

Opinnäytetyö (AMK)

Tradenomi, Liiketoiminnan logistiikka

2023

Niilo Soini

Dronekuljetusten mahdollisuudet last mile -logistiikassa



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Liiketoiminnan logistiikka

2023 | 43 sivua

Niilo Soini

Dronekuljetusten mahdollisuudet last mile -logistiikassa

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää dronekuljetuksien mahdollisuuksia viimeisten kilometrien- ja citylogistiikan kehittämisessä, sekä tuoda esille tietoa droneista, niihin liittyvästä lainsäädännöstä, sekä dronekuljetusten nykytilanteesta.

Työn tutkimusstrategiana käytettiin toimintatutkimusta perehtymällä droneihin, lainsäädäntöön, viimeisten kilometrien logistiikkaan, sekä citylogistiikkaan liittyvään teoriaan. Tutkimusmenetelmänä käytettiin vertailevaa tutkimusta, jolla vertailtiin eri kuljetusvälineiden eroja lähi- ja keskimatkan jakelukuljetuksissa painottuen dronekuljetuksiin. Vertailtavia ominaisuuksia olivat ympäristöystävällisyys, energiatehokkuus, kuljetusten hinta, melu, kuljetuskapasiteetti, sekä toimitusnopeus.

Johtopäätöksiä dronen eduista kuljetusvälineenä olivat dronekuljetuksien luomat ratkaisut tehottomiin, kalliisiin ja saastuttaviin viimeisten kilometrien logistiikan ongelmiin. Droneilla voidaan ratkaista myös citylogistiikkaan liittyviä ongelmia, joita ovat liikenneuhkat, pysäköintihaasteet, ahdas infrastruktuuri, sekä kaupunkialueiden turvallisuus ja viihtyvyys. Vertailu osoitti myös, että drone soveltuu parhaiten yksittäisten kotiinkuljetusten kuljettamiseen myös keskipitkillä matkoilla. Kuljetusmuodon heikkouksia olivat melu ja pieni kuljetuskapasiteetti.

Asiasanat: Drone, Last mile -logistiikka, Citylogistiikka

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Business Logistics

2023 | 43 pages

Niilo Soini

The possibilities of drone transport in last mile logistics

The goal of this thesis was to find out the possibilities of drone transportation in the development of last-mile and city logistics, and to bring out information about drones, related legislation, and the current situation of drone transportation.

The work's research strategy used action research by showing up information about drones, legislation, last-mile logistics, and the theory related to city logistics. Comparative research was used as the research method, which compared the differences between different means of transport in short- and medium-distance distribution transports, with an emphasis on drone transports. Comparable features were environmental friendliness, energy efficiency, transportation price, noise, transportation capacity, and delivery speed.

Conclusions about the advantages of the drone as a means of transport were the solutions created by drone transports to the inefficient, expensive and polluting problems of last-mile logistics. Drones can also solve problems related to city logistics, such as traffic jams, parking challenges, cramped infrastructure, and the safety and comfort of urban areas. The comparison also showed that the drone is best suited for transporting individual home deliveries even over medium distances. The weaknesses of the mode of transport were noise and low transport capacity.

Keywords: Drone, Last mile logistics, Citylogistics

Kirjoita tekstiä napsauttamalla tätä.

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	6
1 Johdanto	7
2 Drone	8
2.1 Erilaiset drone mallit	8
2.2 Lainsäädäntö	12
3 Last mile -logistiikka	17
3.1 Verkkokauppojen vaikutus last mile -logistiikkaan	19
3.2 Citylogistiikka	20
4 Nykytilanne	22
4.1 Dronejen käyttö kaupallisessa toiminnassa	22
4.2 Drone kokeilut ja muu käyttö	24
5 Kuljetusvälineiden vertailu	25
5.1 Energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys	25
5.2 Toimituksen hinta ja nopeus	28
5.3 Muut vertailukohteet	31
6 Johtopäätökset	37
Lähteet	40

Kuvat

Kuva 1. Moniroottorinen drone. (Wikimedia commons 2016)	9
Kuva 2. Kiinteäsiipinen drone (Forbes 2022).	10

Kuva 3. Yksiroottorinen drone (sUAS News 2014).	11
Kuva 4. Kiinteäsiipinen hybridi drone (Amazon 2022).	12
Kuva 5. B2C vs D2C (Appscrip 2022).	17
Kuva 6. Wing dronukuljetus (News Cision 2021).	23

Kuviot

Kuvio 1. Aikaikkunoiden vaikutus kuljetuksiin (Boyer, K. Prud'Homme, A. & Chung, W. 2009).	21
Kuvio 2. Kuljetusvälineiden energian kulutus (Rodrigues ym. 2022).	29
Kuvio 3. Kuljetusvälineiden hiilidioksidipäästöt (Rodrigues ym. 2022).	30
Kuvio 4. Wing dronen ylilennon vs. auton ohiajon melutaso (Traficom, Wingin dronetoiminta 2021).	34
Kuvio 5. Wing dronetoimituksen melutaso (Traficom, Wingin dronetoiminta 2021).	35

Taulukot

Taulukko 1. Alakategoriat A1-A3 (Traficom 2021).	13
Taulukko 2. Drone kuljetusten energiankulutus verrattuna muihin kuljetusvälineisiin (Rodrigues ym. 2022).	25
Taulukko 3. Ajonaikaiset hiilidioksidi päästöt.	28
Taulukko 4. Drone kuljetuskustannukset (Intelligent Transportation System Joint Program Office 2020).	28
Taulukko 5. Kuljetusvälineiden nopeus	30
Taulukko 6. Kuljetusvälineiden toimitusnopeuden vertailu	30
Taulukko 7. Kuljetusvälineiden meluarvot	32
Taulukko 8. Kuljetusvälineen toimintasäde ja akunkesto	35
Taulukko 9. Kuljetusvälineen kuljetuskapasiteetti	35

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

B2C	Business to consumer (Appscrip. 2022)
D2C	Direct to consumer (Appscrip. 2022)
EASA	European Union Aviation Safety Agency (Yle, 2023.)
HALE	High altitude long endurance (AUAV,2016.)
LMAD	Last Mile Autonomous Delivery (LMAD, 2022.)
MALE	Medium altitude long endurance (AUAV,2016.)
UAV	Unmanned aerial vehicle (Droneinfo, 2020.)
VLOS	Visual line of sight (Traficom, 2022.)
VTOL	Vertical take-off and landing (AUAV,2016.)

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää drone kuljetusten mahdollisuuksia viimeisen kilometrin logistiikan kehittämisessä. Viimeisen kilometrin logistiikka aiheuttaa haasteita kuljetusyrityksille, koska se on tehotonta, kallista ja saastuttavaa (Ranieri, Digiesi, Silvestri & Roccotelli 2018, 1). Verkkokauppojen kautta tilattavien tuotteiden määrä on kasvanut merkittävästi viime vuosina. Toimitusten määrän kasvu on lisännyt myös citylogistiikan haasteita. Jakelukuljetusten optimointi, liikenneruuhkat ja toimitusten aikaikkunat luovat ongelmatilanteita logistiikkayrityksille, vaikka uusia innovaatioita näiden ongelmien ratkaisemiseen pyritään jatkuvasti kehittämään (Citylogistiikka 2021). Drone kuljetuksia on testattu useiden yritysten toimesta viime vuosina ja niiden avulla on saavutettu merkittäviä tuloksia etenkin toimitusajan ja kuljetusten hinnan suhteen (Insider Intelligence 2023).

Työn tavoitteena on kehittää ja auttaa löytämään ratkaisuja viimeisen kilometrin jakelukuljetuksiin ja citylogistiikan haasteisiin, sekä tuoda esille tietoa dronekuljetuksien mahdollisuuksista, eduista ja haitoista, sekä kuljetusmuodon käyttöönottoon vaikuttavista tekijöistä.

Työ toteutetaan toimintatutkimuksena perehtymällä ensin aiheeseen liittyvään teoriaan ja kuvailemalla tämänhetkistä tilannetta aiheen saralta. Tutkimusmenetelmänä käytetään vertailevaa tutkimusta, jossa vertaillaan eri kuljetusvälineiden eroja last mile -jakelutoimituksissa. Saadut tiedot analysoidaan ja niiden pohjalta luodaan johtopäätöksiä ja kehitysehdotuksia viimeisten kilometrien jakelukuljetuksiin ja citylogistiikkaan.

Aihe on ajankohtainen, sillä opinnäytetyön kirjoitusprosessin aikana on tullut dronekuljetuksia edistäviä lakimuutoksia mm. ilmatilavyöhykkeisiin ja toiminnan harjoittamiseen. Alalla on jo useita yrityksiä ja lähivuosina teknologian ja lainsäädännön kehittyessä dronekuljetuksista on tulossa osa arkipäivää.

2 Drone

Dronella tai droonilla tarkoitetaan miehittämätöntä ilma-alusta UAV (Unmanned aerial vehicle). Miehittämättömiä ilma-aluksia on alun perin kehitetty armeijoiden käyttöön kuvaamiseen, maalitauluiksi ja asejärjestelmiksi (Falstrom, Gleason & Sadaraey 2022, 4). Droneja käytetään myös kaupallisessa toiminnassa, meri- ja raja-alueiden valvonnassa, kuljetuksissa, kuvaamisessa sekä harrastetoiminnassa (Droneinfo 2020).

2.1 Erilaiset drone mallit

Dronet ovat tyypillisesti kiinteäsiipisiä lennokkeja tai moniroottorisia helikoptereita. Niitä ohjataan joko kauko-ohjaimella tai ne lentävät autonomisesti antureiden ja GPS:n avulla noudattaen niille ohjelmoituja lentosuunnitelmia. Dronet voidaan lajitella niiden ominaisuuksien mukaan eri kategorioihin. Ominaisuuksia ovat esimerkiksi dronen toimintatekniikka, rakenne, paino, lentokorkeus, lentoaika ja hyötykuorma. (AUAV 2016).

Moniroottoriset dronet

Moniroottoriset dronet (Kuva 1.) ovat yleisimpiä dronemalleja. Niitä on helppo lentää ja ne pysyvät ilmassa paikallaan vakaasti. Vakauden ansiosta niitä käytetään paljon kuvaamisessa ja valvonnassa. Moniroottorisia droneja on useita erilaisia malleja, joita ovat 3 roottoriset (tricopterit), 4 roottoriset (quadcopterit), sekä 6- ja 8- roottoriset (hexa- ja octocopterit). Moniroottoristen dronejen hyviä puolia ovat helpon lennettävyyden ja vakauden lisäksi mahdollisuus lentää rakennusten ja rakenteiden lähellä, sekä monipuoliset käyttömahdollisuudet, esimerkiksi hyötykuorman kuljetuksessa ja kuvaamisessa. Heikkouksia ovat rajallinen suhteellisen lyhyt käyttöaika (n.20–30 minuuttia) ja hidas lentonopeus, jonka seurauksena ne eivät sovellu laajempiin kartoituksiin ja seurantaan, kuten teiden ja voimalinjojen tarkistuksiin.

