cold chain logistics market worldwide in 2024, with a forecast through 2033*. <https://www-statista-com.ezproxy.utu.fi:2443/statistics/1107947/cold-chain-logistics-market-size-worldwide/>
- Teerasoponpong, S., & Sopadang, A. (2022). Decision support system for adaptive sourcing and inventory management in small- and medium-sized enterprises. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 73, 102226. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102226>
- Yadav, V. S., Singh, A. R., Gunasekaran, A., Raut, R. D., & Narkhede, B. E. (2022). A systematic literature review of the agro-food supply chain: Challenges, network design, and performance measurement perspectives. *Sustainable Production and Consumption*, 29, 685–704. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.019>
- Yadav, V. S., Singh, A. R., Raut, R. D., Kumar Mangla, S. K., Luthra, S., & Kumar, A. (2022). Exploring the application of Industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: A systematic literature review. *Computers and Industrial Engineering*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108304>
- Yaveon. (2025, kesäkuuta 3). *ERP for Food & Beverages | Full control of batches*. <https://www.yaveon.com/en/industries/food-and-beverage-erp/>
- Zuo, J., Feng, J., Gameiro, M. G., Tian, Y., Liang, J., Wang, Y., Ding, J., & He, Q. (2022). RFID-based sensing in smart packaging for food applications: A review. *Future Foods*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100198>

Liitteet

1

1 Tekoölyn käyttö

Tutkielman kirjoittamisen aikana hyödynsin tekoölyä useissa rajatuissa ja ohjeistuksen mukaisissa tehtävissä. Ensisijaisesti tekoölyä käytettiin kielenhuollossa ja tekstin sujuvoittamisessa, esimerkiksi lauserakenteiden selkeyttämiseen ja synonyymien tarkistamiseen, jotta teksti olisi yhtenäistä ja akateemista. Lisäksi tekoölyä hyödynnettiin rakenteen hahmottamisessa, kuten otsikoinnin ja luvun 6 eli yhteenvedon ja johtopäätösten luonnostelussa. Tekoöly auttoi myös sisällön tiivistämisessä ja tutkimuskysymyksiin vastaamisen jäsentämisessä, mutta kaikki lopulliset muotoilut ja sisällön tarkistukset tein itse lähteiden pohjalta.

Lisäksi hyödynsin ChatGPT 5 tekoölymallin "deep rersarch" toimintoa luvun 3.1 verkkohakuun löytämään elintarvikealalle toiminnanohjausjärjestelmien palveluntarjoajia. Tämä vähensi paljon manuaalista työtä ja tarkistin yksitellen kaikki lähteet.