



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Vihreä siirtymä verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksissa kaupunkialueilla

Toimitusketjujen johtamisen kandidaatintutkielma

Laatija:

Veeti Metsäaho

Ohjaaja:

TkT Riikka Kaipia

10.12.2024

Turku

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

Kandidaatintutkielma

Oppiaine: Toimitusketjujen johtaminen

Tekijä: Veeti Metsäaho

Otsikko: Vihreä siirtymä verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksissa kaupunkialueilla

Ohjaaja: TkT Riikka Kaipia

Sivumäärä: 37 sivua

Päivämäärä: 10.12.2024

Verkkokaupan nopea kasvu yhdistettynä globaaliin kaupungistumiskehitykseen on asettanut uudenlaisia haasteita verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksille. Tämä toimitusketjun viimeinen vaihe on logistisesti haastavin ja samalla kallein osa, koska yksittäisten lähetysten toimittaminen laajalle asiakaskunnalle on tehotonta ja sitoo runsaasti resursseja. Lisäksi viimeisen kilometrin toimitukset muodostavat merkittävän osuuden toimitusketjun kokonaispäästöistä, mikä tekee niiden kehittämisestä kriittistä vihreän siirtymän näkökulmasta. Tämä tutkielma analysoi, millaisia ratkaisuja voidaan hyödyntää verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksissa kestävyuden lisäämiseksi sekä millaisia esteitä ja haasteita näiden ratkaisujen käyttöönotossa on tunnistettavissa.

Tutkimus tuo esille useita vihreän siirtymän mahdollisuuksia, kuten teknologisten innovaatioiden, esimerkiksi sähköajoneuvojen, rahtipolkupyörien, droonien ja autonomisten jakelurobottien, hyödyntämisen. Näillä ratkaisuilla voidaan vähentää kuljetusten ympäristövaikutuksia ja samalla tehostaa toimituksia erityisesti kaupunkialueilla. Samalla logistiset innovaatiot, kuten pakettiautomaatit ja mikrokonsolidointikeskukset, tarjoavat mahdollisuuksia yhdistellä lähetyksiä ja optimoida reittejä, mikä vähentää yksittäisiä ajokilometrejä ja parantaa resurssitehokkuutta. Näiden innovaatioiden laaja käyttöönotto kuitenkin edellyttää huomattavia investointeja, kuten ajoneuvojen ja infrastruktuurin uusimista, sekä kaupunkirakenteen mukauttamista uusiin logistiikkavaatimuksiin.

Haasteet eivät rajoitu pelkästään teknisiin ja taloudellisiin kysymyksiin, vaan myös kuluttajakäyttäytymisellä on oma roolinsa. Monet kuluttajat odottavat nopeita ja mukavia toimituksia, mikä voi vähentää kiinnostusta ympäristöystävällisempiin, mutta mahdollisesti hitaampiin vaihtoehtoihin. Lisäksi kaupunkialueiden rakenteelliset ongelmat, kuten ruuhkat, kapeat tiet ja rajalliset pysäköintimahdollisuudet, tekevät toimitusten optimoinnista haastavaa. Tietoisuuden lisääminen kestävästä vaihtoehdoista ja niiden esittäminen houkuttelevina oletusvaihtoehtoina voivat kuitenkin tukea kuluttajien käyttäytymisen muutosta ja edistää ympäristötavoitteiden saavuttamista.

Tutkielma korostaa, että vihreän siirtymän onnistuminen vaatii kokonaisvaltaista lähestymistapaa, jossa teknologiset innovaatiot, logistiset parannukset ja sidosryhmien tiivis yhteistyö kytkeytyvät toisiinsa. Verkkokauppojen, logistiikkayritysten, julkisen sektorin ja kuluttajien aktiivinen osallistuminen on keskeistä, jotta kaupunkilogistiikan tulevaisuudesta voidaan rakentaa sekä taloudellisesti että ekologisesti kestävä.

Avainsanat: Viimeisen kilometrin toimitus, vihreä siirtymä, verkkokauppa, kaupunkilogistiikka

SISÄLLYS

1	Johdanto	7
1.1	Tausta	7
1.2	Keskeiset käsitteet ja määritelmät	8
1.3	Tutkielman tavoitteet ja tutkimuskysymykset	8
1.4	Tutkielman rakenne	9
2	Verkkokauppa	10
2.1	Myynnin kehitys	10
2.2	Viimeisen kilometrin haasteet ja ympäristövaikutukset	11
2.2.1	Kotiinkuljetuksen haasteet	12
2.2.2	Verkkokaupan ympäristövaikutukset suhteessa kivijalka-asiointiin	13
3	Vihreä siirtymä: välttämätön kehitysaskel	15
3.1	Ilmastonmuutoksen uhka	15
3.2	Säätely ja kansainväliset sopimukset	15
3.2.1	Euroopan komission valkoinen kirja	15
3.2.2	Pariisin ilmastopöytäkirja	16
3.2.3	The European Green Deal	17
3.3	Kuluttajan vastuu vihreän siirtymän edistäjänä	17
4	Verkkokaupan vihreä viimeinen kilometri: potentiaaliset ratkaisut	19
4.1	Kestävät ja teknologiset kuljetusratkaisut	19
4.1.1	Polttomoottoreista sähkövoimaan	19
4.1.2	Rahtipolkupyörät jakelun tukena	20
4.1.3	Droonit: tulevaisuuden teknologia	21
4.1.4	Autonomiset jakelurobotit kuriireina	22
4.2	Logistiset innovaatiot	23
4.2.1	Pakettiautomaatit kotiinkuljetuksen vaihtoehtona	23
4.2.2	Mikrokonsolidointikeskukset	24
4.2.3	Crowdshipping-toimintamalli	25
4.3	Tekoälyn mahdollisuudet vihreän siirtymän edistäjänä	26
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	27
5.1	Tulokset	27

5.2 Jatkotutkimus

30

Lähteet

32

KUVIOT

Kuva 1 Verkkokaupan vähittäismyynti maailmanlaajuisesti (Statista 2023)	10
Kuva 2 Verkkokaupan osuus vähittäismyynnistä maailmanlaajuisesti (Statista 2024)	11
Kuva 3 Verkkokaupan viimeisen kilometrin haasteet, Mukaellen: (Mohammad ym. 2023; Boysen ym. 2021)	11
Kuva 4 Verkkokaupan logistiikan ympäristövaikutukset maailman 100 suurimmassa kaupungissa (Statista 2019)	12
Kuva 5 Kansainvälisten verkkokauppatilausten kuljetusvaihtoehdot, Mukaellen: (Cheah & Huang 2021)	18
Kuva 6 Toimitusprosessi, Mukaellen: (Mohammad ym. 2023)	19

TAULUKOT

Taulukko 1 Verkkokaupan viimeisen kilometrin toimitusratkaisut ja niiden vaikutukset vihreään siirtymään	28
Taulukko 2 Keskeiset esteet ja haasteet verkkokaupan viimeisen kilometrin toimitusten vihreän siirtymän edistämiseksi	29

1 Johdanto

1.1 Tausta

Kaupungistumisen sekä verkkokaupan kasvun myötä tavaraliikenteen volyyymi kaupungeissa on viime vuosina noussut merkittävästi (Mucowska 2021). Verkkokauppa mahdollistaa nykyisin lähes kaikenlaisten hyödykkeiden tilaamisen suoraan kotiovelle, ja kuluttajat ovat omaksuneet tämän kulutusmallin laajamittaisesti. Ilmiö on havaittavissa pakettitoimitusten räjähdysmäisenä kasvuna, joka aiheuttaa myös sosiaalisia ja ympäristöä kuormittavia ongelmia. (de Araújo ym. 2020) Tämä näkyy varsinkin toimitusketjun viimeisessä linkissä eli viimeisen kilometrin toimituksissa, jotka suurelta osin suuntautuvat urbaaneihin kaupunkiympäristöihin. Vaikka Patellan ym. (2021) mukaan verkkokauppa on monien mittareiden perusteella jopa ympäristöystävällisempi ratkaisu kivijalkaliikkeisiin verrattuna, niin enenevässä määrin keskustoissa ja ihmisten asuinalueilla liikkuvat jakeluautot tuovat mukanaan esimerkiksi saasteita ja meluhaittoja (Boysen ym. 2021). Samaan aikaan päätöksentekoelementit, kuten Euroopan unioni (EU) ovat lisänneet päästövähennystavoitteita, joihin yritysten on yllettävä. Tämä on ajanut monet logistiikkayritykset esimerkiksi uudistamaan polttomoottorikalustoaan ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin, kuten sähköautoihin. (Todorov ym. 2024)

Vihreä siirtymä, eli siirtyminen kohti vähäpäästöisiä ja resurssitehokkaita toimintamalleja, koskettaa jokaista sektoria ja on erityisen merkittävä myös verkkokaupan logistiikassa. Verkkokaupan viimeisen kilometrin toimitukset muodostavat kasvavan osan kaupunkialueiden kuljetuksista ja niiden päästöistä. (Batrancea ym. 2021; Ranieri ym. 2018) Tämä siirtymä edellyttää fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämistä ja siirtymää kohti hiilineutraaleja ja uusiutuvia energiamuotoja sekä uusien, kestävien toimintatapojen implementointia. (Afshan ym. 2022; Todorov ym. 2024)

Verkkokaupan viimeisen kilometrin toimitusten perinteinen toimintamalli, jossa kuriiri noutaa varastolta tai logistiikkakeskuksesta täyteen lastatun dieselkäyttöisen ajoneuvon ja toimittaa lähetyksiä asiakkaille yksittäin, on vihreän siirtymän tavoitteiden sekä lisääntyneen kysynnän myötä kehittymässä monimuotoisemmaksi ja innovatiivisemmaksi. Kauppojen ja muiden toimipaikkojen yhteyteen on ilmestynyt pakettiautomaatteja, joiden kautta asiakkaat voivat noutaa tilauksensa itsepalveluna, mahdollistaen näin suuremman toimitusvolyymin tehokkaamman käsittelyn. Lisäksi uudet toimitusmuodot, kuten droonit ja robottikuriirit, ovat yleistymässä, tarjoten vaihtoehtoisia ratkaisuja jakeluun. (Viu-Roig & Alvarez-Palau 2020) Verkkokaupan kasvaessa on myös

kuluttajien palvelun laatuvaatimukset tiukentuneet. Vaikka ympäristöystävällisyys on monille kuluttajille tärkeä arvo, nousevat ensisijaisiksi tekijöiksi usein palvelun nopeus ja tehokkuus. Tämä asettaa yrityksille lisäpaineita täyttää tiukat aikataulut samalla kun niiden odotetaan vastaavan kasvaviin kestäväen kehityksen vaatimuksiin, mikä siirtää ympäristövastuun merkittävältä osin yrityksille. (Gevaers ym. 2014)

1.2 Keskeiset käsitteet ja määritelmät

Vihreä siirtymä tarkoittaa markkinatalouden rakenteiden uusimista kohti kestävämpää talousmallia, jossa luonnonvarojen ja ympäristön kestävä hyödyntäminen ovat pääosassa. Keskeinen tavoite on siirtyä talousjärjestelmään, joka mahdollistaa talouskasvun ja hyvinvoinnin ilman tulevien sukupolvien mahdollisuuksien heikentymistä. Tähän sisältyy kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja kestävien energiamuotojen sekä toimintatapojen käyttöönotto. (Batrancea ym. 2021)

Verkkokauppa (*engl. e-commerce*) on kaupankäynnin muoto, jossa tavaroita tai palveluita hankitaan sähköisten, internetiin kytkeytyvien alustojen kautta. Tämä kaupankäyntimuoto mahdollistaa nykyään helpon pääsyn laajaan valikoimaan tuotteita, jotka voidaan toimittaa nopealla aikataululla. (Mucowska 2021)