Kyseiset mallit vaativat paljon energiaa pelkästään ilmassa pysymiseen. (AUAV 2016).

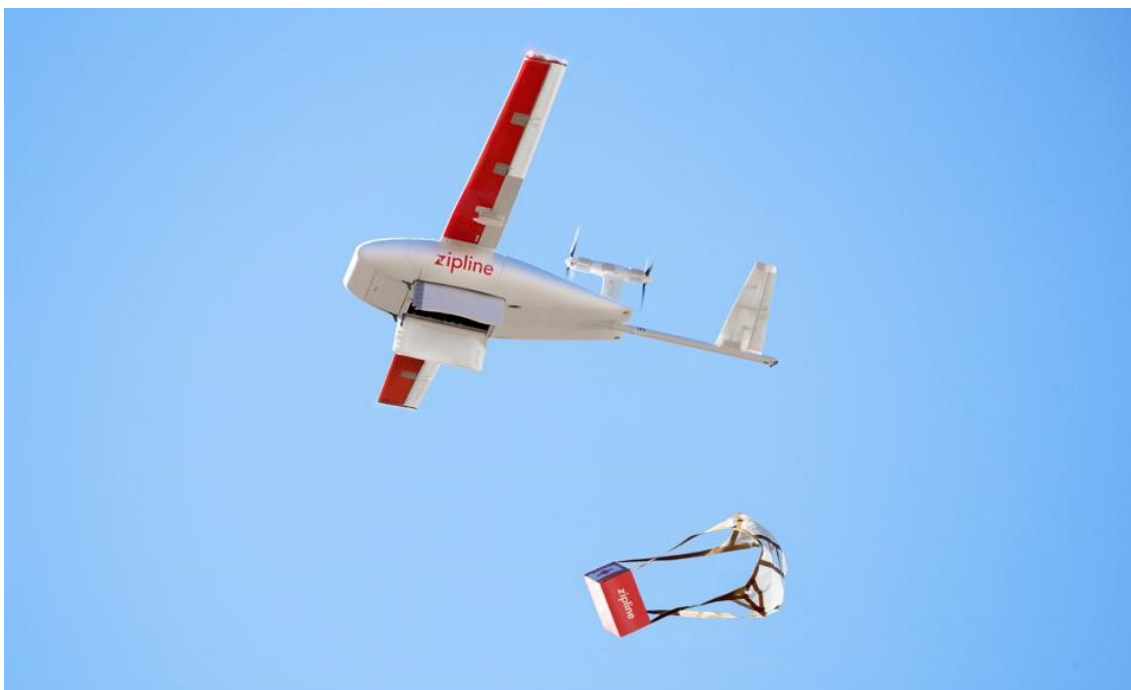


Kuva 1. Moniroottorinen drone. (Wikimedia commons 2016)

Kiinteäsiipiset dronet

Kiinteäsiipiset dronet (Kuva 2.) ovat lentokoneen kaltaisia energiatehokkaita droneja, koska ne tarvitsevat energiaa vain eteenpäin liikkumiseen, sillä siipien tuoma nostovoima kannattelee niitä ilmassa. Kiinteäsiipisiä droneja käytetään ilmakartoitukseen, maa- ja merialueiden valvontaan, tieverkoston ja energiainfrastruktuurin kartoittamiseen sekä maatalouden apuna. Etuina ovat pitkät lentoajat muutamasta tunnista yli 16 tuntiin, jonka seurauksena pystytään kartoittamaan laajoja alueita. Kiinteäsiipiset dronet pystyvät myös lentämään korkealla, ne voivat kantaa enemmän painoa kuin muut dronemallit.

Heikkouksia ovat kallis hinta, niitä on hankalampi kontrolloida ja ne vaativat usein erillisen laukaisualustan tai kiitoradan päästäkseen ilmaan. (AUAV 2016.)



Kuva 2. Kiinteäsiipinen drone (Forbes 2022).

Yksiroottorinen drone

Yksiroottoriset dronet (Kuva 3.) ovat helikopterin kaltaisia miehittämättömiä ilma-aluksia, joissa on pidempi lentoaika ja parempi hyötykuorman kantokyky kuin moniroottorisissa malleissa. Tehokkuus syntyy mahdollisuudesta käyttää pidempiä lapoja kuin moniroottorisissa malleissa. Yksiroottorisissa droneissa on mahdollista käyttää myös polttomoottoria voimanlähteenä.

Heikkouksia muihin dronemalleihin verrattuna ovat kalliin hinnan lisäksi epävakaus. Malli vaatii myös paljon huoltoa. Yksiroottorisia droneja käytetään LIDAR laserkeilauksessa ja painavien hyötykuormien kuljettamisessa. (AUAV 2016.)



Kuva 3. Yksiroottorinen drone (sUAS News 2014).

Kiinteäsiipinen hybridi VTOL

Hybridi-malliset VTOL (Vertical Take-Off and Landing) dronet (Kuva 4.) yhdistävät kiinteäsiipisen ja roottoritoimisen dronen hyödyt. Drone pystyy nousemaan ja laskeutumaan pystysuoraan roottorimallisten dronejen tavoin sekä liitämään ilmassa kuten kiinteäsiipiset dronet. Kiinteäsiipisiä hybridi droneja käytetään esimerkiksi dronekuljetuksissa. (AUAV 2016.)



Kuva 4. Kiinteäsiipinen hybridi drone (Amazon 2022).

Muita drone tyyppiä edellä mainittujen lisäksi ovat pienet nano ja micro dronet sekä käyttötarkoituksen ja lisävarusteiden periaatteella jaotellut dronet. Miehitettömät ilma-alukset voivat olla varustettu asejärjestelmillä, LiDAR-laitteilla, kameroilla, maataloudessa käytettävillä ruiskulaitteilla tai tavarankuljetus mahdollisuudella. Tiedustelu käyttöön tarkoitetut dronet voidaan jakaa lentokorkeuden perusteella (HALE) High altitude Long Endurance ja (MALE) Medium Altitude Long Endurance kategorioihin. (AUAV 2016.)

2.2 Lainsäädäntö

Miehitettömää ilmailua koskee Suomen ilmailulain lisäksi kansainväliset säännökset ja Euroopan unionin 2018 säätämä asetus unionin yhteisistä säännöistä miehitettömällä ilma-alusjärjestelmällä toiminnasta (EU) 2018/1139 sekä täytäntöönpanoasetus säännöistä ja menetelmistä miehitettömien ilma-alusten käytössä (EU) 2019/945.

Toimintakategoriat: avoin, erityinen, sertifioitu

Miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä kategoriassa ”avoin” ei harjoitettavaan toimintaan vaadita ennakoon haettavaa toimintalupaa eikä miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän toiminnasta tehtävää ilmoitusta ennen toiminnan aloittamista (EU)2018/1139 4 artikla. Avoimessa kategoriassa 1.1.2023 alkaen saa lennättää alle 25 kg painoista ilma-alusta turvallisen matkan päässä ihmisistä. Enimmäis- lennätyskorkeus on 120 metriä maanpinnasta ja lennättämiseen vaaditaan joko lennättäjän suora näköyhteys VLOS (Visual Line of Sight) tai tähystäjä. Asetuksen mukaan drone operaattorilta eli lennättäjältä vaaditaan verkossa suoritettavan teoriakoulutuksen ja kokeen suorittamista sekä dronen valmistajan ohjeisiin perehtymistä. Artiklan 14 mukaan lennättäjän on myös rekisteröidyttävä drone-operaattoriksi. Avoin -kategoriassa drone ei saa kuljettaa vaarallisia aineita eikä siitä saa pudottaa materiaalia lennon aikana. (Traficom, 2022.) Avoimen kategorian toimintaan kuuluu myös kolme alakategoriaa (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Alakategoriat A1-A3 (Traficom 2021).

Siirtymäkaudella: 31.12.2020 – 31.12.2022

A1 Dronen maksimipaino 500 g	A2 Dronen paino 500 g - 2 kg	A3 Dronen paino 500 g - 25 kg
Lentäminen sallittu yksittäisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen päällä. Ei koulutusvaatimusta	Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä (50m) ihmisistä. Verkkoteoriakoe + lisäteoriakoe	Lennot harvaan asutuilla alueilla. Verkkoteoriakoe

1.1.2023 → (Siirtymäkauden jälkeen)

A1 Dronen maksimipaino 900 g CE merkinnät: C0 ja C1	A2 Dronen paino 900 g - 4 kg CE merkinnät: C2	A3 Dronen paino 900g - 25 kg CE merkinnät: C2, C3, C4
Lentäminen sallittu yksittäisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen päällä. Dronen paino 250 – 900 g: Verkkoteoriakoe, < 250 g: Ei koulutusvaatimuksia	Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä (30 m) ihmisistä. Verkkoteoriakoe + lisäteoriakoe	Lennot harvaan asutuilla alueilla. Verkkoteoriakoe

Miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä kategoriassa ”erityinen” harjoitettavaan toimintaan vaaditaan 12 artiklan mukainen toimivaltaisen viranomaisen antama toimilupa tai 16 artiklan mukaisesti saatu lupa taikka 5 artiklan 5 kohdassa määritellyissä olosuhteissa miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttäjän tekemä ilmoitus; (EU) 2019/945 5 artikla. Jos avoimen luokan kriteerit eivät täyty, muuttuu toimintakategoria erityiseen ja 12 artiklan mukainen viranomaisen lupa vaaditaan. Toimintaluvan saamiseksi vaaditaan 11 artiklan mukainen riskiarviointi ja luettelo lieventämistoimenpiteistä. Toimintaluvassa määritellään, koskeeko lupa yksittäistä vai useampaa ajan ja paikan mukaan määriteltyä toimintakertaa. (EU) 2019/945).

Miehittämättömillä ilma alusjärjestelmillä kategoriassa ”sertifioitu” harjoitettavaan toimintaan vaaditaan delegoidun asetuksen (EU) 2019/945 mukainen sertifiointi sekä käyttäjän hyväksyntätodistus ja tarvittaessa kauko-ohjaajan kelpoisuustodistus. (EU)2018/1139 6 artikla. Toiminnan tulee olla sertifioitua, jos droneja lennätetään ihmisjoukkojen yllä, dronella kuljetetaan ihmisiä tai dronella kuljetetaan vaarallisia aineita. Toiminta luokitellaan sertifioitu kategoriaan myös, jos 11 artiklan mukainen riskiarvio niin edellyttää, eikä toiminnan riskejä voida riittävästi lieventää. ((EU) 2019/945.)