Viimeinen kilometri (*engl. Last mile*) määritellään toimitusketjun viimeiseksi vaiheeksi, jossa tavarat, kuten verkkokauppaostokset, toimitetaan kaupunkialueella loppuasiakkaalle. Viimeinen kilometri alkaa, kun tavara saapuu pitkän matkan kuljetuksella jakeluterminaaliin tai -varastoon, ja päättyy joko suorana toimituksena asiakkaalle tai noutopisteeseen, josta asiakas noutaa tavaransa itse. (Boysen ym. 2021)

Kaupunkialue määritellään tässä tutkielmassa *Degree of Urbanisation* -luokittelujärjestelmän perusteella, jonka mukaan alue määritellään kaupungiksi, jos sen väestötiheys on vähintään 1500 asukasta per neliökilometri ja väestökeskittymän koko on vähintään 50 000 asukasta. Lisäksi kaupunkialueeseen lasketaan mukaan sen ympärillä oleva vaikutusalue, josta suuri osa ihmisistä kulkee esimerkiksi töihin. (Dijkstra ym. 2021)

1.3 Tutkielman tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkielman tavoitteena on tarkastella vihreän siirtymän näkökulmasta, miten verkkokaupat yhdessä logistiikkayritysten kanssa voivat edistää toimitusprosessien kestävyyttä kaupunkialueilla, samalla kun ne vastaavat kasvavaan toimituskysyntään. Tutkielmassa selvitetään, mitä vihreä siirtymä

käytännössä tarkoittaa verkkokaupan toimitusten kontekstissa, ja mikä on esimerkiksi sääntelyn ja kuluttajien rooli sen edistämässä. Tutkielman pääpaino on tarkastella, millaisia vihreän logistiikan innovaatioita on jo otettu käyttöön viimeisen kilometrin toimituksissa, ja mitkä innovaatiot vaativat vielä kehitystyötä saavuttaakseen laajemman käyttöasteen. Lisäksi tarkastellaan näiden innovaatioiden ja toimintamallien käyttöönoton keskeisimpiä esteitä ja haasteita. Tämän lisäksi pyritään tunnistamaan yleisesti keskeisiä haasteita, joita vihreän siirtymän edistäminen kaupunkialueiden verkkokauppatoimituksissa kohtaa. Näiden tavoitteiden pohjalta tutkielman tutkimuskysymykset ovat:

- 1. Millaisilla verkkokaupan viimeisen kilometrin toimitusratkaisuilla voidaan edistää kaupunkilogistiikan vihreän siirtymän tavoitteita?*
- 2. Mitkä ovat keskeisimmät esteet ja haasteet kaupunkilogistiikan vihreän siirtymän tavoitteiden edistämässä verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksissa?*

1.4 Tutkielman rakenne

Tutkielma etenee niin, että luvussa 2 käsitellään verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksiin liittyviä keskeisiä haasteita, kuten kasvaneita toimitusvolyymeja, ruuhkia ja päästöjä, sekä kotiinkuljetusten ja kivijalkamyymälöiden kestävyyseroja.

Luvussa 3 tarkastellaan vihreää siirtymää kaupunkilogistiikan näkökulmasta, erityisesti sääntelyn, kuluttajien roolin ja eri sidosryhmien vastuiden kautta.

Luvussa 4 esitellään keskeisiä innovaatioita, kuten sähköajoneuvoja ja pakettiautomaatteja, sekä arvioidaan niiden hyötyjä ja haasteita kestävä logistiikan edistämässä.

Luvussa 5 kootaan yhteen tutkimuksen löydökset, vastataan tutkimuskysymyksiin ja esitetään suosituksia jatkotutkimukselle.

2 Verkko kauppa

Tässä luvussa käsitellään verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksiin liittyviä keskeisiä haasteita. Tarkastelu kohdistuu erityisesti kasvaneisiin toimitusvolyymeihin, jotka lisäävät ruuhkia ja ympäristövaikutuksia kaupunkialueilla. Lisäksi luvussa analysoidaan kotiinkuljetusten haasteita, kuten hajanaisia toimitusreittejä ja tehottomuutta, sekä verkkokaupan ja kivijalkamyymälöiden välisiä eroavaisuuksia kestävyuden näkökulmasta.

2.1 Myynnin kehitys

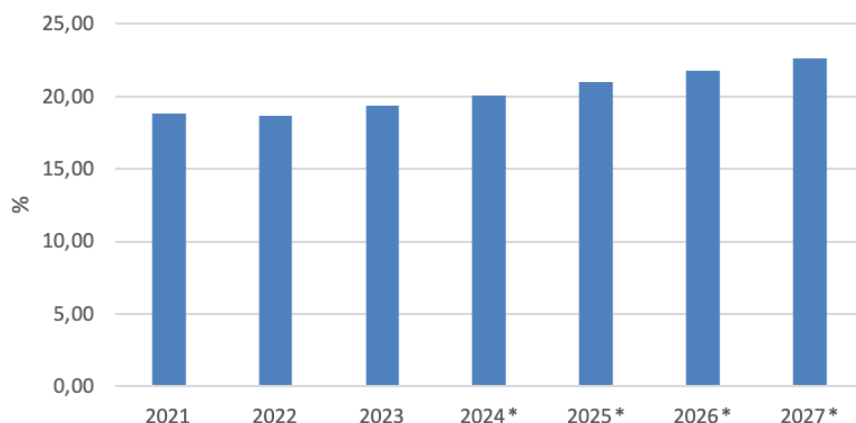
1990-luvun alussa kehitetty verkkoselain, WWW (World Wide Web), avasi internetin kuluttajakäyttöön ja sen suosio alkoi vuosikymmenen edetessä kasvamaan. Tämän kehityksen myötä alkoi syntyä myös uusia kaupankäyntimuotoja, jolloin ensimmäiset verkkokaupat perustettiin. (Chu ym. 2007) Verkkokaupan suosio on kasvanut tasaisesti siitä lähtien, ja älypuhelimien kehityksen myötä 2010-luvulta saakka siitä on tullut todella nopeasti kasvava ala. (Mucowska 2021) Kasvun ennustetaan myös jatkuvan jyrkkänä lähivuosina (Statista 2023). (Kuva 1)



Kuva 1 Verkkokaupan vähittäismyynti maailmanlaajuisesti (Statista 2023)

Verkkokauppa on myös tasaisesti kasvattanut osuuttaan myyntikanavana globaaleissa tilastoissa, ja varsinkin Covid-19 pandemian johdosta sen suosio kasvoi entisestään. Nopeinta kasvu on ollut Latinalaisessa Amerikassa. (Statista 2024) (Kuva 2)

Verkkokaupan osuus vähittäismyynistä maailmanlaajuisesti



Kuva 2 Verkkokaupan osuus vähittäismyynistä maailmanlaajuisesti (Statista 2024)

2.2 Viimeisen kilometrin haasteet ja ympäristövaikutukset

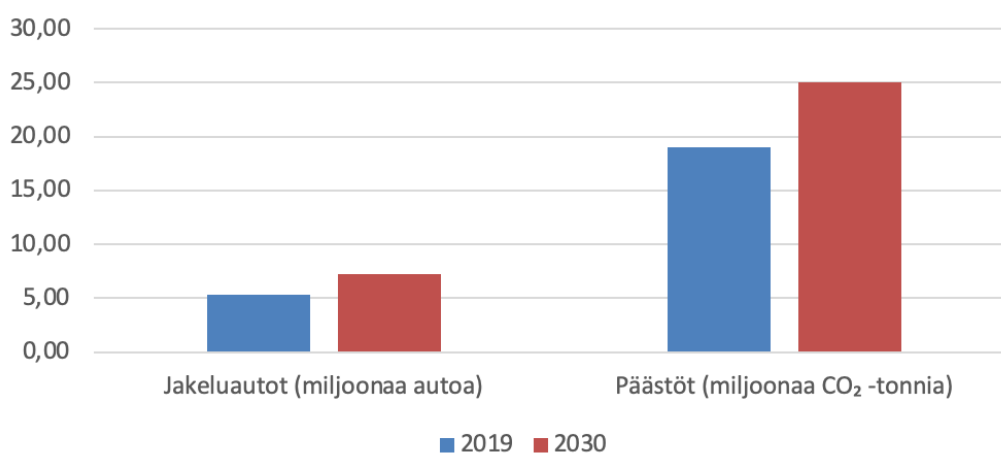
Viimeinen kilometri on toimitusketjun haastavin ja kallein yksittäinen vaihe. Tämä johtuu siitä, että varsinkin verkkokauppatilauksissa lähetyksiä joudutaan toimittamaan yksitellen, mikä sitoo paljon resursseja ja tekee jakelusta tehotonta. (Ranieri ym. 2018) Viimeisen kilometrin jakelun tehottomuus lisää merkittävästi kustannuksia, kun jakeluautoja on liikkeellä paljon, mutta niiden kapasiteetti ei välttämättä ole optimaalinen johtuen pyrkimyksestä täyttää nopeat toimitusaikavaatimukset. (Demir ym. 2022) Jakeluautot lisäävät ruuhkia ja heikentävät ilmanlaatua kaupungeissa, ja verkkokaupan kasvun myötä lisääntynyt kuljetustarve vain lisää näitä ongelmia. Polttomootoriautoista vapautuu haitallisia hiukkaspäästöjä, jotka tuhoavat paikallista ilmanlaatua. Lisäksi hiilidioksidipäästöt kiihdyttävät kasvihuoneilmiötä ja siten ihmisistä johtuvaa ilmastonmuutosta. (Jaller & Pahwa 2020)



Kuva 3 Verkkokaupan viimeisen kilometrin haasteet, Mukaellen: (Mohammad ym. 2023; Boysen ym. 2021)

Kaupungistumisen myötä yhä suurempi osa väestöstä asuu tiheään asutuissa kaupungeissa, mikä lisää ruuhkia ja liikenteen kuormitusta entisestään. Tämä kehitys hankaloittaa kestävien toimitusten toteutusta, kun jakeluautot seisovat ruuhkissa eivätkä pääse mutkattomasti kulkemaan kohteisiin. (Russo & Comi 2012; Anderluh ym. 2017) Ruuhkat eivät pelkästään hidasta toimituksia, vaan lisäävät polttoaineen kulutusta, minkä lisäksi esimerkiksi melusaasteet alentavat kaupunkien viihtyvyyttä (Demir ym. 2022). Myös kaupunkien rakenteelliset rajoitteet, kuten kapeat tiet tai parkkipaikan löytämisen haasteet lisäävät toimitusten hankaluutta. Varsinkin monien kaupunkien keskustat ovat erittäin vaikeakulkuisia isojen ajoneuvojen kanssa. (Russo & Comi 2012; Anderluh ym. 2017) Lisäksi tiheät pysähdysvälit ja jokainen liikkeellelähtö lisäävät polttoaineen kulutusta ja kokonaispäästöjä (Ranieri ym. 2018). Jakeluautojen määrän sadassa maailman suurimmassa kaupungissa ennustetaan kasvavan kuluvan vuosikymmenen edetessä, mikä aiheuttaa lisää haasteita. (Statista 2019) (Kuva 4)

Verkkokaupan logistiikan ympäristövaikutukset maailman 100 suurimmassa kaupungissa



Kuva 4 Verkkokaupan logistiikan ympäristövaikutukset maailman 100 suurimmassa kaupungissa (Statista 2019)

2.2.1 Kotiinkuljetuksen haasteet

Kotiinkuljetusta pidetään usein haastavimpana alueena verkkokaupan toimituksista. Jokainen uusi tilaaja tarkoittaa käytännössä uutta toimitusosoitetta, jolloin kuriirille tulee päivän aikana merkittävä määrä pysähdyksiä. Perinteisillä ajoneuvoilla suoritetuilla toimitustavoilla on enää mahdoton vastata kasvaneeseen kysyntään kestäväällä tavalla. (Mohammad ym. 2023) Lisäksi asiakkaiden odotukset yhä nopeammista toimituksista tuottaa uusia haasteita. Monet yritykset pyrkivät

käsittämään ja pakkaamaan tilaukset jopa saman päivän aikana, mutta toimitusketjun viimeinen linkki, eli viimeinen kilometri, muodostuu usein pullonkaulaksi. (Archetti & Bertazzi 2021)