UAS- ilmatilavyöhykkeet

OPS M1-29 määräyksen mukaan miehittämättömälle ilmailulle voidaan määritellä enintään kolmeksi vuodeksi kieltävät, rajoittavat ja sallivat ilmatilavyöhykkeet. Maanpuolustuksen, valtion johtamisen, poliisitoiminnan, liikenteen, teollisuuden, oikeudenhoidon tai ympäristön suojelun kannalta voidaan perustaa kieltäviä tai rajoittavia UAS-ilmatilavyöhykkeitä. Sallivia UAS-ilmatilavyöhykkeitä, joissa voidaan poiketa avoimen toimintakategorian vaatimuksista, voidaan perustaa kaupallista-, tutkimus- tai harrastetoimintaa varten. Yhden vuoden määräajaksi Traficom voi Suomessa perustaa UAS-ilmatilavyöhykkeen (320 €) maksua vastaan. Kolmivuotisia määräyksiä UAS-ilmatilavyöhykkeistä säädetään ilmaiseksi kerran vuodessa. (Traficom 2022.)

U-space

U-space asetus tuli voimaan EU-maissa helmikuussa 2023. U-space on miehittämättömän ilmailun liikenteenhallintajärjestelmä, jossa UAS-operaatioita voi harjoittaa vain U-space palveluntarjoajan alaisuudessa. Erona aikaisempaan lainsäädäntöön U-space ilmatilassa lentävien dronien lennättäjien pitää ottaa yhteys ilmatilavyöhykkeen palveluntarjoajalle drone lennonjohtoon.

Palveluntarjoajan järjestelmä tarkastaa dronen lentosuunnitelman ja hyväksyy sen ennen lentoa lähtöä. Samassa ilmatilassa voidaan lentää miehityillä ja miehittämättömillä ilma-aluksilla. EASA (European Union Aviation Safety Agency) voi myöntää yrityksille sertifikaatin toimia U-space palveluntarjoajana. Suomessa Traficom tekee päätökset U-space alueiden perustamisesta, joissa valtuutettu palveluntarjoaja operoi ja valvoo drone lennonjohtojärjestelmää. (Yle 2023.)

Dronejen C-luokittelu

Avoimen luokan dronejen on oltava CE-merkittyjä, jos ne ovat tehdasvalmisteisia. Drone pitää merkitä yhteen neljästä C-luokasta, joka määräytyy dronen ominaisuuksien mukaan. (Droneinfo 2022.)

C0-luokkaan kuuluvat alle 250 g painavat dronet, joiden lennättämiseen ei vaadita koulutusta tai vähimmäisikää. Lennätyskorkeus maksimissaan 120 m ja lentonopeus maksimissaan 68 km/h. C0-luokan droneilla ei saa koskaan lentää väkijoukkojen yläpuolella. (Droneinfo 2022.)

C1-luokan dronea koskee samat periaatteet kuin C0-luokkaa, mutta dronen on oltava sähkökäyttöinen ja se voi painaa 900 grammaa tai yli 900 grammaa, jos törmäysenergia täydellä nopeudella on alle 80 joulea. C0- ja C1-luokan dronet kuuluvat alakategoriaan A1. (Droneinfo, 2022.)

C2-luokan drone soveltuu kuljetuskäyttöön, koska sillä voidaan lentää ihmisten läheisyydessä. C2-luokan dronet kuuluvat alakategoriaan A2. Maksimi

lento-ölähtöpaino on 4 kg. Myös C2-luokan dronen on oltava sähkökäyttöinen. (Droneinfo 2022.)

C3- ja C4-luokassa olevat dronet kuuluvat alakategoriaan A3 eli lennettäessä on oltava vähintään 150 metrin etäisyys asuin-, teollisuus-, liike-, ja virkistysalueisiin. Maksimi lento-ölähtöpaino on 25 kg. C3-luokan dronen maksimi ominaismitta on 3 m ja C4-luokan dronessa ei saa olla automaattiohjausjärjestelmää. (Droneinfo 2022.)

3 Last mile -logistiikka

Viimeisen kilometrin logistiikalla eli last mile -logistiikalla tarkoitetaan toimitusketjun loppupäätä, jossa tavara kuljetetaan jakelukeskuksesta loppuasiakkaalle (Dolan 2018). Last mile logistiikka on osa (B2C) Business to consumer eli yritykseltä kuluttajalle tapahtuvaa kauppaa. Direct to consumer, (DTC) kaupassa taas kuluttaja yleensä ostaa tuotteen suoraan valmistajan kivijalkaliikkeestä tai verkkokaupasta ilman jälleenmyyjäiä tai tukkuliikkeitä (Kuva 5.).

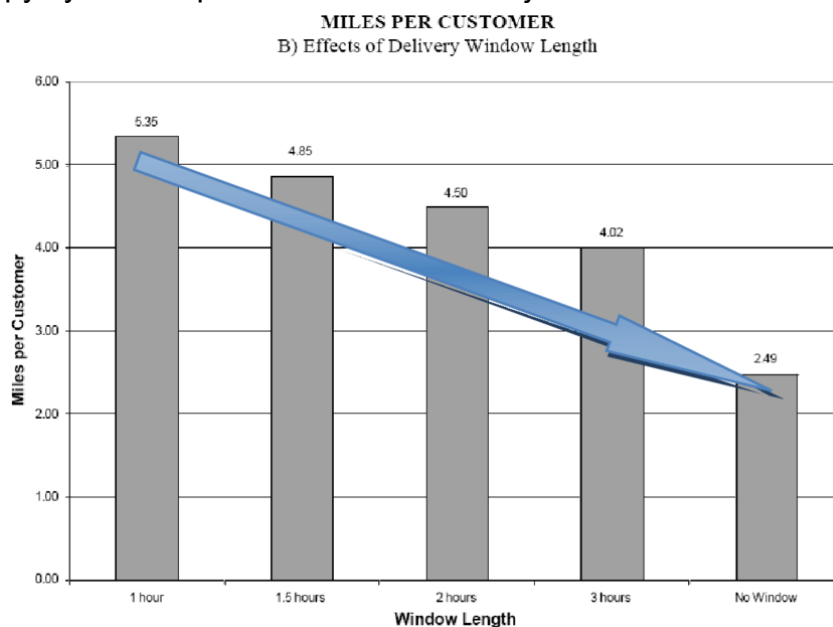


Kuva 5. B2C vs D2C (Appscrip 2022).

Viimeinen kilometri on kaikkein kallein ja tehottomin osa toimitusketjua. Kuljetuskustannuksista yli 28 % syntyy last mile logistiikasta (Ranieri ym. 2018, 1). Osa tutkimuksista kertoo viimeisten kilometrien kustannusten osuuden nousevan jopa 75 prosenttiin kokonaiskustannuksista (Gevaers, Van de Voorde & Vanellander 2009, 4).

Last mile -logistiikka sisältää useita ongelmia ja kehityskohteita. Näitä ovat esimerkiksi kotiinkuljetusten epäonnistuminen, mikäli toimitukselle ei ole sovittu tiettyä ajankohtaa ja asiakas ei ole vastaanottamassa toimitusta. Kyseinen ongelma vaikuttaa myös toimitusten tuvallisuuteen, jos asiakkaalta vaaditaan esimerkiksi kuittaus paketin vastaanottamisesta. Asiakkaan sopiessa

kuljetusyrityksen kanssa toimitusajankohdasta kuljetusreittien optimointi hankaloituu, koska toimituksille asetetaan tietyt aikaikkunat. Aikaikkunoiden lisääminen kuljetusreittiin lisää merkittävästi ajettuja kilometrejä ja kustannuksia (Kuvio 1.). Tietyillä jakelualueilla toimitusten määrä jää liian vähäiseksi, jotta pystyttäisiin optimoimaan tehokkaita ja tuottavia reittisuunnitelmia jakeluun.



Kuvio 1. Aikaikkunoiden vaikutus kuljetuksiin (Boyer, K. Prud'Homme, A. & Chung, W. 2009).

Viimeisten kilometrien toimitukset aiheuttavat myös eniten päästöjä kuljetettuja paketteja kohden. Suurimmassa osassa kotiinkuljetuksia käytetään pieniä pakettiautoja kuljetusvälineenä, jolloin hiilijalanjälki suhteessa kuljettavaan tavaramäärään kiloissa nousee merkittävästi suuremmaksi kuin isommilla kuorma-autoilla. Viimeisten kilometrien kuljetusten tehottomuus- ja kustannusongelmat kasvavat, kun jakelualueen asiakastiheys on pieni ja välimatkat suuria. (Gevaers ym. 2009, 1,4–6.)

Viimeisten kilometrien toimituksien ja kaupunkilogistiikan volyyymi kasvaa jatkuvasti kaupungistumisen, väestön kasvun, talouskasvun, teknologisen kehityksen ja verkkokauppojen kasvun seurauksena. (Bosona 2020.)

3.1 Verkkokauppojen vaikutus last mile -logistiikkaan

Verkkokauppojen suosio on kasvanut viime vuosina etenkin korona pandemiasta aiheutuneen etäostamisen vuoksi. Verkkokauppa ostaminen Suomessa kasvoi vuodesta 2020 vuoteen 2021 11 %. Verkko-ostojen myötä myös pakettien jakelumäärä kasvoi kappalemääräisesti 10 % kyseisenä ajanjaksona. Tätä kasvua selittää koronapandemian lisäksi myös vanhempien ikäryhmien siirtyminen verkkokauppoihin sekä kotimaisten verkkokauppojen kehitys. (Postimarkkinaselvitys 2021; Traficom. 2022, 20–21.)

Tilausten määrä on kasvanut merkittävästi ja samankaltainen trendi jatkuu myös tulevaisuudessa. Vuonna 2021 pakettien kokonaismäärä oli yli 110 miljoonaa kappaletta Suomessa. (Traficom 2022, 3.) Normaalien päivittäistavaroiden lisäksi ruokaostosten tekeminen verkkokaupan kautta on kasvattanut merkittävästi suosiotaan viime vuosina (Gevaers ym. 2009, 1). Uusia lähijakeluun keskittyviä yrityksiä on syntynyt etenkin isompiin kaupunkeihin, joissa ruoka-annosten tilaaminen verkkokaupoista on yleistä. Nämä yritykset pyrkivät hakemaan kilpailuetua perinteisiin kuljetusyrityksiin verrattuna jakelureittien optimoinnista, nopeudesta, sekä seurantamahdollisuuksista. (Traficom 2022, 3, 20.)

PostNordin tuottaman verkkokauppaselvityksen 2020 mukaan, Suomessa suosituin toimitustapa verkko-ostoksille on pakettiautomaatit.