Kotiinkuljetus palveluna on ollut käytössä jo pitkään ennen verkkokauppojen syntyä, jolloin kuluttajat saattoivat tilata kotiinsa esimerkiksi huonekaluja. Verkkokaupan nopean kasvun myötä toimitusvolyymit ovat kasvaneet merkittävästi, mikä on saanut kuriiripalvelut asettamaan aikaikkunoita lähetyksille. Aikaikkunat pyritään usein määrittämään pitkiksi, jotta toimituksiin saadaan joustavuutta. Tämä on johtanut yhteen keskeisimmistä kotiinkuljetuksen haasteista, joka on asiakkaan tavoittaminen toimitushetkellä. (Visser ym. 2014) Kun asiakas on muualla kuin toimitusosoitteessa vastaanottamassa pakettia, palautuu se yleensä kuljetusyhtiön logistiikkakeskukseen odottamaan mahdollista uudelleenkuljetusta tai asiakkaan noutoa. Tämä lisääntynyt liikkuvuus lisää saasteita, kuormittaa liikennettä entisestään ja luo turhia lisäkustannuksia. (Song ym. 2009) Yksityishenkilöiden kohdalla toimitukset ovat useimmiten yhden paketin lähetyksiä, joten toimitustehokkuuden skaalautuvuus on haastavaa. Ongelmia tuottaa myös vaikeasti löydettävät osoitteet ja epäselvästi merkityt toimitusohjeet. (Deutsch & Golany 2018)

Vaikka suurin osa verkkokaupan toimituksista suuntautuu kaupunkeihin, on haja-asutusalueilla omat erityiset haasteensa. Pitkät toimitusmatkat lisäävät kustannuksia, kun yksittäisiä lähetyksiä joudutaan kuljettamaan tehottomasti, minkä lisäksi pienemmät toimitusvolyymit vaikeuttavat toimitusten optimointia. Moni kuluttaja valitsee haja-asutusalueilla noutopisteen kotiinkuljetuksen sijasta kustannussäästöjen vuoksi. (Markowska & Marcinkowski 2022)

2.2.2 Verkkokaupan ympäristövaikutukset suhteessa kivijalka-asiointiin

Verkkokaupan ympäristövaikutukset suhteessa kivijalkaliikkeisiin riippuvat pitkälti siitä, korvataanko sillä kivijalka-asiointi kokonaan, vai lisääkö se päästöjä ja liikennettä perinteisen asioinnin rinnalla. Lisäksi verkkokauppaostoksilla on tiettyjä piirteitä, jotka vaikuttavat negatiivisesti ympäristöön. Usein verkkokauppatilaukset ovat pienempiä ja niitä joudutaan toimittamaan yksitellen verrattuna siihen, että kuluttaja hakisi kaikki tarvitsemansa tuotteet samalla matkalla eri kivijalkakaupoista. Nopeat toimitusajat korostavat näitä ongelmia, kun ostoksia ei pystytä välttämättä optimaalisesti toimittamaan samaan aikaan. (Jaller & Pahwa 2020) Tämän lisäksi verkkokaupasta tilatut tuotteet joudutaan käärimään pakkausmateriaaleihin, etteivät ne vaurioitu kuljetuksessa. Tämä lisää osaltaan tilauskohtaista ympäristökuormaa, varsinkin jos pakkauksissa ei hyödynnetä uusiutuvia materiaaleja. (Escursell ym. 2021)

Yleisesti vallitseva mielikuva, jota esimerkiksi media usein tukee, on, että verkkokauppa on aina ympäristön kannalta haitallisempi vaihtoehto verrattuna perinteisiin kivijalkaliikkeisiin. Tämä näkemys ei kuitenkaan ota huomioon esimerkiksi viimeisen kilometrin kuljetusmuodon valinnan ja reitin optimoinnin vaikutusta kokonaispäästöihin. (Siragusa & Tumino 2022) Näiden kahden kaupankäyntimuodon yksiselitteinen vertailu on haastavaa, mutta esimerkiksi Brownin ja Guiffridan (2014) mukaan tietyissä olosuhteissa verkkokauppa voi olla ympäristön kannalta kestävämpi vaihtoehto erityisesti silloin, jos kivijalkaliikkeistä haetut tavarat noudetaan yksittäisillä matkoilla, mikä lisää asiakkaan liikkumaa matkaa. Vastaavasti Siragusa ja Tumino (2022) vertailevat tutkimuksessaan ruoan verkkokaupan hiilijalanjälkeä verrattuna perinteiseen kivijalkaasiointiin ja toteavat, että optimaalisissa olosuhteissa verkkotilaukset voivat olla ekologisempia erityisesti tehokkaan reitityksen ansiosta.

3 Vihreä siirtymä: välttämätön kehitysaskel

Tässä luvussa tarkastellaan vihreän siirtymän taustaa ja keskeisiä ominaisuuksia erityisesti kaupunkilogistiikan näkökulmasta. Tarkastelu painottuu sääntelyn ja poliittisten toimenpiteiden rooliin sekä siihen, miten ne ohjaavat logistiikan toimintamalleja kohti kestävämpiä ratkaisuja. Lisäksi luvussa käsitellään kuluttajien roolia vihreän siirtymän edistämiseksi, erityisesti heidän päätöksensä ja käyttäytymisensä vaikutuksia kestävien toimitusratkaisujen kysyntään.

3.1 Ilmastonmuutoksen uhka

Ilmastonmuutos on yksi vakavimmista uhkista ihmiskunnalle tällä hetkellä. Muutos on jo käynnissä, mikä voidaan havaita esimerkiksi sään eri ääri-ilmiöiden lisääntymisenä, äärimmäisten lämpöjaksojen yleistymisenä sekä luonnon monimuotoisuuden köyhtymisenä. Esiteolliseen aikaan verrattuna maapallon keskilämpötila on noussut jo yhden asteen (1 °C), mikä on lisännyt mainittuja negatiivisia ilmiöitä. Nousun jatkuessa seuraukset voivat olla katastrofaaliset. (Hoegh-Guldberg ym. 2019) Päättäjät ympäri maailman ovatkin ryhtyneet toimiin ilmastonmuutoksen hidastamiseksi, joista merkittävin on vuonna 2015 solmittu Pariisin ilmastopöytäkirja. Euroopan Komission lanseeraama *The European Green Deal* puolestaan pyrkii EU:n sisäiseen hiilineutraaliuteen vuoteen 2050 mennessä. (ks. Luku 3.2)

Globaalien ongelmien lisäksi myös paikallisiin ympäristöongelmiin ja -haasteisiin on alettu kiinnittämään enemmän huomiota. Vihreä siirtymä koskee erityisesti logistiikkasektoria, ja verkkokaupan toimitukset, joista suurin osa kohdistuu kaupunkikeskeisiin, ovat merkittävä osa tätä. Yli puolet maailman väestöstä asuu nykyään kaupungeissa, ja vastaavasti Euroopassa kaupunkitumennusaste on lähes 75 %. Verkkokaupan lisääntyneet toimitukset ovat lisänneet osaltaan kaupunkien paikallisia ongelmia, kuten saasteita, ruuhkia ja meluhaittoja, mikä tekee vihreästä siirtymästä olennaisen osan tulevaisuuden kestävästä kaupunkilogistiikasta. (Mucowska 2021) Vihreän siirtymän keskiössä verkkokaupan toimituksissa ovat innovaatiot, jotka tehostavat jakelua ja hyödyntävät kestävämpiä energiamuotoja, kuten sähköautot ja pakettiautomaatit (ks. Luku 4). (Patella ym. 2021)

3.2 Sääntely ja kansainväliset sopimukset

3.2.1 Euroopan komission valkoinen kirja

Euroopan komission vuonna 2011 julkaisema valkoinen kirja (*Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system*), esittelee pitkän

ajan vision EU:n liikennejärjestelyiden kehityksestä. Sen tarkoituksena ei ole toimia lakikirjana, vaan strategisena tukena yrityksille ja muille toimijoille. Kirjan yhdeksi tavoitteeksi linjattiin kaupunkikuljetusten päästöttömyys vuoteen 2030 mennessä, mikä tarkoittaa merkittäviä uudistuksia verkkokaupan jakelussa. Lisäksi linjauksena oli vähentää kaikkien liikennemuotojen kasvihuonekaasupäästöjä 60 prosentilla vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 päästötasoon. (Euroopan komissio 2011)

Valkoinen kirja painottaa älykkäiden logistiikkaratkaisujen ja multimodaalikuljetusten merkitystä, jossa yhdistellään eri kuljetusmuotoja, kuten rahtipolkupyöriä ja pakettiautoja (ks. Luku 4). Lisäksi tulisi pyrkiä eroon fossiilisista polttoaineista panostaen kestävämpiin ratkaisuihin, kuten sähkövoimaan ja biopolttoaineisiin. Kaupunkien infrastruktuuria tulisi myös kehittää vastaamaan näitä tavoitteita esimerkiksi sähkölatausasemien lisäämisellä. Erilaisilla taloudellisilla kannustimilla voidaan myös motivoida yrityksiä investoimaan vihreämpään teknologiaan. Saavuttaakseen valkoisen kirjan linjaamat kunnianhimoiset tavoitteet, yritysten on pyrittävä innovatiiviseen kehitykseen ja edistämään kestävyden ja tehokkuuden parantamista kaikissa kuljetuksissa mukaan lukien verkkokaupan toimitukset. (Euroopan komissio 2011)

3.2.2 Pariisin ilmastopimus

Vuonna 2015 solmittu Pariisin ilmastopimus on toistaiseksi viimeisin globaali päästövähennysohjelma, jonka allekirjoitti 185 maata. Sen keskeinen tavoite on hidastaa ilmastonmuutoksesta johtuvaa maapallon keskilämpötilan nousua pitämällä se alle kahdessa asteessa esiteolliseen aikaan verrattuna, ja pyrkiä parhaassa tapauksessa rajaamaan nousu 1,5 asteeseen. Tämä auttaisi vähentämään ekosysteemien vaurioita merkittävästi. (Hoegh-Guldberg ym. 2019; Yhdistyneet kansakunnat 2015)

Pariisin ilmastopimuksen huomattavat päästövähennystavoitteet merkitsevät suuria muutoksia etenkin liikenteen ja logistiikan alueella. Rogelj ym. (2016) korostavat, että vaikka sopimukseen kuuluvat maiden kansalliset päästötavoitteet toteutuessaan vähentäisivät päästöjä, eivät nykyiset toimenpiteet yksinään riitä varmistamaan, että lämpötilan nousu pysyy alle kahdessa asteessa, vaan lämpötila voi nousta jopa 2,6–3,1 astetta vuoteen 2100 mennessä. Tämä tarkoittaa, että lisätoimenpiteitä tarvitaan, jotta tavoitteet saavutetaan ja ilmastonmuutoksen haittavaikutuksia voidaan tehokkaasti hillitä.

3.2.3 The European Green Deal

Kunnianhimoinen European Green Deal on Euroopan komission vuonna 2019 lanseeraama ohjelma, jonka päätavoitteena on saavuttaa hiilineutraalisuus EU:n sisällä vuoteen 2050 mennessä. Ohjelman keskeinen tavoite on kasvihuonekaasupäästöjen merkittävä vähentäminen unohtamatta kestäväää talouskasvua. Toisin kuin Euroopan komission valkoinen kirja, Green Deal ei toimi pelkkänä strategisena viitekehystenä, vaan se asettaa konkreettisia lainsäädäntötoimenpiteitä. Green Deal kattaa kaikki talouden sektorit ja luonnollisesti myös liikenteen ja logistiikan, jotka tuottavat suuren osan kokonaispäästöistä. (Euroopan komissio 2019)

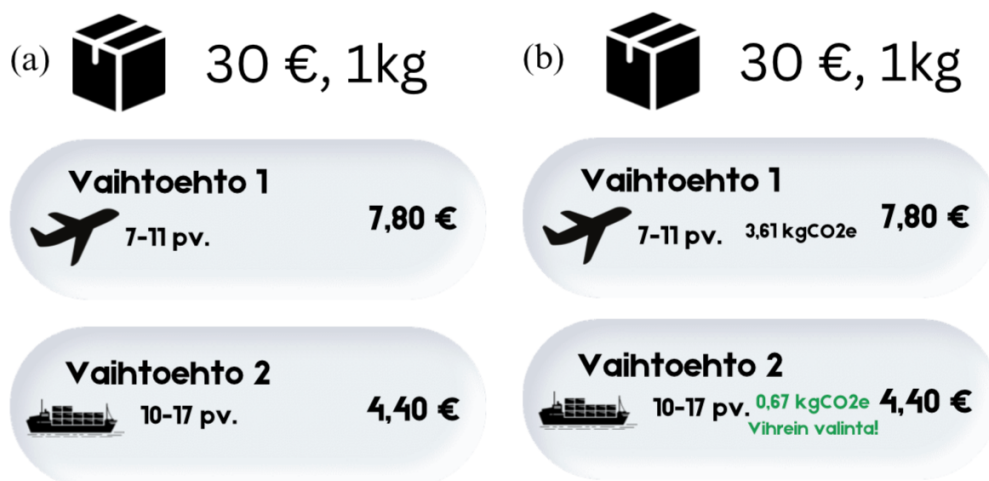
Yrityksille, jotka eivät seuraa ohjelman tavoitteita on luvassa taloudellisia pakotteita. Esimerkiksi päästökauppajärjestelmä EU ETS (EU Emissions Trading System) asettaa rajoituksia yritysten hiilidioksidipäästöille, joiden ylittämistä saattaa joutua maksamaan tuntuvia sakkoja. Lisäksi ohjelmaan kuuluu keskeisenä hiilirajamekanismi CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism), jonka tarkoituksena on asettaa lisämaksuja EU:n ulkopuolelta tuotaviin hyödykkeisiin, mikäli niiden tuotanto ylittää vaaditut päästöstandardit. Green Deal ei kuitenkaan keskity pelkkiin sanktioihin, vaan se pyrkii myös erilaisilla kannustumilla vaikuttamaan yritysten toimintaan esimerkiksi tukemalla yrityksiä, jotka investoivat vähähiilisiin teknologioihin. (Paleari 2022) (Euroopan komissio 2019)

3.3 Kuluttajan vastuu vihreän siirtymän edistäjänä

Nogueira ym. (2021) kartoittivat kyselytutkimuksessaan kuluttajien verkkokauppaostosten toimitustavan valintaa. Tutkimuksesta ilmeni, että vaikka kuluttajat ovat enenevässä määrin yhä tietoisempia ja kiinnostuneempia ympäristöongelmista, niin verkkokauppaostosten tilaushetkellä toimituksen loppuhinta sekä nopeus ovat yhä keskeisiä valintakriteerejä. Kuluttajat eivät yleensä ole valmiita tekemään kompromisseja ekologisempien toimitusvaihtoehtojen puolesta, mikä ilmenee haluttomuutena maksaa lisäkustannuksia, odottaa toimitusta pidempään tai noutaa sitä itse. Kuluttajat valitsevat usein itselleen käytännöllisen vaihtoehdon, kuten nopean kotiinkuljetuksen, varsinkin, jos se on saman hintainen kuin muut vaihtoehdot. (Nogueira ym. 2021) Gevaersin ym. (2014) mukaan kuluttajat myös odottavat yhä nopeampia ja täsmällisempiä toimituksia, eivätkä ole keskimäärin valmiita maksamaan ekstraa vihreämmästä kuljetuksesta, vaikka vaativatkin ympäristöystävällisempiä ratkaisuja toimittajalta.

Nogueiran ym. (2021) mukaan, saadakseen kuluttajien arvomaailman muuttumaan teoiksi tilaushetkellä, verkkokauppojen tulisi tarjota näkyvämmiin tietoa eri toimitusvaihtoehtojen

ympäristövaikutuksista. Sallnäs & Björklund (2020) puoltavat näitä näkemyksiä ja toteavat tiedonpuutteen olevan isoin este sille, miksi kuluttajat eivät valitse kestävämpiä toimitustapoja. Verkkokaupat ulkoistavat yleensä logistiikkansa kolmansille osapuolille, jotka suorittavat lopulliset toimitukset, mutta verkkokauppojen tehtävänä on kuitenkin tarjota kuluttajille tietoa ekologisista toimitusvaihtoehdoista. Kuluttajat myös valitsevat ekologisemman vaihtoehdon todennäköisemmin, jos se asetetaan oletukseksi toimitustapaa valittaessa. (Sallnäs & Björklund 2020) Kansainvälisten verkkokauppatilausten toimitusten lopullisiin päästöihin vaikuttaa olennaisesti myös pitkän matkan kuljetustapa, jolla ne saapuvat kohdemaahan odottamaan viimeistä jakelua. Cheah ja Huang (2021) huomasivat, että yli puolet kuluttajista valitsevat vähemmän saastuttavan laivakuljetuksen nopeamman lentokuljetuksen sijaan, jos toimitustavan valinnassa on selkeästi tuotu esille eri vaihtoehtojen ympäristökuormat (Kuva 5). (Cheah & Huang 2021)



Kuva 5 Kansainvälisten verkkokauppatilausten kuljetusvaihtoehdot, Mukaellen: (Cheah & Huang 2021)

4 Verkkokaupan vihreä viimeinen kilometri: potentiaaliset ratkaisut

Tässä luvussa tarkastellaan keskeisiä kirjallisuudessa esiintyviä toimitusratkaisuja, joilla verkkokaupat yhdessä logistiikkayritysten kanssa pyrkivät edistämään vihreää siirtymää sekä tehostamaan jakelua viimeisen kilometrin toimituksissaan. Nämä ratkaisut tavoittelevat pienempiä kokonaispäästöjä, tehokkaampaa reittioptimointia sekä toimitusten joustavuutta.

Verkkokaupan nopea kasvu on asettanut uudenlaisia vaatimuksia viimeisen kilometrin jakelulogistiikalle. Pyrkiväkseen edistämään vihreää siirtymää ja tyydyttääkseen kasvavan toimituskysynnän on yritysten täytynyt kehittää uusia monimuotoisempia toimitustapoja. Perinteisten rekka- ja pakettiautoitoimitusten yhteyteen on otettu käyttöön esimerkiksi polkupyörälähetettäjä ja autonomisia drooneja, jotka voivat toimittaa kevyitä lähetyksiä nopeammin ja täsmällisemmin. (Archetti & Bertazzi 2021) Euroopan ympäristökeskuksen (2022) raportti tukee näiden innovaatioiden implementoinnin merkitystä ja korostaa esimerkiksi älykkäiden logistiikkaratkaisujen roolia päästöjen vähentämisessä.

KLASSINEN VIIMEISEN KILOMETRIN TOIMITUS



INNOVATIIVISIA TOIMITUSVAIHTOEHTOJA



Kuva 6 Toimitusprosessi, Mukaellen: (Mohammad ym. 2023)

4.1 Kestävät ja teknologiset kuljetusratkaisut

4.1.1 Polttomoottoreista sähkövoimaan

Sähkömoottoriajoneuvot tarjoavat potentiaalisen ratkaisun kaupunkien ilmanlaadun parantamiselle sekä meluhaittojen vähentämiselle, minkä lisäksi niiden käyttökustannukset voivat olla

huomattavasti pienemmät verrattuna perinteisiin dieselautoihin (Duarte ym. 2016). Paikallisten hyötyjen lisäksi Giordano ym. (2018) esittävät, että korvaamalla vanhat dieselkäyttöiset jakeluautot sähkömoottorikäyttöisillä ajoneuvoilla, voidaan saavuttaa jopa noin 90 % matalammat kokonaishiilidioksidipäästöt. Toisaalta sähkön tuottotapa vaikuttaa merkittävästi kokonaispäästöjen arviointiin, ja esimerkiksi hyödyntämällä hiilivoimalla tuotettua sähköä akkujen lataamisessa päästövähennykset jäävät vain noin kymmenesosaan verrattuna puhtaampaan, uusituvalla energiamuodolla tuotettuun sähköön.

Yksi keskeisistä esteistä sähköautojen käyttöönotossa on latausinfrastruktuurin puutteet sekä rajallinen toimintamatka, joka voi pitkillä reiteillä muodostua ongelmaksi, jos ajoneuvo on hetkellisesti poissa käytöstä pitkien latausaikojen vuoksi. (Anosike ym. 2023) Iwan ym. (2021) Tutkivat sähköpakettiautojen soveltuvuutta valmiille jakelureitille ja totesivat, että riittävän lyhyillä reiteillä latausinfrastruktuurin puute ei kuitenkaan muodostu ongelmaksi, vaikka tiheät pysähdykset kuluttavatkin paljon energiaa. Paikallisten päästöjen pudotessa nollaan, sähköauto tuo silti tarvittavan helpotuksen kaupunkien ilmanlaatuongelmiin. (Iwan ym. 2021)

Suurimpana esteenä sähkömoottoriajoneuvojen käyttöönotolle voidaan pitää alkuinvestoinnin korkeaa hintaa, joka voi kaupungista ja maasta riippuen olla jopa kaksinkertainen polttomoottoreihin verrattuna, mikä tekee niistä epähoukuttelevan vaihtoehdon monille yrityksistä. Kuitenkin pitkän aikavälin taloudellisia hyötyjä arvioitaessa ne ovat kilpailukykyinen vaihtoehto, mikäli niiden käyttöaste pysyy optimaalisena. Myös paikallinen lainsäädäntö ja esimerkiksi sähköajoneuvoille myönnetyt tietullihelpotukset vaikuttavat kokonaiskustannuksiin pitkällä aikavälillä. Kasvihuonekaasuja ja ilmansaasteita tarkasteltaessa sähkömoottoreiden ympäristöhyödyt kasvavat käyttökapasiteetin kasvaessa. (Siragusa ym. 2022)

Rastanin ym. (2019) mukaan ympäristön lämpötila on myös merkittävä tekijä sähköautojen tehokkuudelle, sillä kylmät lämpötilat lisäävät energiankulutusta huomattavasti. Energiankulutus voi nousta jopa 80 %, kun autojen lämmittämiseen kuluu enemmän energiaa ja akkujen teho on matalampi. Nämä havainnot on syytä huomioida suunniteltaessa sähköauton käyttöönottoa esimerkiksi pohjoismaissa, joissa kylmät talvikuukaudet ovat tavallisia.