Pakettiautomaattien suosiota Suomessa selittää niiden suuri määrä ja tiheys. Arvioiden mukaan yli 80 %:lla suomalaisista on alle kilometrin matka lähimmälle pakettiautomaatille. Vain 7 % haluaa paketeille kotiin toimituksen, kun useassa EU-maassa kotiin toimituksen valitsee yli puolet verkkokaupoista tilanneista. Selvityksessä kävi ilmi myös verkkokauppatilauksiin liittyvät kriteerit, joita suomalaiset pitivät tärkeinä. Kriteereitä olivat mm. kuljetuksen hinta, selkeät palautusohjeet tuotteelle, toimitusajankohdan valinnan mahdollisuus ja vähäiset ympäristövaikutukset. Suurin osa suomalaisista verkko-ostajista piti 3–5 päivän toimitusaikaa sopivana. Suomessa suosituimpia verkkokaupoista tilattavia tuotteita ovat vaatteet, kengät ja kodin elektroniikka. (PostNord 2021, 55.)

3.2 Citylogistiikka

Citylogistiikan eli kaupunkilogistiikan ongelmia ovat ruuhkat, haitalliset ympäristövaikutukset, melu, tehottomuus ja jakelun optimointiongelmat, sekä ahdas infrastruktuuri logistiikan harjoittamiseen (Arvianto, Sopha, Sri Asih & Imron 2021).

Kaupunkilogistiikan kehittämiseen on viime vuosina panostettu etenkin lähijakelun uusilla ratkaisuilla ja kokeiluilla. Kaupunkialueilla turvallisuutta ja viihtyvyyttä on pyritty parantamaan mm. vähentämällä autojen määrää liikenteessä ja perustamalla lähiterminaaleja ja CityHub-lähijakeluasemia jakelualueiden optimaaliseen läheisyyteen. Autojen hoitamaa logistiikkaa keskusta-alueilla on pyritty korvaamaan kevytjakelulla. Kevytjakelulla tarkoitetaan ratkaisuja, joilla pyritään vähentämään autojen määrää, parantamaan liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta sekä tukemaan kaupunkien ilmastotavoitteita. Kuljetuksia hoidetaan rahtipyörillä, sähköskoottereilla, lähettiroboteilla sekä droneilla. Uusilla ratkaisuilla pyritään tehostamaan logistiikkaa kaupunkialueilla, vähentämään raskasta liikennettä ja CO₂-päästöjä, pienentämään kustannuksia ja parantamaan palvelutasoa. (Valonia 2020.)

Citylogistiikassa käytettäviä lähi- ja kevytjakelu kulkuneuvoja ja välineitä ovat rahtipyörät, jotka ovat usein sähkömoottorilla varustettuja. Rahtipyöriä on eri mallisia ja niissä voi olla jopa kuution verran rahtitilaa. Kuljetuskäyttöön tarkoitetut sähköskootterit voidaan varustaa peräkärriin ja niillä voidaan ajaa 80 km yhdellä latauksella. Kevytjakelu päästöttömillä kulkuneuvoilla on kannattavaa liiketoiminnan ja päästövähennyksien kannalta. Yhtenä hyötynä on myös helpommat pysäköintimahdollisuudet verrattuna autoihin. (Citylogistiikka 2021.)

Ihmisten operoimien kuljetusvälineiden lisäksi on kehitetty LMAD (Last Mile Autonomous Delivery) välineitä, jotka kuljettavat tuotteet autonomisesti asiakkaan luo tai asiakkaan lähelle. Autonomisesti liikkuvat jakelurobotit ja dronet toimivat usein LiDAR-tekniikan avulla valmiiksi ohjelmoituja reittejä

pitkin. Ne tunnistavat ympäristössä muut liikkujat ja esteet. Kuljetusrobotit voivat olla liikkuvia pakettiautomaatteja tai kotiovelle toimittavia pieniä robotteja, jotka voidaan integroida logistiikkayritysten omiin kuljetusten hallintajärjestelmiin. (LMAD 2022.) Robotteihin voidaan ohjelmoida erilaisia ominaisuuksia, kuten puhesyntetisaattoreita ja ne pystyvät käyttämään jopa hissejä itsenäisesti (Citylogistiikka 2021).

Kaupunkilogistiikan kehittäminen tulee ottaa huomioon kaupunkisuunnittelussa ja uusien rakennusten, kuten kauppakeskusten infrastruktuurin soveltumisesta kevytjakelun käyttämiseen. Oulussa kauppakeskuksen katolle on suunniteltu laskeutumispaikkoja droneille tavarajakelua varten. (Yle 2023.)

Dronekuljetuksien vastaanottaminen kaupunkialueilla voi vaatia drone-postilaatikoiden ja laskeutumispaikkojen perustamista, koska toimituksien vastaanottaminen esimerkiksi kerrostalojen kotiovilla on lähes mahdotonta. Haja-asutusalueilla dronet voivat laskea tai pudottaa toimituksen pihalle, koska toimitusten saavutettavuus on parempi ja riski varkauksiin on pienempi. Kaupunkisuunnittelussa tulee ottaa huomioon myös turvalliset lentoreitit droneille mahdollisia U-space ilmatiloja varten.

Kaupunkilogistiikan kehittämiseksi tehty kokeilu 6Aika: Citylogistiikan uudet ratkaisut oli vuosina 2018–2020 tehty hanke, johon osallistui Turun kaupunki, Turun ammattikorkeakoulu, Forum Virium Helsinki, Tampereen ammattikorkeakoulu ja Valonia. Hankkeen tavoitteena oli sujuvoittaa ja tehostaa kaupunkilogistiikkaa. Hankkeella saatiin merkittäviä tuloksia citylogistiikan kehittämiseksi viihtyvyyden, turvallisuuden, ilmaston ja liiketalouden kannalta. Vaikka kokeilut osoittautuivatkin onnistuneiksi, niiden käyttö lopetettiin suurimmaksi osaksi hankkeen päätyttyä todennäköisesti rahoituksen puutteen vuoksi. Hanke osoitti, että citylogistiikan kehittämisestä syntyi paljon uusia liiketoimintamahdollisuuksia logistiikka-, it- ja vähittäiskaupan yrityksille. (6aika 2020.)

4 Nykytilanne

Tällä hetkellä miehittämättömiä ilma-aluksia käytetään logistiikassa mm. laboratorionäytteiden nopeisiin kuljetuksiin ja lääkintätarvikkeiden, kuten veren, rokotteiden ja insuliinin lähettämiseen logistisesti haastaviin paikkoihin, kuten maanjäristys ja maanvyöryalueille. Niitä käytetään myös kaupallisessa käytössä ihmisten kuljettamiseen sekä pakettien ja ruuan toimitukseen. Toimitusmuodolla on valtavaa kasvupotentiaalia, kun ihmiset tilaavat entistä enemmän tuotteita suoraan kotiinsa ja viimeisten kilometrien jakeluun etsitään nykyisiä parempia ratkaisuja. Ongelmana kuljetusmuodon yleistymiselle ovat tiukka lainsäädäntö ja vaadittavat luvat. Vaikka lainsäädäntöä ollaan kehittämässä, on siirtymäajat pitkiä ja tietyille alueille toimiluvan saaminen tulee turvallisuuden kannalta jatkossakin olemaan haastavaa tai jopa mahdotonta. Miehittämättömien ilma-alusten turvallisuus ja paremmat ominaisuudet esimerkiksi erilaisissa sääoloissa lentämiseen kehittyvät jatkuvasti. Ongelmana on myös investointien kallis hinta yrityksille, jotka pyrkivät ottamaan drone kuljetukset käyttöön laajemmassa mittakaavassa. Dronet vaativat itse kuljetuskaluston lisäksi joko ihmisen lennättämään sitä tai autonomisesti toimivan ohjausjärjestelmän.

4.1 Dronejen käyttö kaupallisessa toiminnassa

Yhdysvaltalainen kauppaketju Walmart käyttää tällä hetkellä dronekuljetuksia kaupallisessa toiminnassa seitsemässä osavaltiossa Yhdysvalloissa. Vuonna 2022 he tekivät yli 6000 toimitusta droneilla. Walmart tekee yhteistyötä kolmen eri dronevalmistajan kanssa, joita ovat DroneUp, Flytrex ja Zipline. He lupaavat kuljetuksiin alle 30 minuutin toimitusajan. Dronet pystyvät kuljettamaan 4,5 kg hyötykuormia ja suosituimpia tilattavia tuotteita ovat ruuat ja elintarvikkeet. (Walmart 2023.)

Verkkokauppajätti Amazon on kehittänyt Prime Air nimisen autonomisen drone kuljetusjärjestelmän omien toimituksiensa kuljettamiseen ilmateitse. Vaikka Prime Air:ia on kehitetty jo lähes vuosikymmenen ajan, se on törmännyt useisiin

lainsäädännöllisiin vaikeuksiin Federal Aviation Administration (FAA):n kanssa ja varsinaisia toimituksia on suoritettu vasta muutamia. Amazonin MK27-2 malliset dronet painavat lähes 40 kg ja pystyvät kantamaan vain noin puolet hyötykuormasta verrattuna muiden valmistajien droneihin. Prime Air dronet pudottavat paketit lähes neljän metrin korkeudesta toimituspisteeseen. (Engadget 2023.) Amazon on kuitenkin kehittämässä uudenmallista MK30 dronea, jossa on pidempi lentoaika, parempi säänkestävyys ja se on hiljaisempi aiempaan malliin verrattuna (Amazon 2022).

Suomessa kaupallisia kuljetuksia harjoittaa Wing, jonka omistaa Alphabet. Wing toimittaa mm. leipomotuotteita yhteistyössä Fazerin kanssa ja max. 1,5 kg paketteja Alepasta Vuosaaren, Marjaniemen ja Puotilan alueella (Kuva 6.). Wing ei peri kuljetuksista ollenkaan toimitusmaksua. Yhdysvalloissa Wing toimii yhteistyössä logistiikkayhtiö FedExin ja apteekkiketju Walgreensin kanssa. (Wing 2021.)



Kuva 6. Wing dronekuljetus (News Cision 2021).

4.2 Drone kokeilut ja muu käyttö

Ensimmäisenä kaupalliseen käyttöön FAA:n luvan saanut yritys on logistiikkayhtiö UPS. UPS Flight Forward kuljettaa mm. lääkkeitä, rokotteita ja lääketieteellisiä näytteitä dronejen avulla. (UPS 2021.) Lääketieteellisiä tuotteita ja humanitääristä apua toimittaa myös Zipline, jonka kiinteäsiipiset autonomiset dronet tiputtavat paketit ilmasta ja ne laskeutuvat niihin kiinnitetyn laskuvarjon avulla alas. Zipline toimii etenkin alueilla, joissa logistiikka yhteydet ovat heikot tai alueelle on esimerkiksi onnettomuuden takia ihmisen vaarallista mennä tai päästä. Zipline toimii myös kaupallisella sektorilla ja se on alan suurin toimija. (Zipline 2023; Insider Intelligence 2023.)

Tampereen Ammattikorkeakoulu aloitti yhdessä Lentola Logistics Oy:n kanssa vuonna 2018 kokeilun pakettien kuljetuksista dronella Tampereen alueella. Kokeilu oli osa 6Aika: Citylogistiikan uudet ratkaisut-hanketta. Kokeilussa pyrittiin selvittämään dronen akun kestoa eri lentonopeuksilla ja erilaisilla hyötykuormilla sekä kehittämään dronea. Pilotissa testattiin myös erilaisissa sääoloissa lentämistä ja pakettien lastaamista ja jättämistä dronepostilaatikoihin. Lentola logistics Oy:n kehittämällä dronella lentomatka hyötykuorman kanssa on 40 km ja lisäakuilla ilman hyötykuormaa jopa 90 km. Drone pystyy kantamaan 4 kg hyötykuormia. (Citylogistiikka 2020.)

5 Kuljetusvälineiden vertailu

Tämän työn tutkimusstrategiana on käytetty vertailevaa tutkimusta, jossa viimeisten kilometrien jakelukuljetuksien kuljetusvälineitä vertaillaan toisiinsa. Vertailtavia ominaisuuksia kuljetusvälineiden välillä ovat energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys, kuljetusten hinta, toimitusnopeus sekä kuljetusvälineiden muut fyysiset ominaisuudet. Tutkimus perustuu määrällisten aineistojen, kuten valmiiden vertailutaulukoiden, kuljetusvälineiden teknisten ominaisuuksien ja tilastotietojen käyttämiseen. Vertailussa keskitytään viimeisten kilometrien lähijakelu- ja keskimatkan kuljetuksiin. Vertailtavat kuljetusvälineet kuljettavat yhden samankokoisen 1 kg painoisen paketin (Taulukkojen 3, 5–9.) vertailuissa. Vertailun avulla saatua dataa analysoimalla pyritään luomaan johtopäätöksiä eri kuljetusvälineiden hyvistä ja huonoista puolista, painottuen droneen kuljetusvälineenä.

5.1 Energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys

Kuljetusvälineiden vertailussa on huomioitu eri kokoiset kuljetuskapasiteetit, jotta vertailu on mielekästä. Rodriguesin, Patrikarin, Oliveiran, Matthewsien, Scheren & Samarasin (2022) tutkimuksessa (Drone flight data reveal energy and greenhouse gas emissions savings for very small package delivery) kuljetuskapasiteetit on suhteutettu dronen kuljetuskapasiteetin mukaan (Taulukossa 2.). Jokaisen kuljetusvälineen toimitustiheys vastaa dronen energiankulutusta pakettia kohden ja dronen minimi energiankulutus vastaa muiden kuljetusvälineiden energiankulutusta pakettia kohden.

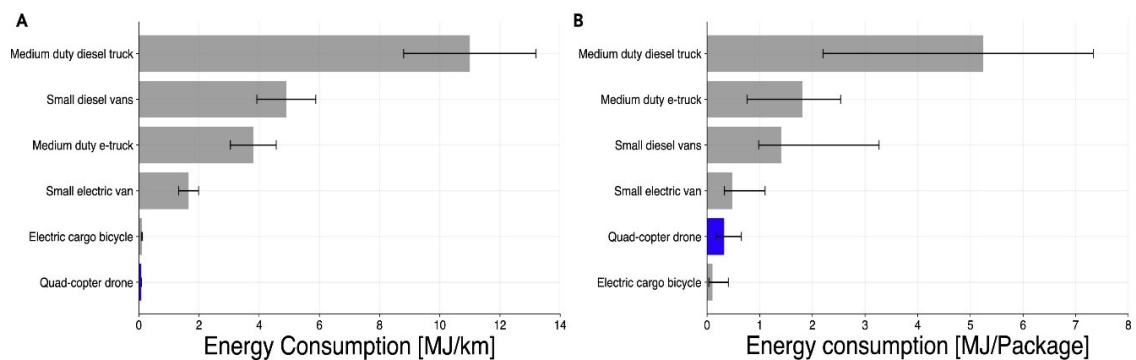
Perustapauksessa oletetaan, että drone kuljettaa 0.25 pakettia per kilometri ja kuluttaa energiaa 0.08 megajoulea/kilometri. Kuljetusmatkan pituus on 2 km suuntaansa. (Rodrigues ym. 2022.)

Taulukko 2. Drone kuljetusten energiankulutus verrattuna muihin kuljetusvälineisiin (Rodrigues ym. 2022).

Vehicle	Delivery density required to match drone energy consumption (package/km) (multiplier from base case)	Minimum energy consumption required for the drone (MJ/km)
Medium-duty diesel truck	33.8 (16.1×)	1.31
Small diesel van	15.0 (4.3×)	0.35
Medium-duty electric truck	11.7 (5.6×)	0.45
Small electric van	5.1 (1.5×)	0.12
Electric cargo bicycle	0.3 (0.3×)	0.03
Small quadcopter drone (base case)	0.25	0.07

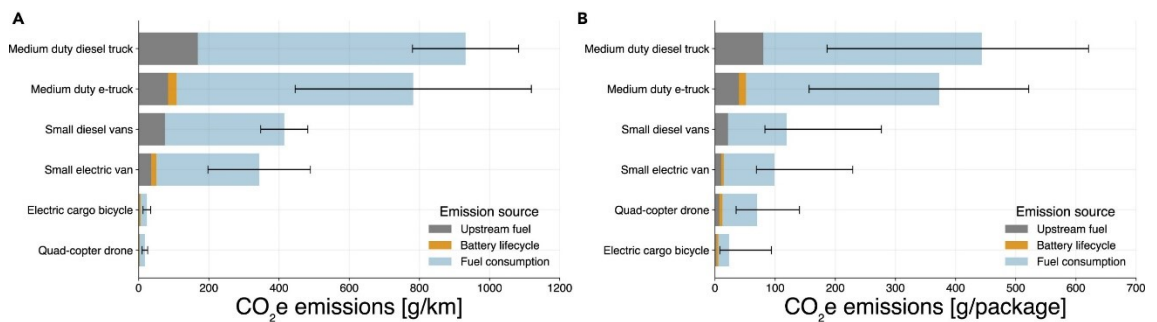
Taulukosta 2. selviää, että keskikokoisen diesel kuorma-auton pitäisi kuljettaa noin 34 pakettia per kilometri vastatakseen dronen energiatehokkuutta. Pienen sähköpakettiauton energiatehokkuus vastaa noin viiden paketin kuljettamista kilometriä kohti. (Rodrigues ym. 2022.)

Lähijakelun kannalta lyhyillä matkoilla sähköiset rahtipyörät ovat energiatehokkaimpia toimituksia kohden. Rahtipyörät vaativat kuitenkin myös ihmisen kuljettamaan kulkuneuvoa. Drone voittaa kuitenkin pienellä erolla energiatehokkuudessa sähköisen rahtipyörän, kun verrataan energian kulutusta kuljettuun matkaan. (Kuvio 2.)



Kuvio 2. Kuljetusvälineiden energian kulutus (Rodrigues ym. 2022).

Dronen CO₂- päästöt on laskettu kuljetukseen kuluvaan energian mukaan, joko grammaa per kilometri tai grammaa per paketti. Kasvihuonekaasupäästöt pakettia kohden on laskettu alueellisen ei peruskuormitussähkön, tuotantoketjun alkupään sähköntuotannon päästöjen ja akkujen elinkaaren päästöjen mukaan perustuen Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviraston tietoihin. Kuljetusmuotojen polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöt (Kuvio 3.) osoittaa, että miehittämättömät ilma-alukset sekä rahtipolkupyörät ovat vähiten saastuttavimpia kuljetusvälineitä kuljetusmatkaa ja pakettia kohden. (Rodrigues ym. 2022.)



Kuvio 3. Kuljetusvälineiden hiilidioksidipäästöt (Rodrigues ym. 2022).

Energiätehokkuutta ja kasvihuonekaasupäästöjä vertailtaessa tulee huomioida dronejen rajallinen kuljetuskapasiteetti, joka vaikuttaa merkittävästi, jos kuljetusvälineitä vertailtaisiin tonnikipometrien perusteella. Rodrigues ym. (2022) tutkimuksessa ei myöskään ole huomioitu lentorajoitusten ja säännösten vaikutusta toimitusreittien pituuteen, millä on vaikutusta energiankulutukseen sekä kasvihuonepäästöihin. (Rodrigues ym. 2022.)

Päästöjä vertailtaessa on myös huomioitava, miten sähkömoottoreilla toimivan kuljetusvälineen sähkö on tuotettu. Päästötöntä sähköä voidaan tuottaa aurinko-, tuuli-, - tai vesivoimalla. Biopolttoaineella toimivan pakettiauton päästöt voivat olla pienemmät kuin sähköauton, jonka sähkö on tuotettu fossiilisesti. Sähkömoottoreilla ja polttomoottoreilla toimivien kuljetusvälineiden vertailussa tulee ottaa huomioon ajonaikaisten päästöjen (Taulukko 3.) lisäksi myös kuljetusvälineen koko elinkaaren aiheuttamat päästöt, koska esimerkiksi akkutuotanto aiheuttaa merkittävästi päästöjä. (Länsiväylä 2020.)

Taulukko 3. Ajonaikaiset hiilidioksidi päästöt.

Kuljetusväline	Hiilidioksidi päästöt (CO ₂ e) [g/km]
Pakettiauto N1 (Dieselmoottori)	170
Pieni pakettiauto (Sähkämoottori)	0
Sähkörahtiskootteri	0
Rahtipyörä (Sähköpolkupyörä)	0
Jakelurobotti pakettiautomaatti (LMAD)	0
Jakelurobotti (Starship)	0
Drone	0

Sähkämoottorit eivät tuota ajonaikaisia CO₂-päästöjä. Taulukon 3. dieselmoottorin päästöt on saatu vertailemalla useamman eri pakettiautomallin keskimääräisiä päästöjä.

5.2 Toimituksen hinta ja nopeus

Hinta

Drone kuljetuksen hintaan vaikuttaa eniten työvoiman tarve. Myös täysin autonomisesti lentävät dronet tarvitsevat operaattoreita valvomaan lentoreittejä ja järjestelmien toimintaa. Kuljetuskustannukset yritykselle ovat sitä pienemmät, mitä useampaa dronea yksi operaattori pystyy valvomaan tai hallitsemaan samanaikaisesti. Taulukossa 4. oletuksena on, että kuljetettava paketti painaa alle 2,3 kg ja kuljetusmatka lähtöpisteestä toimituspisteeseen on alle 16 kilometriä.

Taulukko 4. Drone kuljetuskustannukset (Intelligent Transportation System Joint Program Office 2020).

Drone per unit (USD)	Volume of Packages per Day	Drones per Operator	Operator Salary (USD)	Other Operation Costs (USD)	Estimated Cost per Delivery (USD)
\$1,000 – \$3,000	30	10-12	\$50,000	\$6.30 per GB of data \$0.10 per kWh of battery	\$0.88

Työkustannusten lisäksi muita kuljetuksen hintaan vaikuttavia tekijöitä ovat dronen ja järjestelmien hankintahinta sekä dronen ja järjestelmien ylläpitokustannukset ja lupamaksut. Laitteiston ja järjestelmien hankinnassa ja ylläpidossa on otettava huomioon myös pitoaika, arvonaleneminen, pääoman laskentakorko. Laskentaperusteesta riippuen myös toimitusvolyymi päivässä, korvaukseton ajo eli paluumatkat toimituspisteeltä tyhjänä takaisin jakelukeskukselle vaikuttavat kuljetuksen hintaan. Muuttuvia kustannuksia ovat käyttövoima eli sähkökustannukset sekä korjaus- ja huoltokustannukset. Drone kuljetuskustannusten hinnoitteluperusteena on järkevintä käyttää kilometrikustannusta, koska dronen kuljetuskapasiteetti ei sovellu tonninkustannus eli painon mukaan perusteltuun kustannuslaskentaan eikä tuntikustanteiseen laskentatapaan toimitusnopeuden vuoksi. Etenkin last mile -logistiikan ongelmana ovat jakelun aikaikkunat ja jakelureiteille huonosti soveltuvat jakelupisteet voitaisiin hoitaa dronekuljetuksilla, jolloin kuljetusyritysten kuljetuskustannukset laskisivat merkittävästi. Yrityksien kuljetuskustannusten lasku näkyy myös kuluttajille kuljetushinnoissa.

Kuluttajille dronekuljetukset ovat edullisia. Osa dronekuljetusyrityksistä ei peri toimituksesta lainkaan maksua ja toimitusmatkasta riippuen kuljetuksen hinta jää usein alle viiden euron. Kotiinkuljetusten hintojen laskiessa ne tulevat todennäköisesti myös yleistymään toimitustapana Suomessa, jossa kotiinkuljetuksen valitseminen toimitustavaksi on huomattavasti harvinaisempaa verrattuna Keski-Euroopan maihin.

Toimitusnopeus

Taulukko 5 Kuljetusvälineiden nopeus

Kuljetusväline	Maksimi nopeus [km/h]	Suurin sallittu nopeus [km/h]
Pakettiauto N1 (Dieselmoottori)	160	120
Pieni pakettiauto (Sähkömoottori)	135	120
Drone	110	68
Sähkörahtiskootteri	40	40
Rahtipyörä (Sähköpolkupyörä)	25	25
Jakelurobotti (Starship)	6	15
Jakelurobotti pakettiautomaatti (LMAD)	6	15

Toimitusnopeuteen vaikuttavia tekijöitä lähijakelussa ovat toimitusreitien pituus, nopeusrajoitukset, liikennesuuhkat ja liikennejärjestelyt ja pysäköintimahdollisuudet sekä kuljetusvälineen rakenteelliset maksiminopeudet (Taulukko 6.). Kaupunkialueilla lyhyillä toimitusmatkoilla rahtipolkupyörät voivat olla nopeampia samalla matkalla kuin autot, koska kevyenliikenteen väylät voivat ruuhkatilanteissa olla nopeampia. Kevytjakelu kuljetusvälineillä on etuna myös helpommat pysäköintimahdollisuudet, mikä nopeuttaa toimitusta, kun pysäköinti paikkaa ei tarvitse etsiä. Kuljetusrobottien nopeudet ovat säädetty mataliksi turvallisuuden vuoksi, koska ne liikkuvat autonomisesti kevyenliikenteen seassa. Pidemmällä matkoilla autojen ja dronen edut tulevat esiin verrattuna muihin kuljetusvälineisiin (Taulukko 7.). Taulukossa 7. toimitusnopeus yhden kilometrin matkalla on arvioitu kaupunkialueelle sijoittuvassa kuljetusreitissä Google Maps:in avulla. Kymmenen kilometrin toimitusmatka on arvioitu samoin perustein, mutta kuljetusreitti sisältää myös kaupunkialueen ulkopuolisia alueita, jolloin nopeusrajoitukset vaihtelevat.

Taulukko 6. Kuljetusvälineiden toimitusnopeuden vertailu

Kuljetusväline	Toimitusnopeus (matka [1 km])	Toimitusnopeus (matka [10 km])
Pakettiauto N1 (Dieselmoottori)	<5 min	<20 min
Pieni pakettiauto (Sähkömoottori)	<5 min	<20 min
Rahtipyörä (Sähköpolkupyörä)	<5 min	>40 min
Jakelurobotti (Starship)	>10 min	>2 h 20 min
Jakelurobotti pakettiautomaatti (LMAD)	>10 min	>2 h 20 min
Sähkörahtiskootteri	<5 min	>25 min
Drone	<5 min	>10 min

A2 alakategoriassa C2-luokan droneilla maksimi lentonopeus on 68 km/h ja ihmisten lähellä lennettäessä on käytettävä matalanopeus tilaa, jolloin maksimi nopeus on 11 km/h (Droneinfo 2022). Dronen etuna muihin kuljetusvälineisiin on toimitusnopeus, koska ilmatilassa siihen ei vaikuta liikenneuhkat tai muut hidasteet kuten liikennevalot. Lentoreitit voivat myös olla lyhyempiä lähtöpaikasta toimituspisteeseen kuin tieverkostolla liikkuvilla kuljetusvälineillä. Lentoreiteillä on myös vähemmän muuta liikennettä, mikä vaikuttaa toimitusnopeuteen. Toimitusnopeuden vuoksi toimitukselle voidaan asettaa tarkempia toimitusaikoja ja tilaajalla on mahdollisuus valita toimituksen ajankohta laajemmin myös työaikojen ulkopuolella, joka lisää palvelutasoa ja parantaa asiakastytyvyyttä.

Toimitukseen kuluvaan aikaan vaikuttaa myös lastaus ja purkamisajat, jotka riippuvat kuljetusvälineiden kuljetuskapasiteetista ja siitä operoiko ihminen kuljetusvälinettä ja tavarankäsittelyä. Droneilla kuljetettavan tavarankäsittely ja purku voi tapahtua joko automaattisesti tai ihmisen toimesta. Muut kuljetusvälineet vaativat ihmisen avustusta em. tavarankäsittelyvaiheissa. Dronet voivat purkaa kuorman joko tiputtamalla paketin tai laskea sen vaijerin tai laskuvarjon varassa maahan, johon kuluu enemmän aikaa.

5.3 Muut vertailukohteet

Melu

Kuljetuksien ja liikenteen aiheuttama melusaaste on ongelma etenkin kaupunkialueilla ja runsasliikenteisten teiden läheisyydessä. Melusaasteella on tutkitusti haittavaikutuksia terveydelle ja se vaikuttaa myös ihmisten viihtyvyyteen. Sähkömoottoreiden yleistyminen kuljetusvälineissä on vähentänyt merkittävästi niiden aiheuttamaa liikennemelua. Ajoneuvojen aiheuttamaa melua tarkastellaan joko tyhjäkäynnistä tai ohiajosta syntyneenä meluna. Sähkömoottoreiden etuna on ajossa syntyvän todella pienen meluarvon lisäksi se, että ne eivät pidä lähes ollenkaan ääntä tyhjäkäynnillä. Moottorista syntyvän äänen lisäksi kuljetusvälineen fyysiset ominaisuudet vaikuttavat meluun ja

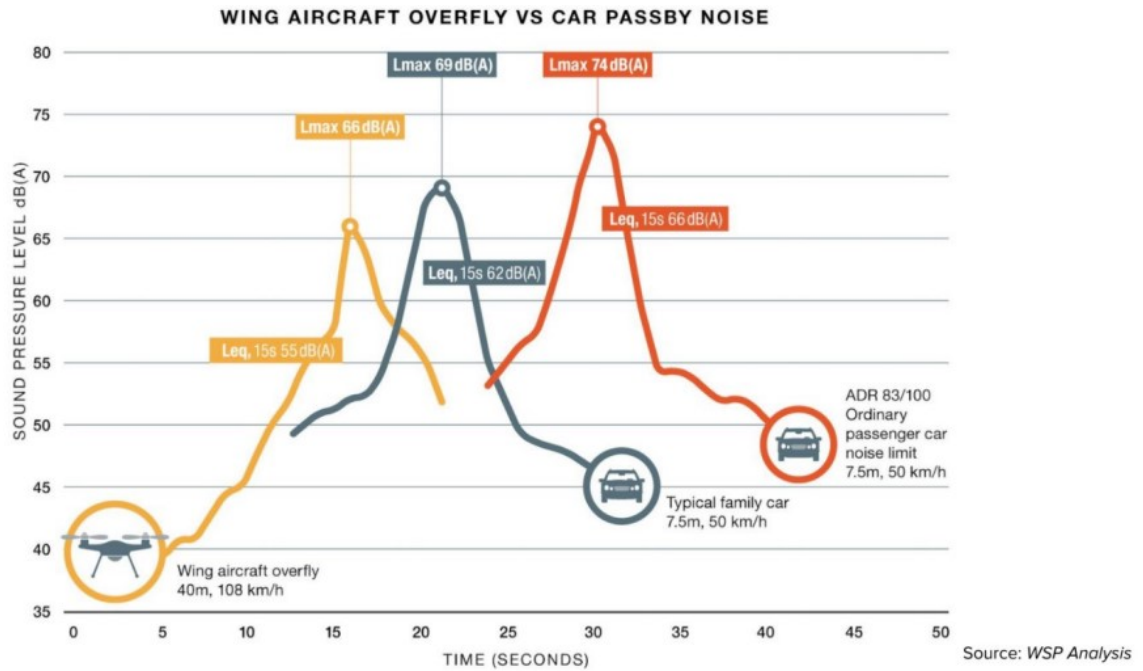
tärinä. Autoissa ja muissa renkailla kulkevissa kulkuneuvoissa renkaat aiheuttavat rengasmelua.