4.1.2 Rahtipolkupyörät jakelun tukena

Parkkipaikan löytäminen varsinkin tiheään asutuilla kaupunkialueilla on yksi keskeisistä haasteista pakettiautoilla suoritetuille toimituksille. Yksi ratkaisu tähän ongelmaan on hyödyntää rahtipolkupyöriä, jotka tarjoavat ketterän ja ympäristöystävällisen avun toimituksille. Pyörät voivat

olla lihas- tai sähkökäyttöisiä, ja ne osaltaan vähentävät paikallisia saasteita huomattavasti. (Mohammad ym. 2023) Melo ja Baptista (2017) osoittavat, että rahtipolkupyörät tarjoavat merkittävää apua kaupunkien verkkokauppatoimituksissa, koska ne pystyvät liikkumaan ketterämmin tiheään asutuilla alueilla. Tutkimuksen mukaan ne pystyvät korvaamaan jopa 10 % perinteisistä ajoneuvoista tiheillä alueilla, ilman negatiivista vaikutusta toimitusvarmuuteen. Ne ovat erityisen tehokkaita lyhyillä, korkeintaan 2 kilometrin matkoilla, joissa ne suoriutuvat keskimäärin paremmin kuin kookkaammat ajoneuvot. (Melo & Baptista 2017) Lisäksi rahtipolkupyörää operoidakseen ei tarvitse ajokorttia, mikä osaltaan helpottaa kuriirien rekrytoimista. (Dybdalen & Ryeng 2022)

Rahtipolkupyörien haasteena on niiden alhainen kuljetuskapasiteetti, mikä rajoittaa kookkaampien lähetysten kuljettamista. Lisäksi ne tarvitsevat lisätäydennyksiä kesken päivän, mikä tapahtuu usein ennalta sovitussa toimipisteissä lähellä jakelualuetta. (Mohammad ym. 2023) Myös sääolosuhteet ovat merkittävä vaikuttaja rahtipolkupyörien hyödyntämiseen etenkin talvikuukausina pohjoisissa maissa. Kuitenkin oikeanlaisella suunnittelulla ja esimerkiksi talvirenkailla pyörät voidaan pitää liikenteessä myös kylminä ja lumisina ajanjaksoina, vaikka niiden keskinopeus ja siten myös toimitusnopeus, ovat matalampia kuin kesällä. Pyörille olisi myös hyvä varmistaa lämpimät mikrovarastot lähellä jakelualuetta, johon kuriirit pääsevät lämmittelemään tauoilla sekä huoltamaan kalustoa. (Dybdalen & Ryeng 2022)

Caggianin ym. (2021) mukaan rahtipolkupyörien ja pakettiautojen yhteiskäytöllä voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä varsinkin tiehään asutetuilla alueilla. Tässä mallissa pakettiautot toimittavat lähetyksiä kaupunkien keskustoissa sijaitseviin mikrovarastoihin (ks. Luku 4.2.2), joista pyöräkuriirit kuljettavat paketit eteenpäin kohteisiin, joihin suuremmilla ajoneuvoilla pääsy on hankalaa tai tehotonta. Tämä yhteistyö oikein suunniteltuna voi vähentää kaupunkien ympäristökuormitusta sekä tehostaa jakelua.

4.1.3 Droonit: tulevaisuuden teknologia

Miehittämättömät lentävät ilma-alukset eli droonit ovat olleet jo pitkään armeijakäytössä, mutta niitä on sittemmin kehitetty myös tukemaan etenkin viimeisen kilometrin toimituksia (Stolaroff ym. 2018). Droonit kykenevät toimittamaan kevyitä lähetyksiä nopeammin ja täsmällisemmin kuin perinteiset kulkuneuvot, ja niiden käyttö vähentää työvoiman tarvetta. Lisäksi lentokykynsä ansiosta ne pystyvät liikkumaan suoraan kohteisiinsa käyttämättä liikenneinfraa tehden niistä tehokkaita varsinkin tiheissä kaupunkiympäristöissä. (Aurambout ym. 2019)

Droonit voidaan valjastaa vastaamaan entistä lyhyempiin toimitusaikoihin. Parhaimmillaan paketti voi olla tilaajan ovella alle puolessa tunnissa, mikäli osoite sijaitsee riittävän toimintamatkan päässä olettaen myös, että hyödykettä on lähtövarastolla tarjolla. (Stolaroff ym. 2018) Drooneja voidaan hyödyntää myös perinteisten pakettiauto- tai rekkatoimitusten rinnalla, jossa auto ajaa eri kiintopisteisiin lähetykset sekä droonit kyydissään ja vapauttaa ne toimittamaan lähetykset lähialueen vastaanottajille. Suoritettuaan toimitukset droonit palaavat takaisin autolle, joka ajaa seuraavaan kiintopisteeseen. Tämä toimintatapa vaatii kuitenkin erittäin huolellista suunnittelua ja reittioptimointia, mutta oikein toteutettuna se voi vähentää toimitusaikoja ja kaupunkiliikenteen ruuhkia, kun auton ei tarvitse pysähtyä jokaisessa toimitusosoitteessa erikseen. (Borghetti ym. 2022)

Vaikka drooneissa piilee paljon potentiaalia, niin esimerkiksi Archettin & Bertazzin (2021) mukaan niiden todelliset hyödyt ovat kuitenkin vaikeammin arvioitavissa, sillä niiden toimintasäde, käyttöaika ja kantokyky ovat vielä toistaiseksi rajalliset. Borghetti ym. (2022) vahvistavat näitä huomioita tutkimuksessaan ja korostavat myös esimerkiksi sääolosuhteiden vaikutuksia, sillä esimerkiksi liian tuulinen päivä voi estää lentämisen täysin. Sähkökäyttöisinä droonit toki vähentävät paikallisia saasteita ja ruuhkia kaupunkiympäristössä, mutta niiden latausinfrastruktuurin sekä tukivarastojen energian kulutus vie pois osan kokonaishyödyistä (Stolaroff ym. 2018). Mainittujen ominaisuuksien parantuessa tulevaisuudessa droonit saattavat tarjota konkreettisempaa kontribuutiota kestävämpään kaupunkilogistiikkaan (Borghetti ym. 2022).

4.1.4 Autonomiset jakelurobotit kuriireina

Autonomiset maassa kulkevat jakelurobotit ovat vielä vahvasti testausvaiheessa ympäri maailmaa, mutta ne ovat osoittaneet potentiaalia tulevaisuuden teknologiana. Robotit kulkevat pääsääntöisesti jalkakäytävillä, mutta niitä voidaan hyödyntää myös tieliikenteen seassa. Robottien ympäristökuorma yhtä kuljetettua pakettia kohti tukee vihreää siirtymää, mutta myös niiden yhtenä haasteena on alhainen kuljetuskapasiteetti ja hidas liikkuminen. Ympäristövaikutukset myös riippuvat pitkälti siitä, korvataanko roboteilla perinteisiä ajoneuvoja vai tulevatko ne kuormittamaan jo valmiiksi ruuhkaista kaupunkiliikennettä. Robotit voivat kuitenkin toimia tukena viimeisen kilometrin toimitukissa, koska ne eivät esimerkiksi sido työvoimaa. (Engesser ym. 2023)

Boysen ym. (2018) esittelevät tutkimuksessaan vaihtoehtoisen mallin toimittaa paketit loppuasiakkaille hyödyntämällä robotteja ja liikkuvana tukikohtana toimivaa jakeluautoa. Mallissa auto ajaa kiintopisteeseen robotit kyydissään (vrt. drooni-toimitukset) ja vapauttaa ne jakamaan lähetykset lähialueille. Jakeluauton reitti pyritään optimoimaan niin, että liikuttu matka on

mahdollisimman lyhyt. Pienikokoiset robotit myös pystyvät liikkumaan sujuvammin ruuhkaisilla kaupunkialueilla.

4.2 Logistiset innovaatiot

4.2.1 Pakettiautomaatit kotiinkuljetuksen vaihtoehtona

Pakettiautomaatti on itsepalveluna toimiva lähetyksen noutopiste, johon voidaan toimittaa useita lähetyksiä kerralla ja josta loppuasiakkaat voivat noutaa ne itselleen suotuisana aikana. Tämä vähentää epäonnistuneiden kotiinkuljetusten määrää, mutta sen todelliset ympäristövaikutukset ovat vaikeammin havaittavissa, sillä vaikka kuriirin ei tarvitse matkata jokaisen asiakkaan luokse erikseen, niin jokaisen asiakkaan täytyy silti kulkea itse noutopisteelle. Tällöin merkittäväksi muuttujaksi nousee noutopisteiden strateginen sijoittelu ja kuluttajan valitsema noutotapa. Esimerkiksi autolla jokainen erikseen haettu paketti lisää kokonaispäästöjä, kun taas työmatkan varrelta palvelupisteestä noudettu paketti vähentää niitä. (Mohammad ym. 2023; Deutsch & Golany 2018) Toisaalta noutopisteestä noudettu paketti on usein parempi vaihtoehto kuin epäonnistunut kotiinkuljetus, koska ne sijaitsevat keskimäärin lähempänä vastaanottajaa. Logistiikkakeskukset puolestaan sijaitsevat usein kaukana asutuksesta, jolloin epäonnistuneiden toimitusten takia asiakkaat saattavat joutua matkustamaan pitkiä matkoja noutamaan lähetystään, jos sille ei kaavilla uutta toimitusaikaa. (Janjevic ym. 2019)

Pakettiautomaattien optimaalisella sijoittelulla voidaan kuitenkin saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä sekä ympäristöhyötyjä etenkin tiheään asutuilla kaupunkialueilla, joissa negatiiviset ympäristövaikutukset vähenevät, jos asiakkaat noutavat pakettinsa muiden asioiden lomassa. (Peppel & Spinler 2022) Pakettiautomaattien integrointi esimerkiksi osaksi vähittäiskauppoja tekee niiden saavuttamisesta helpompaa, koska kauppoilla on valmiit tilat ja asiakkaat saavuttava verkosto. Pakettiautomaatit mahdollistavat tehokkaamman vastaamisen kasvaneeseen toimituskysyntään, sillä niiden avulla voidaan käsitellä suurempia tilausmääriä joustavammin. (Janjevic ym. 2019) Prandstetter ym. (2021) myös vahvistavat, että pakettiautomaateilla voidaan saavuttaa positiivisia ympäristövaikutuksia, mikäli niiden sijainti on optimaalinen, ja korostavat, että huonosti saavutettava automaatti saattaa lisätä kokonaispäästöjä, kun loppukuluttajat joutuvat matkaamaan pitkiä matkoja noutamaan lähetyksiä. (Prandstetter ym. 2021) Haasteena on kuitenkin saada asiakkaat hyväksymään palvelu, jossa he joutuvat itse noutamaan lähetyksensä. Tähän vaikuttaa ratkaisevasti automaattien käytännöllinen sijainti. (Peppel & Spinler 2022)

Prandstetter ym. (2021) ehdottavat, että saadakseen kuluttajat valitsemaan pakettiautomaattitoimitus heille itselleen käytännöllisen kotiinkuljetuksen sijaan, tulisi heitä motivoida esimerkiksi erilaisilla pistejärjestelmillä tai alennuksilla. He myös suosittelevat, että pakettiautomaatit olisivat yhteiskäyttöisiä eri toimijoiden välillä. Näin ollen ylläpitokustannukset voitaisiin jakaa, minkä lisäksi kuluttaja voisi noutaa eri toimijoiden lähetykset samasta pisteestä samaan aikaan.

4.2.2 Mikrokonsolidointikeskukset

Mikrokonsolidointikeskus tai mikrovarasto (*engl. Urban Micro-Consolidation center*) on kaupungin keskustassa tai lähempänä jakelualuetta sijaitseva pienimuotoinen logistiikkakeskus, johon eri toimijat voivat siirtää suuren määrän paketteja kerralla ja jossa ne lajitellaan optimaalisemmin jatkokuljetusta varten. Tämän jälkeen ne jaetaan eteenpäin ekologisimmilla kuljetusmuodoilla, kuten rahtipolkupyörillä ja sähköajoneuvoilla, tai vaihtoehtoisesti loppuasiakas voi noutaa lähetyksensä suoraan keskuksesta. Konsolidointikeskusten tarkoituksena on vähentää ruuhkia ja saasteita, joita perinteiset ajoneuvot aiheuttavat lisäämällä ekologisia toimitusmuotoja ja lyhentämällä niiden tarvitsemia kuljetusmatkoja jakelualueille. Keskusten ympäristöhyödyt ovat merkittävät ja niiden käyttöönottolla voidaan saavuttaa jopa 70 % matalammat kokonaispäästölukemat (Arrieta-Prieto ym. 2022; van Heeswijk ym. 2019)

Keskusten haasteena on usein kuitenkin rahoituksen järjestäminen. Keskukset tarvitsevatkin yleensä julkista rahoitusapua varsinkin perustamisvaiheessa, ja monia hankkeita on jouduttu lopettamaan nimenomaan rahoituksen järjestämisen haasteiden vuoksi. Koska keskukset ovat usein paikallishallinnon omistuksessa, ja sen palveluita käyttävät useat kaupalliset toimijat, voi toimijoiden intressit olla ristiriidassa keskenään, mikä aiheuttaa lisähaasteita toiminnalle. Lisäksi liian alhainen käyttökapasiteetti ja ylläpitokustannukset voivat tehdä toiminnasta kannattamatonta. (Giampoldaki ym. 2023; Kaspi ym. 2022)

Tarkasteltaessa pelkkiä taloudellisia vaikutuksia keskukset eivät välttämättä ole kannattavia ilman avustuksia, mutta niiden merkittävät ympäristöhyödyt tekevät niihin panostamisesta perusteltua. (van Heeswijk ym. 2019) Deng ym. (2021) myös korostavat, että toimintamalli edellyttää, että siihen osallistuu useita toimijoita, jotta kustannukset voidaan jakaa tasaisemmin sekä optimaalisemman kapasiteetin hyödyntäminen täyttyy.

4.2.3 Crowdshipping-toimintamalli

Crowdshipping (*suom. yhteisöllinen kuljetuspalvelu*) on osa laajempaa jakamistalouden ilmiötä, jossa yksityishenkilöt tarjoavat palveluja muille kuluttajille korvausta vastaan. Mallissa ihmiset voivat esimerkiksi työmatkallaan hyödyntää vapaata kapasiteettia ajoneuvoissaan kuljettamalla toisen kuluttajan paketin paikasta A paikkaan B. Tämän toimintaperiaatteen keskiössä on hyödyntää käyttämätöntä kapasiteettia etenkin kaupunkiympäristössä, jossa ihmiset jo muutenkin liikkuvat laaja-alaisesti. (Caggiani ym. 2021) Pourrahmanin ja Jallerin (2021) mukaan kuriireiksi päätyy kuitenkin usein henkilöitä, jotka pyrkivät tekemään sitä työksensä, jolloin alkuperäinen hyöty potentiaali ylimääräisen kapasiteetin täyttämistä kumoutuu ja tilalle tulee vain uusi kulkuneuvo kaupunkiliikenteeseen. Tämä on nähtävissä esimerkiksi nopeasti kasvavan ruoan kotiinkuljetuspalveluissa, joissa kuriireiksi on päätynyt sitä ammatikseen tekeviä, eikä niinkään esimerkiksi yksittäisiä työmatkailijoita. Ilmiö on toisaalta ymmärrettävissä, sillä palvelut tarjoavat toimijoille joustavan ansaintamahdollisuuden, jossa kuriirit voivat itse valita, mitkä tehtävät he haluavat suorittaa.

Niin kutsutut kumipyöräkuljetukset eivät ole ainoa vaihtoehto crowdshippingille, vaan Gatta ym. (2019) esittävät tutkimuksessaan, että yhtenä potentiaalisena alueena voidaan hyödyntää julkista liikenneinfrastruktuuria pakettien siirtämisessä. He tarkistelivat Rooman metroverkon varrella sijaitsevien pakettiautomaattien ja julkista liikennettä käyttävien kansalaisten potentiaalia vähentää perinteisten toimitustapojen aiheuttamia ilmansaasteita ja ruuhkia. Ihmiset liikkuvat suurkaupungeissa päivän aikana lukuisia eri matkoja julkisella liikenteellä, ja näiden matkojen aikana he voisivat siirtää toisten kuluttajien paketteja metroradan varrella olevien keskusten välillä. Tällaisen järjestelmän taloudellinen kestävyys näyttää kuitenkin toistaiseksi heikolta ja vaatii todennäköisesti merkittäviä julkishallinnon tukia toimiakseen. (Gatta ym. 2019)

Crowdshipping tarjoaa siis potentiaalisen vaihtoehdon perinteisille toimituksille, mutta sen ympäristöhyödyt ovat riippuvaisia siitä, miten kuljetukset toteutetaan. Mikäli kuljetukset toteutetaan hyödyntäen olemassa olevaa kalustoa ja niiden alikapasiteettia, voivat ne vähentää ylimääräistä liikennettä ja päästöjä. (Pourrahmani & Jaller 2021) Simoni ym. (2020) kuitenkin korostavat, että erikseen yksityisautoilla suoritettavat kuljetukset vain lisäävät liikenteen kuormitusta ja saasteita, mikä heikentää crowdshippingin potentiaalia vihreän siirtymän edistäjänä.

4.3 Tekoälyn mahdollisuudet vihreän siirtymän edistäjänä

Vaikka tekoälyn potentiaalia logistiikan tehostamiseen on alettu tunnistaa, ei sen mahdollisuuksia vihreän siirtymän edistäjänä verkkokaupan toimituksissa olla vielä kirjallisuudessa tutkittu laajasti. Tekoälyn kehittyminen etenkin kone- ja syväoppimisen saralla, tarjoaa kuitenkin uusia mahdollisuuksia viimeisen kilometrin toimitusprosessien tehostamiseen, mikä tukee vihreää siirtymää. Giuffrida ym. (2022) esittävät, että tekoälyn avulla voidaan vähentää hukkakilometrejä sekä hyödyntää ajoneuvojen kapasiteetteja optimaalisemmin. Tekoäly mahdollistaa esimerkiksi kysyntäpiikkien ennakoinnin hyödyntäen historiallista dataa ja reaaliaikaista informaatiota, kuten sää- ja liikennetietoja. Tämä mahdollistaa esimerkiksi reittien tehokkaamman optimoinnin ja resurssein allokoimisen. (Giuffrida ym. 2022)

Tekoälyä voidaan myös hyödyntää ennustukissa, onko asiakas kotona toimitushetkellä, esimerkiksi analysoimalla sähkönkulutusdataa ja historiallista tietoa epäonnistuneista toimituksista, minkä pohjalta voidaan luoda todennäköisyys parhaasta aikaikkunasta saavuttaa loppuasiakas. Tekoälyn avulla voidaan myös määritellä optimaalinen sijoittelu pakettiautomaateille, jotta ne saavuttaisivat mahdollisimman kattavan joukon asiakkaita. (Riccardo ym. 2019)

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin, miten vihreä siirtymä toteutuu verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksissa kaupunkialueilla. Verkkokaupan nopea kasvu ja samaan aikaan tapahtuva globaali kaupungistumiskehitys ovat aiheuttaneet merkittäviä haasteita kaupunkialueiden logistiikalle. Näitä ovat esimerkiksi lisääntyneet ruuhkat ja ilmansaasteet. Viimeisen kilometrin toimitukset ovat toimitusketjun kallein ja saastuttavin vaihe, mikä tekee niiden kehittamisestä tärkeää. Vihreän siirtymän välttämättömyys jokaisella sektorilla ohjaa tulevaisuuden taloudellisia päätöksiä. Ihmisen toiminnasta johtuva ilmastonmuutos on jo käynnissä, mutta sen etenemiseen voidaan yhä vaikuttaa. Välttääksemme katastrofaaliset seuraukset, joita maapallon keskilämpötilan nousu aiheuttaa, tulisi tehdä radikaaleja muutoksia monissa toimintatavoissa. Tutkielmassa kartoitettiin, millaisia potentiaalisia, vihreän siirtymän tavoitteita tukevia toimitusratkaisuja esiintyy verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksissa ja millaisia haasteita näiden käyttöönotossa on. Lisäksi tutkittiin yleisesti, millaisia haasteita vihreän siirtymän toteuttamiselle kaupunkialueiden viimeisellä kilometrillä on.

5.1 Tulokset

Ensimmäisen tutkimuskysymys oli: *Millaisilla verkkokaupan viimeisen kilometrin toimitusratkaisuilla voidaan edistää kaupunkilogistiikan vihreän siirtymän tavoitteita?* Näitä tavoitteita ovat muun muassa liikenteen sujuvoittaminen, päästöjen minimointi ja ilmanlaadun parantaminen. Vihreä siirtymä kaupunkialueilla edellyttää vähäpäästöisiä kuljetusratkaisuja, resurssitehokkuutta ja yhteistyötä eri sidosryhmien välillä.

Luvussa 4 esiteltiin monipuolisesti eri ratkaisuja, kuten käyttövoiman uudistamiseen liittyviä teknologioita, kuljetusten yhdistelyä ja toimintamallien muutoksia. Sähköajoneuvot, pakettiautomaatit ja rahtipolkupyörät ovat jo nykyään laajassa käytössä vähentämässä logistiikan ympäristövaikutuksia, kun taas uudet teknologiat, kuten dronit ja robottikuriirit, ovat kehitysvaiheessa ja tarjoavat tulevaisuudessa mahdollisuuksia vähentää päästöjä ja tehostaa toimitusprosesseja. Lisäksi mikrokonsolidointikeskusten kaltaiset ratkaisut voivat merkittävästi vähentää jakeluliikenteen ympäristökuormitusta oikein toteutettuina.

Jokaisella ratkaisulla on kuitenkin omat rajoitteensa ja haasteensa, kuten korkeat investointikustannukset, infrastruktuurivaatimukset tai riippuvuus ulkoisista tekijöistä, kuten sääolosuhteista tai kuluttajakäyttäytymisestä. Seuraavan sivun taulukossa on esitetty tiivistetysti näiden innovaatioiden vaikutukset, haasteet ja niiden merkittävyys nykytilanteessa.

Taulukko 1 Verkkokaupan viimeisen kilometrin toimitusratkaisut ja niiden vaikutukset vihreään siirtymään

Innovaatio	Vaikutus vihreään siirtymään	Keskeiset rajoitteet ja haasteet	Merkittävyys nykytilanteessa
Sähköajoneuvot	Vähentävät päästöjä ja parantavat ilmanlaatua.	Investointikustannukset, latausasemien puute, rajallinen toimintamatka.	Korkea: vähäpäästöinen ja soveltuu hyvin nykyisiin jakelumalleihin.
Rahtipolkupyörät	Vähentävät ruuhkia ja päästöjä lyhyillä reiteillä.	Pieni kapasiteetti, riippuvuus sääolosuhteista.	Keskitaso: tehokas täydentävä ratkaisu.
Droonit	Tarjoavat nopeita ja päästöttömiä toimituksia.	Lyhyt toimintasäde, sääolosuhteiden rajoitukset.	Matala: testausvaiheessa, potentiaali tulevaisuudessa.
Robottikuriirit	Sopivat pienten pakettien päästöttömään jakeluun.	Hidas nopeus, rajallinen kapasiteetti, infrastruktuurivaatimukset.	Matala: testausvaiheessa, potentiaali tulevaisuudessa
Pakettiautomaatit	Lyhentävät jakelureittejä ja tehostavat toimituksia.	Hyödyt riippuvat kuluttajien liikkumistavoista, sijoittelun merkitys suuri.	Korkea: tehostaa olemassa olevia järjestelmiä.
Mikrokonsolidointikeskukset	Vähentävät raskaiden ajoneuvojen käyttöä ja tukevat vihreitä kuljetusmuotoja.	Perustamiskustannukset, yhteistyön ja optimaalisen käyttöasteen vaatimus.	Matala: rajallinen käyttö nykytilassa, mutta mahdollistaa merkittäviä päästövähennyksiä.
Crowdshipping	Voi vähentää ylimääräisiä kuljetuksia optimoiduilla reiteillä.	Voi lisätä päästöjä, jos reittejä ei integroida olemassa olevaan liikenteeseen.	Matala: riippuu optimoinnista.