Taulukko 7. Kuljetusvälineiden meluarvot

Kuljetusväline	Meluarvo [dB]
Pakettiauto N1 (Dieselmoottori)	>70
Drone	>65
Pieni pakettiauto (Sähkämoottori)	<50
Jakelurobotti (Starship)	<40
Jakelurobotti pakettiautomaatti (LMAD)	<40
Rahtipyörä (Sähköpolkupyörä)	<40
Sähkörahtiskootteri	<40

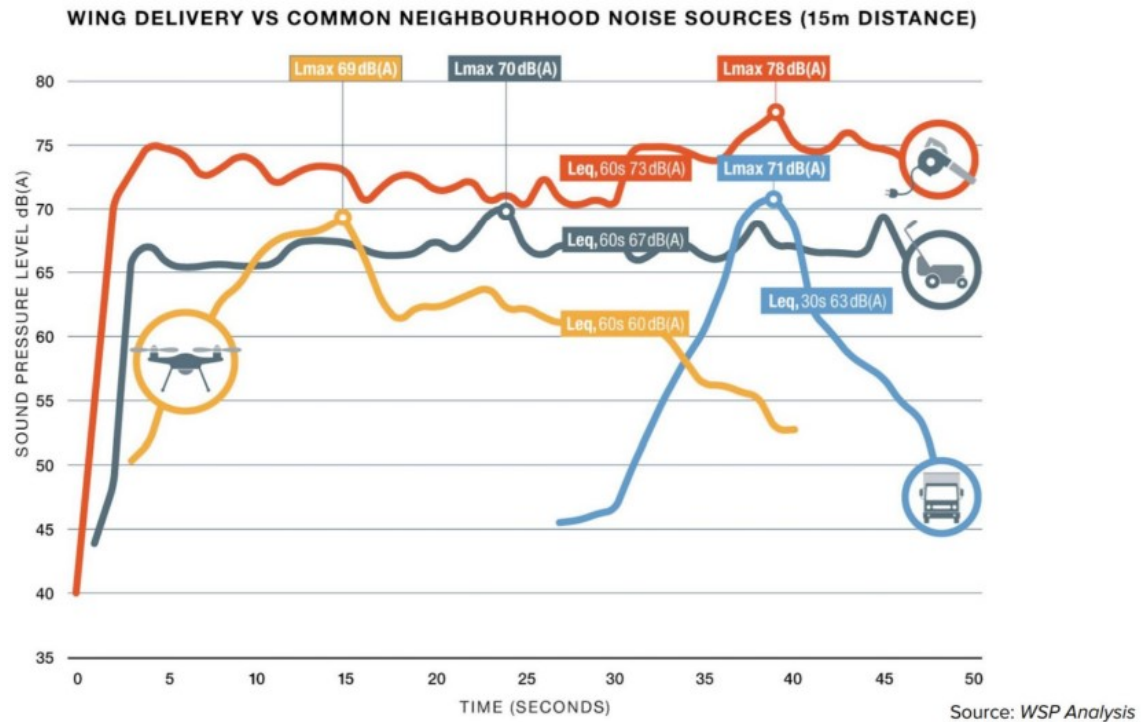
Taulukon 5. vertailu osoittaa, että sähkömootoreilla renkailla kuljevat ajoneuvot pitävät vain pientä ääntä, joka syntyy enimmäkseen rengasmelusta ja tärinästä. Taulukon arvot ovat suuntaa antavia arvioita melutasoista.

Dronen suriseva ääni syntyy propellin lapojen pyörimisestä, joka liikuttaa ilmaa. Dronen tuottamaan meluun vaikuttaa lapojen muoto ja koko. Melutasoon vaikuttaa myös dronen etäisyys ja lentonopeus. FAA:n dronen tyyppihyväksyntä edellyttää alle 76 dB melutason mittauksen eri lentonopeuksilla, lentokorkeuksilla ja tuulennopeuksilla. Wing on vertaillut oman dronensa melutasoja autoihin ja muihin yleisiin ympäristön äänilähteisiin (Kuvio 4.). (Traficom, Wingin dronetoiminta 2021.)



Kuvio 4. Wing dronen ylilennon vs. auton ohiajon melutaso (Traficom, Wingin dronetoiminta 2021).

Selvityksestä käy ilmi, että Wing dronen melutaso on pienempi, kuin normaalien autojen melutaso, vaikka se liikkuu yli puolet nopeammalla vauhdilla. Drone kuljetuksen aiheuttama yhtäjaksoinen melu jää suhteellisen alhaiselle tasolle, kun sitä vertaillaan muihin ympäristöstä lähteviin yleisiin äänilähteisiin kuten kuorma-autoon, lehtipuhaltimeen ja ruohonleikkuriin (Kuvio 5.).



Kuvio 5. Wing dronetoimituksen melutaso (Traficom, Wingin dronetoiminta 2021).

Useimmat dronekuljetuksiin keskittyneet yritykset ovat panostaneet teknisessä suunnittelussa melutasojen madaltamiseen, jotta niillä voitaisiin lentää ihmisasutuksen lähellä. Melutasojen pienentäminen, esimerkiksi propellin lapoja pienentämällä vaikuttaa kuitenkin dronen energiatehokkuuden, hyötykuorman ja lentonopeuden pienenevään.

Soveltuvuus erilaisiin kuljetuksiin

Kevytjakeluun tarkoitetut jakelurobotit, rahtipyörät ja rahtiskootterit eivät sovellu pidempiin kuljetuksiin, niiden pienen rahtikapasiteetin ja hitaan vauhdin vuoksi. Myös akun kesto ja ihminen kuljettajana tuo rajoitteita jakelureittien pituuteen. Jakelurobotit ja dronet soveltuvat parhaiten yksittäisten pakettien tai ruokaostosten kuljettamiseen suoraan tilaajalle. Rahtipyörillä ja -skoottereilla, sekä autoilla voidaan kuljettaa useita paketteja kerrallaan, jolloin jakelureitit vaativat enemmän suunnittelua kuin yksittäisten toimitusten kuljettamisessa. Autot soveltuvat monipuolisimmin erilaisiin kuljetuksiin rahtikapasiteetin ja

toimitusmatkan pituuden vuoksi. Autojen käyttö lähijakelussa ja yksittäisten pakettien toimituksessa on kuitenkin kallista ja epäkäytännöllistä. Taulukoissa 8. ja 9. kuljetusvälineiden akunkestoja, toimintamatkaa ja kuljetuskapasiteettiä on vertailtu keskenään. Taulukoiden arvot ovat keskimääräisiä arvoja, jotka on saatu tarkastelemalla useiden eri valmistajien kuljetusväline malleja.

Taulukko 8. Kuljetusvälineen toimintasäde ja akunkesto

Kuljetusväline	Toimintasäde [km]	Akun kesto [h]
Pakettiauto N1 (Dieselmoottori)	600	
Pieni pakettiauto (Sähkämoottori)	250	
Sähkörahtiskootteri	80	3
Rahtipyörä (Sähköpolkupyörä)	80	5
Drone	40	0,5
Jakelurobotti (Starship)		12
Jakelurobotti pakettiautomaatti (LMAD)		15

Taulukosta 8. selviää, että toimintamatkan perusteella autojen on kannattavaa hoitaa useampi toimitus samalla jakelureissulla. Rahtipyörät ja -skootterit soveltuvat myös rahtikapasiteettinsa vuoksi useamman toimituksen hoitamiseen samalla jakelureissulla, mutta jakelualue on pienempi. Jakelurobotit soveltuvat pienen toimintamatkansa vuoksi vain yksittäisten lyhyiden toimitusten kuljettamiseen kerrallaan. Pakettiautomaatti-malliset jakelurobotit voivat kuitenkin kuljettaa useamman paketin kerrallaan, mutta toimituspiste on sama. Dronet soveltuvat toimintamatkan ja kapasiteetin puolesta yksittäisten pakettien kuljettamiseen, mutta toimitusmatkat voivat olla pidempiä kuin jakeluroboteilla. Taulukosta 9. selviää, että droneilla on kuljetusvälineistä pienin hyötykuorman kantavuus ja rahtikapasiteetti, joka rajaa pois useita erilaisia kuljetettavia tuotteita.

Taulukko 9. Kuljetusvälineen kuljetuskapasiteetti

kuljetusväline	Kuljetusapasiteetti [kg]	Kuljetusapasiteetti [m3]
Pakettiauto N1 (Dieselmoottori)	1000	7
Pieni pakettiauto (Sähkömoottori)	600	3,8
Rahtipyörä (Sähköpolkupyörä)	200	1
Sähkörahtiskootteri	150	1
Jakelurobotti pakettiautomaatti (LMAD)	40	1
Jakelurobotti (Starship)	10	0,4
Drone	4,5	0,01

6 Johtopäätökset

Vertailevan tutkimuksen tuloksena on saatu tietoa dronen käytön eduista ja heikkouksista kuljetusvälineenä. Näitä tietoja analysoimalla voidaan tehdä johtopäätöksiä miehittämättömien ilma-alusten mahdollisuuksista ja soveltuvuudesta lähi- ja -keskimatkan kuljetusvälineenä.

Drone soveltuu parhaiten yksittäisten pakettien kuljetuksiin. Yksittäisten toimitusten kotiinkuljetuksissa etuna muihin kevytjakelu kuljetusvälineisiin on mahdollisuus pidempään toimitusmatkaan, myös lähijakelualueen ulkopuolelle. Dronella on mahdollista toimittaa myös sellaisiin kohteisiin, joihin muilla kuljetusvälineillä ei pääse esimerkiksi tieverkon huonon kunnon tai puutteen vuoksi. Nopean toimituksen vuoksi sitä voidaan käyttää esimerkiksi ruuan ja laboratorionäytteiden kuljetuksiin. Toimitusnopeus parantaa myös toimitusväilyä, joka vaikuttaa asiakastytyvyyden ja palvelutason kasvuun. Drone tulee todennäköisesti yleistymään ruokaa kotiin kuljettavien yritysten kuljetusvälineenä lähitulevaisuudessa, koska nykyinen lainsäädäntö ja droneteknologia mahdollistavat sen. Droneilla voidaan kuljettaa myös arvokkaampia toimituksia, kuten lääkkeitä ja lääkinnällisiä laitteita sillä ilmasta niiden varastaminen tai kaappaaminen on vaikeampaa, mutta tämä vaatii kuljetuksen vastaanottamista toimitushetkellä, jos käytössä ei ole dronepostilaatikoita.

Huonoja puolia droneissa ovat pieni kuljetuskapasiteetti hyötykuorman ja kuljetettavan paketin koon suhteen, joka rajaa pois useita kuljetettavia tuotteita. Myös dronejen aiheuttama suhteellisen kova melu vaikuttaa negatiivisesti ihmisten viihtyvyyteen. Miehittämättömien ilma-alusten teknologisesta kehityksestä huolimatta niillä ei voida lentää turvallisesti haastavissa keliolosuhteissa. Turvallisuudella on ollut merkittävä vaikutus mm. lainsäädännön kehittymiseen ja lupien saamiseen kaupalliseen toimintaan. Drone voi pudotessaan tai törmätessään aiheuttaa vakavia onnettomuuksia, joissa osallisena voi olla ihmisiä, muuta liikennettä, infrastruktuuria tai ympäristöä.

Yhtenä etuna dronekuljetuksissa on ympäristöystävällisyys. Käytön aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä ei ole. Myös miehittämättömän ilma-aluksen koko elinkaaren hiilijalanjälki on huomattavasti pienempi kuin sähköautojen tai muiden isompien kuljetusvälineiden, koska valmistamiseen kuluu vähemmän materiaaleja ja luonnonvaroja. Yksittäisten kuljetusten hoitaminen droneilla on paljon ekologisempaa ja tehokkaampaa kuin esimerkiksi sähköautoilla, koska drone on energiatehokkaampi ja sähkönkulutus on paljon pienempi.

Drone kotiinkuljetukset ovat kuluttajille edullisia. Myös kuljetusyrityksille järjestelmien ja dronejen hankintakustannuksien jälkeen dronet ovat taloudellisesti edullinen kuljetusmuoto, jos yksi droneoperaattori pystyy valvomaan useampaa dronea. Työvoimakustannukset ja käyttö-, sekä ylläpitokustannukset ovat varsin pienet, kun verrataan ihmisten kuljettamiin ajoneuvoihin.

Viimeisten kilometrien logistiikkaan drone soveltuu hyvin. Dronekuljetuksilla voidaan pienentää toimitusketjun kalliin loppupään kustannuksia.

Kuljetusmuodolla voidaan nopeuttaa ja tehostaa last mile- jakelua esimerkiksi kuljettamalla dronella toimituksia, jotka eivät sovellu tehokkaasti autojen ajamien jakelureittien varrelle. Dronekuljetuksilla voidaan siis parantaa palvelutasoa ja ratkaista osittain jakelureittien optimointiongelmia, etenkin kun toimituksille on asetettu tiettyjä aikaikkunoita. Dronekuljetuksilla voidaan myös edullisemmin hoitaa toimitusten palautuksia, joka on yksi tehottoman last mile logistiikan haasteista. Dronen käyttö viimeisten kilometrien kuljetusvälineenä pienentäisi myös merkittävästi toimitusketjun loppupään ympäristön saastuttavuutta. Toimituksien vastaanotto ongelmaa dronekuljetuksilla on vaikea saada ratkaistuksi. Ongelma tulee ilmi, jos kotiinkuljetus vaatii vastaanoton tai kuittauksen, eikä vastaanottaja ole toimitushetkellä tavoitettavissa, koska dronella ei voida toimittaa kuljetuksia rakennusten sisään, esimerkiksi postiluukusta.

Dronella voidaan ratkaista citylogistiikan ongelmia, esimerkiksi liikenneneruuhkien ja ahtaan infrastruktuuriin tuomat ongelmat eivät vaikuta dronekuljetuksiin. Tie- ja katuverkolla kulkevien kuljetusten osittainen siirtyminen ilmateitse kulkevaksi

vähentää liikenneuhkia sekä liikennettä ylipäättään ja parantaa siten myös turvallisuutta kaupunkialueella. Miehittämättömillä ilma-aluksilla on myös positiivisia vaikutuksia kaupunkien ympäristötavoitteisiin, kun fossiilisilla polttoaineilla kulkevia kuljetuksia voidaan korvata vähän puhdasta sähköenergiaa kuluttavilla droneilla.

Lähteet

6aika. 2020. Tuloksia. Citylogistiikan uudet ratkaisut. Viitattu 2.3.2023.

<https://6aika.fi/tuloksia-citylogistiikan-uudet-ratkaisut/>.

Amazon. Amazon prime air delivery drone reveal photos. Viitattu 8.2.2023.

<https://www.aboutamazon.com/news/transportation/amazon-prime-air-delivery-drone-reveal-photos>.

Appscrip. B2C vs D2C. Viitattu 18.1.2023. <https://appscrip.com/blog/how-to-value-a-d2c-business-model/>.

Arvianto, A. Sopha, B. Sri Asih, A. & Imron, M. 2021. City logistics challenges and innovative solutions in developed and developing economies: A systematic literature review. Viitattu 14.2.2023.

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/18479790211039723>.

AUAV. 2016. Drone types. Viitattu 20.1.2023.

<https://www.auav.com.au/articles/drone-types/#1>.

Asetus yhteisistä siviili-ilmailua koskevista säännöistä ja Euroopan unionin lentoturvallisuusviraston perustamisesta (EU) 2018/1139. Annettu 4.7.2018.

Saatavilla <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32018R1139>.

Asetus säännöistä ja menetelmistä miehittämättömien ilma-alusten käytössä (EU) 2019/945. Annettu 12.3.2019. Saatavilla <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=EN>.

Bosona, T. 2020. Urban Freight Last Mile Logistics-Challenges and Opportunities to Improve Sustainability: A Literature Review. Viitattu 27.2.2023.

<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/8769>.

Boyer, K. Prud'Homme, A. & Chung, W. 2009. The Last Mile Challenge: Evaluating the Effects of the Customer Density and Delivery Window Patterns. Viitattu 5.2.2023.

https://www.researchgate.net/publication/229886685_The_Last_Mile_Challeng

e_Evaluating_the_Effects_of_Customer_Density_and_Delivery_Window_Patter
ns.

Citylogistiikka. 2021. Kokeilut. kuljetusrobotit ja dronet. Viitattu 28.2.2023.

http://kokeilut.citylogistiikka.fi/#kuljetusrobotit_ja_dronet.

Dolan, S. 2018. The challenges of last mile delivery logistics & the technology solutions cutting costs. Viitattu 18.1.2023.

<https://www.insiderintelligence.com/insights/last-mile-delivery-shipping-explained/>.

Droneinfo. 2022. Koulutusmateriaali. Viitattu: 18.1.2023.

<https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehittamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus>.

Engadget. Amazon drone deliveries faa restrictions. Viitattu 8.2.2023.

https://www.engadget.com/amazon-drone-deliveries-faa-restrictions-205756349.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xLLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAFxytJWcqKN0LZbwDmLHpAIUMCCGKJbBO5UuwdfOxvUDzS38iVzr2ZJT6nAq5Xeow8b-LqTIPyMx5y0h3INEoDqdN6qnZ2-LILZG9ix2Hrm_N08dWikzQZ0BG5E_zQxa0xQ5vFSrs_g_q-PJyeY_OM4u9dzVoQYVaFNMTE6aLpo.

Falstrom, P. Gleason, T. & Sadraey, M. 2022. Introduction to UAV Systems: John Wiley & Sons. New Jersey Hoboken. Viitattu 25.1.2023.

https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=s8Z6EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=uav&ots=E5dmb9ajYO&sig=Vsix0YcBgKDVgtiYjPX4G7bVHEc&redir_esc=y#v=onepage&q=uav&f=false.

Forbes. 2022. Kiinteäsiipinen drone. Viitattu 20.1.2023.

<https://www.forbes.com/sites/johnkoetsier/2022/06/28/health-via-drone-zipline-now-delivering-medicine-via-fixed-wing-drones-in-north-carolina/?sh=391b33105877>.

Gevaers, R. Van de Voorde, E. & Vanelslander, T. 2009. Characteristics of innovations in last mile logistics-using best practices, case studies and making the link with green and sustainable logistics. Viitattu 6.2.2023.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.676.5843&rep=rep1&type=pdf>.

Insider Intelligence. 2023. Drone delivery services. Viitattu 8.2.2023.

<https://www.insiderintelligence.com/insights/drone-delivery-services/>.

Intelligent Transportation System Joint Program Office. 2020. Cost per drone delivery estimated to be under \$1 per package with number of drones managed per operator causing largest variable in cost. Viitattu 10.3.2023.

<https://www.itskrs.its.dot.gov/its/benecost.nsf/ID/4df3f3f4a1bf2a0d8525858f006842a3>.

Länsiväylä. 2020.. Paikalliset. Onko sähköauto oikeasti päästötön. Viitattu

10.3.2023. <https://www.lansivayla.fi/paikalliset/1543092>

PostNord. 2021. Ecommerce in Europe 2020. Viitattu 8.2.2023.

https://www.postnord.fi/siteassets/pdf/raportit/raportit/ecommerce_in_europe_2020-1.pdf.

Ranieri, L. Digiesi, S. Silvestri, B. & Roccotelli, M. 2018. A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. Sustainability: MDPI. Viitattu 17.1.2023. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/782>.

Rodrigues, T. Patrikar, J. Oliveira, N. Matthews, H. Schere, S. & Samaras, C. Drone flight data reveal energy and greenhouse gas emissions savings for very small package delivery. 2022. Viitattu 5.3.2023.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666389922001805>.

Suas News. 2014. Yksiroottorinen drone. Viitattu 20.1.2023.

<https://www.suasnews.com/2014/07/cybaero-receives-100m-contract-for-70-uav-helicopters/>.

Traficom. 2022. Ajankohtaista. Lennokkitoiminta siirtyy EU sääntelyn alaisuuteen 1.1.2023 alkaen. Viitattu 24.1.2023.

<https://traficom.fi/fi/ajankohtaista/lennokkitoiminta-siirtyy-eu-saantelyn-alaisuuteen-112023-alkaen>.

Traficom. 2021. Eu:n droneasetukset. Viitattu 16.3.2023.

<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Esa%20Stenberg%20EU%20drones%C3%A4nC3%A4nn%C3%B6t.pdf>.

Traficom. 2021. Wingin dronetointa. Viitattu 16.3.2023.

<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Wingin%20dronetoiminta%2002%2006%202021.pdf>.

Traficom. 2022. Postimarkkinaselvitys 2021. Viitattu 8.2.2023.

<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Traficom%20postimarkkinaselvitys%202021.pdf>.

UPS. Drone covid vaccine deliveries. Viitattu 8.2.2023.

<https://about.ups.com/ca/en/our-stories/innovation-driven/drone-covid-vaccine-deliveries.html>.

Valonia. 2020. Hanke. 6aika. Citylogistiikan uudet ratkaisut. Viitattu 28.2.2023.

<https://valonia.fi/hanke/6aika-citylogistiikan-uudet-ratkaisut/>.

Walmart. 2023. Walmart drone delivery by the numbers. Viitattu 8.2.2023.

<https://corporate.walmart.com/newsroom/2023/01/05/walmart-drone-delivery-by-the-numbers>.

Wikimedia commons. 2016. Moniroottorinen drone. Viitattu 20.1.2023.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:OnyxStar_XENA-8F_coax_foldable_and_pliable_drone.jpg.

Wing. 2021. Blog. Viitattu 9.2.2023. <https://blog.wing.com/2021/05/were-back-in-helsinki-for-2021-and-now.html>.

Yle. 2023. Erityiset droonien käytävät ilmestyvät pian useampien kaupunkien ylle Suomessakin – liikennettä niillä aikoo ohjata Googlen sisaryhtiö. Viitattu 23.2.2023. <https://yle.fi/a/74-20017369>.

Zipline. Viitattu 8.2.2023. <https://www.flyzipline.com>.