Toinen tutkimuskysymys oli: *Mitkä ovat keskeisimmät esteet ja haasteet kaupunkilogistiikan vihreän siirtymän tavoitteiden edistämiseksi verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksissa?* Näihin haasteisiin kuuluvat kasvava toimitusvolyymi, infrastruktuurin ja kaupunkirakenteiden rajoitteet, taloudelliset ja teknologiset esteet, kuluttajakäyttämisen vaikutukset sekä toimintamallien muutokset. Lisäksi vihreän siirtymän edistäminen edellyttää eri sidosryhmien, kuten kuluttajien, yritysten ja julkisen sektorin, välistä yhteistyötä.

Verkkokaupan kasvu on lisännyt viimeisen kilometrin toimitusten määrää, mikä kuormittaa kaupunkialueita entisestään. Tämä volyymin kasvu on johtanut lisääntyneisiin ruuhkiin ja päästöihin erityisesti tiheään asutuilla kaupunkialueilla. Kaupunkien rakenteelliset rajoitteet, kuten

kapeat tiet, pysäköintitilan puute ja riittämättömät jakeluväylät, vaikeuttavat toimitusreittien optimointia. Jakeluliikenteen tehottomuutta lisäävät myös kuluttajien odotukset nopeista toimituksista, sillä nämä eivät aina mahdollista kuljetusten yhdistelyä tai reittien ajamista täydellä kapasiteetilla. Kotiinkuljetusten ja nopeiden toimitusten suosiminen, voi vähentää ympäristöystävällisten toimitustapojen houkuttelevuutta.

Ekologisten toimitusratkaisujen käyttöönotto kohtaa merkittäviä taloudellisia haasteita. Uusien innovaatioiden, kuten sähköajoneuvojen, hankintakustannukset sekä latausinfrastruktuurin rakentaminen edellyttävät huomattavia alkuinvestointeja, mikä saattaa rajoittaa erityisesti pienempien yritysten mahdollisuuksia siirtyä vihreisiin ratkaisuihin. Teknologiset rajat, kuten sähköajoneuvojen rajallinen toimintamatka ja uusien innovaatioiden kehitystarpeet, hidastavat myös ratkaisujen laajempaa käyttöönottoa. Lisäksi uusien toimintatapojen käyttöönotto vaatii muutoksia organisaatioiden toimintamalleissa.

Vihreän siirtymän onnistuminen edellyttää myös sidosryhmien välistä tiivistä yhteistyötä. Julkisen ja yksityisen sektorin koordinaatio on keskeisessä roolissa, erityisesti infrastruktuurin ja uusien teknologioiden kehittämisessä. Ilman yhteisiä tavoitteita ja tehokasta yhteistyötä vihreän siirtymän vaatimat ratkaisut jäävät usein rahoituksen ja toteutuksen osalta hajanaisiksi.

Seuraavassa taulukossa on tiivistetty tutkielmassa tunnistetut keskeiset esteet ja haasteet verkkokaupan viimeisen kilometrin toimitusten vihreän siirtymän edistämiseksi.

Taulukko 2 Keskeiset esteet ja haasteet verkkokaupan viimeisen kilometrin toimitusten vihreän siirtymän edistämiseksi

Haastealue	Kuvaus
Lisääntyvä toimitusvolyymi	Verkkokaupan kasvun myötä lisääntyneet toimitusmäärät aiheuttavat ruuhkia, päästöjä ja logistista kuormitusta kaupunkialueilla.
Infrastruktuuri ja kaupunkirakenteet	Ruuhkat, pysäköintitilan puute ja jakeluväylien sekä latausasemien riittämättömyys.
Taloudelliset esteet	Korkeat investointikustannukset hidastavat vihreiden teknologioiden käyttöönottoa.
Teknologiset rajat	Esimerkiksi sähköajoneuvojen toimintamatka ja uusien innovaatioiden rajoitteet.
Kuluttajakäyttäytyminen	Massakulutus ja nopeiden toimitusten suosiminen lisäävät logistiikan ympäristökuormaa.
Toimintamallien muutokset	Uusien teknologioiden käyttöönotto vaatii henkilöstön koulutusta ja organisaation sopeutumista.
Yhteistyön puute	Koordinaation ja yhteisten tavoitteiden puute eri sidosryhmien välillä.

Onnistunut vihreä siirtymä verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksissa kaupunkialueilla edellyttää siis suuria rakenteellisia muutoksia niin logistiikan toimintamalleissa kuin kaupunkien infrastruktuurissa. Vihreä siirtymä edellyttää myös eri sidosryhmien aktiivista panosta sen eteen. Verkkokauppasivustot ovat avainroolissa ympäristötietoisuuden lisäämisessä ja kuluttajien ohjaamisessa vihreämpiin valintoihin. Niiden tulisi tarjota läpinäkyvää tietoa eri toimitusvaihtoehtojen ympäristövaikutuksista ja pyrkiä esimerkiksi alennuksilla motivoimaan kuluttajia valitsemaan vihreämpiä toimituksia. Kuluttajien pitäisi myös aktiivisesti itse pyrkiä tekemään parempia kulutusvalintoja, eikä kaikkea ympäristövastuuta voida siirtää yrityksille. Kuluttajat voivat vaikuttaa vihreään siirtymään esimerkiksi ostamalla vain tarpeeseen ja keskitetysti, jotta välttämättömät tavarat voidaan toimittaa samaan aikaan. Logistiset toimijat puolestaan ovat vastuussa lopullisten logististen prosessien toteutuksesta ja kehityksestä vihreämpään suuntaan. Kaupallisten toimijoiden ensisijaisena tavoitteena on yleensä voiton tuottaminen, jolloin ympäristönäkökulma saattaa jäädä monesti huomioimatta ilman julkisen sektorin sääntelyä ja tukea. Julkisen sektorin ja päättäjien pitäisi luoda kannustimia investoida vihreään teknologiaan sekä pyrkiä luomaan kaupunkialueille infrastruktuuri, joka tukee tehokkaita ja kestäviä toimitusprosesseja.

5.2 Jatkotutkimus

Tämän tutkielman pohjalta voidaan tunnistaa useita jatkotutkimusaiheita, jotka tarjoavat mahdollisuuden syventää ymmärrystä vihreän siirtymän keskeisistä teemoista ja selvittää vaihtoehtoisia keinoja lisätä tietoa sen mahdollisuuksista ja vaikutuksista verkkokaupan viimeisen kilometrin toimituksissa. Näiden tutkimusaiheiden avulla voidaan edistää sekä käytännön ratkaisuja että teoreettista tietämystä kestävämmän kaupunkilogistiikan ja toimitusketjujen kehittämisessä.

Esimerkiksi tekoälyn hyötyjä logistiikkaprosessien tehostamisessa on tutkittu jonkin verran, mutta sen roolia ympäristövaikutusten vähentämisessä, erityisesti viimeisen kilometrin toimituksissa, on käsitelty kirjallisuudessa suhteellisen vähän. Erityisesti taloudellisten hyötyjen ja ympäristövaikutusten pidempiaikainen analyysi tarjoaisi mielenkiintoisen tutkimusaiheen, joka voisi syventää ymmärrystä tekoälyn pitkäaikaisista vaikutuksista kestäväan kaupunkilogistiikan kehittämisessä.

Droonit ja autonomiset robotit edustavat innovatiivisia teknologioita, joilla on potentiaali mullistaa kaupunkilogistiikkaa vähentämällä ruuhkia ja päästöjä. Niiden todellisia ympäristöhyötyjä ja

käytännön vaikutuksia on kuitenkin tutkittu toistaiseksi melko rajallisesti. Esimerkiksi on epäselvää, missä määrin nämä teknologiat voivat korvata perinteisiä pakettiautoja ilman, että niiden laajamittainen käyttöönotto aiheuttaa lisäkuormitusta kaupunkialueilla, kuten robottien yhtäaikaisesta liikkumisesta johtuvaa ruuhkautumista. Jatkotutkimuksissa tulisi keskittyä elinkaarianalyysiin näiden teknologioiden todellisten ympäristövaikutusten arvioimiseksi kattaen koko elinkaaren tuotannosta käytöstä poistoon. Lisäksi tarvitaan syvällistä tarkastelua teknologioiden pitkäaikaisista taloudellisista ja operatiivisista vaikutuksista sekä sääntelyn ja infrastruktuurin roolista niiden tehokkaan käytön tukemisessa. Tällainen tutkimus tarjoaisi arvokasta tietoa siitä, kuinka dronit ja autonomiset robotit voivat edistää vihreän siirtymän tavoitteita ja tukea kestävämmän kaupunkilogistiikan kehitystä.

Vaikka verkkokaupan toimituksia pyritään muuttamaan kestävämmiksi, on tärkeää tarkastella myös verkkokaupan ja kivijalka-asioinnin välistä suhdetta. Korvaako verkkokauppa kivijalkamyymäläasioinnin ja voiko se näin optimoitujen toimitusreittien avulla vähentää shoppailun kokonaisympäristökuormaa? Vai toimiiko verkkokauppa ennemminkin alustana, joka mahdollistaa yksittäisten tuotteiden tilaamisen nopeasti ja helposti, mikä saattaa lisätä kulutuksen kokonaismäärää ja kuormittaa ympäristöä entisestään?

Näiden kahden kaupankäyntimuodon yksiselitteinen vertailu on haastavaa, sillä molemmille löytyy niin ympäristöhyötyjä kuin haittoja. Lisäksi vertailuun vaikuttaa suuri määrä muuttujia, kuten kuljetusten optimointi, kivijalkamyymälöiden ylläpito, kuluttajien liikkumistarpeet ja pakkausmateriaalien käyttö, mikä tekee kokonaiskuvan arvioinnista monimutkaista. Näistä syistä aihe kaipaa syvällisempää tutkimusta ja tarkempaa analyysiä. Verkkokaupan toimitusvolyymit tulevat silti nykytiedon valossa kasvamaan tulevaisuudessa, mikä tekee niiden kehittämisestä tärkeää vihreän siirtymän ja kestäväen talouskasvun kannalta.

Lähteet

- Afshan, S., Ozturk, I., & Yaqoob, T. (2022). Facilitating renewable energy transition, ecological innovations and stringent environmental policies to improve ecological sustainability: Evidence from MM-QR method. *Renewable Energy*, Vol. 196, 151–160.
- Anderluh, A., Hemmelmayr, V. C., & Nolz, P. C. (2017). Synchronizing vans and cargo bikes in a city distribution network. *Central European Journal of Operations Research*, Vol. 25 (2), 345–376.
- Anosike, A., Loomes, H., Udokporo, C. K., & Garza-Reyes, J. A. (2023). Exploring the challenges of electric vehicle adoption in final mile parcel delivery. *International Journal of Logistics Research and Applications*, Vol. 26 (6), 683–707.
- Archetti, C., & Bertazzi, L. (2021). Recent challenges in Routing and Inventory Routing: E-commerce and last-mile delivery. *Networks*, Vol. 77 (2), 255–268.
- Arrieta-Prieto, M., Ismael, A., Rivera-Gonzalez, C., & Mitchell, J. E. (2022). Location of urban micro-consolidation centers to reduce the social cost of last-mile deliveries of cargo: A heuristic approach. *Networks*, Vol. 79 (3), 292–313.
- Aurambout, J.-P., Gkoumas, K., & Ciuffo, B. (2019). Last mile delivery by drones: An estimation of viable market potential and access to citizens across European cities. *European Transport Research Review*, Vol. 11 (1), Article 30.
- Batrancea, L., Pop, M. C., Rathnaswamy, M. M., Batrancea, I., & Rus, M.-I. (2021). An Empirical Investigation on the Transition Process toward a Green Economy. *Sustainability*, Vol. 13(23), Article 13151.
- Borghetti, F., Caballini, C., Carboni, A., Grossato, G., Maja, R., & Barabino, B. (2022). The Use of Drones for Last-Mile Delivery: A Numerical Case Study in Milan, Italy. *Sustainability*, Vol. 14 (3), Article 3.
- Boysen, N., Fedtke, S., & Schwerdfeger, S. (2021). Last-mile delivery concepts: A survey from an operational research perspective. *OR Spectrum*, Vol. 43 (1), 1–58.
- Boysen, N., Schwerdfeger, S., & Weidinger, F. (2018). Scheduling last-mile deliveries with truck-based autonomous robots. *European Journal of Operational Research*, Vol. 271 (3), 1085–1099.
- Brown, J. R., & Guiffrida, A. L. (2014). Carbon emissions comparison of last mile delivery versus customer pickup. *International Journal of Logistics Research and Applications*, Vol. 17 (6), 503–521.

- Buldeo Rai, H., Verlinde, S., Merckx, J., & Macharis, C. (2017). Crowd logistics: An opportunity for more sustainable urban freight transport? *European Transport Research Review*, Vol. 9 (3), Article 39.
- Caggiani, L., Colovic, A., Prencipe, L. P., & Ottomanelli, M. (2021). A green logistics solution for last-mile deliveries considering e-vans and e-cargo bikes. *Transportation Research Procedia*, Vol. 52 (1), 75–82.
- Cheah, L., & Huang, Q. (2021). Comparative Carbon Footprint Assessment of Cross-Border E-Commerce Shipping Options. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2676 (1), 584-595.
- Chu, S.-C., Leung, L. C., Hui, Y. V., & Cheung, W. (2007). Evolution of e-commerce Web sites: A conceptual framework and a longitudinal study. *Information & Management*, Vol. 44 (2), 154–164.
- de Araújo, F. A., dos Reis, J. G. M., & da Cruz Correia, P. F. (2020). The Role of Last-Mile Delivery in the Future of E-Commerce. *Advances in Production Management Systems*, Vol. 591 (1), 307–314.
- Demir, E., Syntetos, A., & van Woensel, T. (2022). Last mile logistics: Research trends and needs. *IMA Journal of Management Mathematics*, Vol. 33 (4), 549–561.
- Deng, Q., Fang, X., & Lim, Y. F. (2021). Urban Consolidation Center or Peer-to-Peer Platform? The Solution to Urban Last-Mile Delivery. *Production & Operations Management*, Vol. 30 (4), 997–1013.
- Deutsch, Y., & Golany, B. (2018). A parcel locker network as a solution to the logistics last mile problem. *International Journal of Production Research*, Vol. 56 (1–2), 251–261.
- Dijkstra, L., Florczyk, A. J., Freire, S., Kemper, T., Melchiorri, M., Pesaresi, M., & Schiavina, M. (2021). Applying the Degree of Urbanisation to the globe: A new harmonised definition reveals a different picture of global urbanisation. *Journal of Urban Economics*, Vol. 125 (1), Article 103312.
- Duarte, G., Rolim, C., & Baptista, P. (2016). How battery electric vehicles can contribute to sustainable urban logistics: A real-world application in Lisbon, Portugal. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 15 (1), 71–78.
- Dybdalen, Å., & Ryeng, E. O. (2022). Understanding how to ensure efficient operation of cargo bikes on winter roads. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 44 (1), Article 100652.

- Engesser, V., Rombaut, E., Vanhaverbeke, L., & Lebeau, P. (2023). Autonomous Delivery Solutions for Last-Mile Logistics Operations: A Literature Review and Research Agenda. *Sustainability*, Vol. 15 (3), Article 3.
- Escursell, S., Llorach-Massana, P., & Roncero, M. B. (2021). Sustainability in e-commerce packaging: A review. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 280 (1), Article 124314.
- Euroopan komissio. (2011). *Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system*. Saatavilla osoitteesta <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:EN:PDF>>
- Euroopan komissio. (2019). *The European Green Deal*. Saatavilla osoitteesta <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>>
- Euroopan ympäristökeskus. (2022). *Transport and environment report 2022*. Saatavilla osoitteesta <<https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2022/transport-and-environment-report/view>>
- Gatta, V., Marcucci, E., Nigro, M., Patella, S. M., & Serafini, S. (2019). Public Transport-Based Crowdsipping for Sustainable City Logistics: Assessing Economic and Environmental Impacts. *Sustainability*, Vol. 11 (1), Article 1.
- Gevaers, R., Van de Voorde, E., & Vanellander, T. (2014). Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 125 (1), 398–411.
- Giampoldaki, E., Madas, M., Zeimpekis, V., & Vlachopoulou, M. (2023). A state-of-practice review of urban consolidation centres: Practical insights and future challenges. *International Journal of Logistics Research and Applications*, Vol. 26 (6), 732–763.
- Giordano, A., Fischbeck, P., & Matthews, H. S. (2018). Environmental and economic comparison of diesel and battery electric delivery vans to inform city logistics fleet replacement strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 64 (1), 216–229.
- Giuffrida, N., Fajardo-Calderin, J., Masegosa, A. D., Werner, F., Steudter, M., & Pilla, F. (2022). Optimization and Machine Learning Applied to Last-Mile Logistics: A Review. *Sustainability*, Vol. 14 (9), Article 9.
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Guillén Bolaños, T., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I. A., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijjoka, Y., Mehrotra, S., Hope, C. W., Payne, A. J., Pörtner, H.-O., Seneviratne, S. I., Thomas, A., ... Zhou, G.

- (2019). The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5°C. *Science*, Vol. 365 (6459), Article 6974.
- Iwan, S., Nürnberg, M., Jedliński, M., & Kijewska, K. (2021). Efficiency of light electric vehicles in last mile deliveries – Szczecin case study. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 74 (1), Article 103167.
- Jaller, M., & Pahwa, A. (2020). Evaluating the environmental impacts of online shopping: A behavioral and transportation approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 80 (1), Article 102223.
- Janjevic, M., Winkenbach, M., & Merchán, D. (2019). Integrating collection-and-delivery points in the strategic design of urban last-mile e-commerce distribution networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 131, (1), 37–67.
- Markowska, M., & Marcinkowski, J. (2022). Rural E-Customers' Preferences for Last Mile Delivery: Evidence from Poland. *Energies*, Vol. 15 (22), Article 22.
- Melo, S., & Baptista, P. (2017). Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: Integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European Transport Research Review*, Vol. 9 (2), Article 30.
- Mohammad, W. A., Nazih Diab, Y., Elomri, A., & Triki, C. (2023). Innovative solutions in last mile delivery: Concepts, practices, challenges, and future directions. *Supply Chain Forum: An International Journal*, Vol. 24 (2), 151–169.
- Mucowska, M. (2021). Trends of Environmentally Sustainable Solutions of Urban Last-Mile Deliveries on the E-Commerce Market—A Literature Review. *Sustainability*, Vol. 13(11), Article 11.
- Nogueira, G. P. M., de Assis Rangel, J. J., & Shimoda, E. (2021). Sustainable last-mile distribution in B2C e-commerce: Do consumers really care? *Cleaner and Responsible Consumption*, Vol. 3 (1), Article 100021.
- Paleari, S. (2022). The Impact of the European Green Deal on EU Environmental Policy. *The Journal of Environment & Development*, Vol. 31 (2), 196–220.
- Patella, S. M., Grazieschi, G., Gatta, V., Marcucci, E., & Carrese, S. (2021). The Adoption of Green Vehicles in Last Mile Logistics: A Systematic Review. *Sustainability*, Vol. 13 (1), Article 1.
- Peppel, M., & Spinler, S. (2022). The impact of optimal parcel locker locations on costs and the environment. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 52 (4), 324–350.
- Pourrahmani, E., & Jaller, M. (2021). Crowdshipping in last mile deliveries: Operational challenges and research opportunities. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 78, Article 101063.

- Prandstetter, M., Seragiotto, C., Braith, J., Eitler, S., & Ennsner, B. (2021). On the Impact of Open Parcel Lockers on Traffic. *Sustainability*, Vol. 13 (2), Article 755.
- Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., & Roccotelli, M. (2018). A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. *Sustainability*, Vol. 10 (3), Article 3.
- Rastani, S., Yüksel, T., & Çatay, B. (2019). Effects of ambient temperature on the route planning of electric freight vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol 74 (1), 124–141.
- Riccardo, M., Perego, A., Seghezzi, A., & Tumino, A. (2019). Innovative solutions to increase last-mile delivery efficiency in B2C e-commerce: A literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 49 (9), 901–920.
- Rogelj, J., den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., Schaeffer, R., Sha, F., Riahi, K., & Meinshausen, M. (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature*, Vol. 534 (7609), 631–639.
- Russo, F., & Comi, A. (2012). City Characteristics and Urban Goods Movements: A Way to Environmental Transportation System in a Sustainable City. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 39 (1), 61–73.
- Sallnäs, U., & Björklund, M. (2020). Consumers' influence on the greening of distribution – exploring the communication between logistics service providers, e-tailers and consumers. *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol. 48 (11), 1177–1193.
- Simoni, M. D., Marcucci, E., Gatta, V., & Claudel, C. G. (2020). Potential last-mile impacts of crowdshipping services: A simulation-based evaluation. *Transportation*, Vol. 47 (4), 1933–1954.
- Siragusa, C., & Tumino, A. (2022). E-grocery: Comparing the environmental impacts of the online and offline purchasing processes. *International Journal of Logistics Research and Applications*, Vol. 25 (8), 1164–1190.
- Siragusa, C., Tumino, A., Mangiaracina, R., & Perego, A. (2022). Electric vehicles performing last-mile delivery in B2C e-commerce: An economic and environmental assessment. *International Journal of Sustainable Transportation*, Vol. 16 (1), 22–33.
- Song, L., Cherrett, T., McLeod, F., & Guan, W. (2009). Addressing the Last Mile Problem: Transport Impacts of Collection and Delivery Points. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2097 (1), 9–18.
- Statista (2019). Environmental impact of e-commerce logistics worldwide in 2019 with a forecast for 2030, by indicator. Saatavilla osoitteesta <<https://www.statista.com/statistics/1248537/e-commerce-environmental-impact-worldwide/>>

- Statista (2023). Global retail e-commerce sales 2014-2027. Saatavilla osoitteesta
<<https://www.statista.com/statistics/379046/worldwide-retail-e-commerce-sales/>>
- Statista. (2024). Global e-commerce share of retail sales 2027. Saatavilla osoitteesta
<<https://www.statista.com/statistics/534123/e-commerce-share-of-retail-sales-worldwide/>>
- Stolaroff, J. K., Samaras, C., O'Neill, E. R., Lubers, A., Mitchell, A. S., & Ceperley, D. (2018). Energy use and life cycle greenhouse gas emissions of drones for commercial package delivery. *Nature Communications*, Vol. 9 (1), Article 409.
- Todorov, Y., Hajduk, P., Horak, T., Pithartova, K., Rantala, S., & Farzam Far, M. (ei pvm.). Virtual piloting of vehicle fleets to accelerate the green transition in logistics. *Transportation Planning and Technology*, 0(0), 1–26.
- van Heeswijk, W., Larsen, R., & Larsen, A. (2019). An urban consolidation center in the city of Copenhagen: A simulation study. *International Journal of Sustainable Transportation*, Vol. 13 (9), 675–691.
- Visser, J., Nemoto, T., & Browne, M. (2014). Home Delivery and the Impacts on Urban Freight Transport: A Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 125 (1), 15–27.
- Viu-Roig, M., & Alvarez-Palau, E. J. (2020). The Impact of E-Commerce-Related Last-Mile Logistics on Cities: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, Vol. 12 (16), Article 16.
- Yhdistyneet kansakunnat (2015). Paris Agreement. Saatavilla osoitteesta
<https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf>