

Lauri Poikolainen

**DIGITALISAATIO JA SEN VAIKUTUS  
METSÄTALOUTEEN**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2024

# TIIVISTELMÄ

Poikolainen, Lauri

Digitalisaatio ja sen vaikutus metsätalouteen

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2024, 30 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintyö

Ohjaaja: Kuusio, Ari

Vaikka digitalisaatio on ollut merkittävä muuttava voima yhteiskunnassa jo useita vuosia, muutostahti ei ole hidastunut. Myöskään metsäala ei ole erillinen tästä kehityksestä, vaan sisältää omat, kustomoidut käytötapansa uusille teknologioille. Tässä tutkielmassa tutkitaan miten digitalisaatio tulee muuttamaan metsätaloutta, keskittyen teknologioihin joiden kautta digitalisaatio vaikuttaa. Tutkielma on toteutettu kuvailevalla kirjallisuuskatsauksella, jonka tavoitteena on etsiä kirjallisuudesta relevantit tulevaisuuden teknologiat käyttökohteineen.

Tutkielman toinen luku aloitetaan rakentamalla digitalisaatiolle ja siihen kytkeytyvälle termistölle määrittely. Luvun toisessa alaluvussa selvitetään puolestaan miten digitalisaatio tulee yleisellä tasolla kehittymään lähitulevaisuudessa. Kolmannessa luvussa digitalisaation tarkastelu siirretään metsätalouteen. Kolmannen luvun ensimmäisessä alaluvussa selvitetään digitalisaation nykytilanne, keskittyen edellisessä luvussa määriteltyihin digitalisaation tulevaisuuden askeleihin. Toisessa alaluvussa puolestaan selvitetään metsätalouden tulevaisuuden näkökulmaa digitalisaation osalta. Neljännessä luvussa tehdään yhteenveto aiempien lukujen tuloksista, sekä selvitetään tutkimuskysymyksiin vastaukset. Luku päättyy tutkielman onnistumisen arviointiin ja jatkotutkimusaiheiden läpikäyntiin.

Asiasanat: digitalisaatio, metsätalous, industry 4.0, forestry 4.0

## ABSTRACT

Poikolainen, Lauri

Digitalization and its effect on forestry

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2024, 30 pp.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor: Kuusio, Ari

Although digitalization has been a significant transformative force in society for several years, the pace of change shows no signs of slowing down. The forestry sector is not exempt from this development but includes its own customized applications for new technologies. This study investigates how digitalization will reshape forestry, focusing on the technologies which drive digitalization forward. The research is conducted through a descriptive literature review, aiming to identify relevant future technologies and their applications in the literature.

The literature review is presented in the second chapter, with the first subchapter providing definitions for digitalization and related terminology. The second subchapter explores how digitalization is expected to evolve in the near future on a general level. In the third chapter, the focus shifts to forestry. The first subchapter of the third chapter examines the current state of digitalization in forestry, concentrating on the future steps defined in the previous chapter. The second subchapter addresses the research problem by determining how digitalization will alter forestry in the future. The fourth chapter summarizes the results of the previous chapters and outlines the answers to the research questions. Finally, in the discussion, potential avenues for further research are considered.

Keywords: digitalization, forestry, Industry 4.0, Forestry 4.0

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	5
2	DIGITALISAATIO .....	8
	2.1 Digitalisaation määritelmä .....	8
	2.2 Digitalisaation kehityssuunnat .....	10
3	DIGITALISAATIO METSÄTALOUESSA .....	14
	3.1 Metsätalouden digitalisaation nykytila.....	14
	3.2 Metsätalouden digitalisaation kehitys.....	16
4	YHTEENVETO .....	23
	LÄHTEET .....	27

# 1 JOHDANTO

Suomen vientipohjainen talous on perinteisesti nojannut metsäalaan. Luonnonvarakeskuksen (2023) mukaan metsäteollisuustuotteiden viennin arvo oli vuonna 2022 noin 14,6 miljardia euroa. Tämä vastaa suurin piirtein 18% Suomen viennistä. Suurin osa viennistä suuntautuu Eurooppaan, Saksan ollessa suurin kauppakumppani (Luonnonvarakeskus, 2023). Kansantaloudelle metsäalalla on siis yhä merkittävä rooli, joka vaikuttaa talouden ja työllisyyden kautta koko yhteiskuntaan. Metsäalan suuren merkittävyyden vuoksi on tärkeää tunnistaa ajoissa kasvuun ja kilpailuun vaikuttavat tekijät, joista tässä tutkielmassa keskitytään digitalisaatioon. Ignatin mukaan (2017) globalismin merkittävin aika kasvun tuottajana on ohi, jolloin uudeksi merkittävämmäksi kasvua tuottavaksi tekijäksi asettuu digitalisaatio. Erityisesti niin kutsuttu neljäs teollinen vallankumouksen teollisuus 4.0:n (Industry 4.0), mukana ilmestyvät kasvumahdollisuudet tulevat olemaan välttämättömiä yritysten kasvulle (Ignat, 2017). Metsäalan digitalisaatio näkyy myös valtiollisessa päätöksenteossa, jonka uusimpana pohjana toimii Kansallisen metsästrategia (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022). Niin yhteiskunnalle, talouselämän toimijoille kuin kotitalouksille on siis merkittävää pyrkiä tutkimaan miten metsätalousalaa pystytään ajamaan digitalisaation kautta eteenpäin vastaamaan yhä kasvaviin talouskasvun, työllisyyden ja ympäristönhoidon kysymyksiin.

Tutkimusongelmana on selvittää miten digitalisaatio vaikuttaa metsätalouteen. Erityisesti ongelmassa keskitytään lähitulevaisuuteen, Maa- ja metsätalousministeriön vuonna 2022 julkaisemaan Kansalliseen metsästrategiaan 2035 innoittamana (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022). Kansallisessa metsästrategiassa 2035 kuvataan julkisen vallan merkittävimmät tavoitteet metsäalan kehittämisessä (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022). Strategian toimintaympäristön muutosta kuvaavassa osassa yhtenä lukuna on teknologiset muutokset toimintaympäristössä, joissa käsitellään erityisesti digitalisaation aiheuttamia muutoksia (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022). Tutkimusongelmaa selvitetään tutkimuskysymyksillä, joissa käsitellään digitalisaatiota metsätalouden näkökulmasta:

- Mitä digitalisaatio on ja miten se tulee etenemään
- Miten digitalisaatio näkyy tällä hetkellä metsätaloudessa
- Miten digitalisaatio vaikuttaa metsätalouteen lähitulevaisuudessa

Tutkielma on rajattu käsittelemään digitalisaatiota metsätaloudessa, joka sisältää metsänkasvatukseen, uudistamiseen, puunkorjuuseen ja kuljetukseen liittyvät vaiheet. Näin ollen myöhemmät vaiheet puiden arvoketjussa, sisältäen metsäteollisuuden ja tuotteiden jälleemyynnin, rajataan pois tutkielmasta. Vaikkakin Suomen rooli metsätalouden tutkimuksessa on vahva, käytetään metsätalouden digitalisaation osalta tässä tutkielmassa lähteitä maailmanlaajuisesti. Tämä valinta johtuu tavoitteesta pyrkiä huomaamaan, mikäli Kansallisen metsästrategian luomisessa olisi jäänyt huomaamatta joitakin maailmalla eteneviä teknologioita joita ei vielä Suomen metsätaloustutkimuksessa ole kattavasti tutkittu.

Tutkielma toteutetaan kuvailevana kirjallisuuskatsauksena, jossa käytettävänä metodina on narratiivinen kirjallisuuskatsaus. Narratiivinen kirjallisuuskatsaus antaa mahdollisuuden luoda laaja kuva käsiteltävän aiheen kehityskulusta (Salminen, 2011). Narratiivinen kirjallisuuskatsaus sisältää kolme vaihtoehtoista toteutustapaa, joista yleisin ja laajin on yleiskatsaus, jonka tarkoituksena on tiivistää tutkimuksia (Salminen, 2011). Tässä tutkielmassa käytetään tätä nimenomaista toteutustapaa ajankohtaisen tuloksen saamiseksi laajasti rajatusta lähdeaineistosta. Valittu narratiivinen metodi sopii tutkimusongelmaan, sillä se mahdollistaa tutkimusaiheen kehityskulun seuraamisen ja mallintamisen kirjallisuudesta. Yleiskatsaus valittiin toteutustavaksi mahdollistamaan metsätalouden digitalisaation rajallisten tutkimusten läpikäymiseksi.

Tutkielman lähdeainesto kerätään kuvailevalle kirjallisuuskatsaukselle tyypillisesti laajana, ilman suppeampaa rajausta. Sopivia lähteitä ovat erityisesti tietojärjestelmätieteen ja metsätieteiden alojen julkaisut, joiden JUFO-luokitus on vähintään 1, pyrkien mahdollisuuksien mukaan erityisesti korkeamman tason julkaisuihin. Vuosirajauksena pyrkimys on käyttää aikaisintaan vuonna 2015 tuotettuja tutkimuksia, painottuen 2020-luvulla tehtyihin julkaisuihin aiheen tulevaisuuteen suuntautuvan luonteen vuoksi. Myös ennen vuotta 2015 julkaistuja lähteitä voidaan käyttää, mikäli kyseessä on käsitteiden määrittely, yleistiedon haku tai harkinnanvaraisesti aiheesta tuoreempien luotettavien julkaisujen puuttuessa. Lähteiden haku tapahtuu ensisijaisesti Google Scholar- ja Scopus-palveluiden kautta. Hakuja toteutetaan myös yksittäisten julkaisuiden omista hakukoneista, mikäli julkaisut ovat sopivia tutkielman aiheeseen. Käytettävissä hakutermeissä pyritään hyödyntämään kirjallisuuskatsaukselle merkittäviä termejä pääosin englanniksi. Käytettyjä hakutermejä ovat "digitalization", "digitalisation", "digitization", "digital transformation", "forestry", "Industry 4.0", "forestry 4.0".

Tutkielman koostuu kahdesta luvusta, jotka kummatkin ovat jaettu kahden alalukuun. Tutkielman toisessa luvussa perehdytään tutkimaan digitalisaatiota yleisemmällä tasolla, joka mahdollistaa kolmannessa luvussa peilauksen metsätalouden spesifien kehityssuuntien vertailuun. Toinen luku aloitetaan

määrittelemällä tutkielmalle merkittävät termit digitalisointi, digitalisaatio sekä digitaalinen siirtymä. Tämän jälkeen seuraavassa alaluvussa pyritään tunnistamaan yleisellä tasolla mitkä digitalisaation teknologiat ja ominaispiirteet tulevat seuraavaksi muuttamaan maailmaa.

Kolmannessa luvussa tutkimusongelman selvityksessä siirrytään tarkastelemaan miten digitalisaatio näkyy metsätaloudessa. Kolmas luku alkaa sen ensimmäisessä alaluvussa selvittämällä miten digitalisaatio näkyy jo tällä hetkellä metsätaloudessa. Tarkoitus on löytää digitalisaatiota eteenpäin ajavia teknologioita jotka ovat joko tutkimus- tai käytännön maailmassa jo yleisessä käytössä. Kolmannen luvun toisessa alaluvussa kirjallisuudesta etsitään teknologian kehityssuunnat, jotka ajavat digitalisaatiota eteenpäin lähitulevaisuudessa. Tämän jälkeen metsätalouden digitalisaation kehitystä verrataan digitalisaation kehitykseen yleisellä tasolla.

Tutkielma lopetetaan yhteenvetoluvussa, jossa käydään läpi tutkielmasta saadut johtopäätökset ja havainnot, sekä pohditaan tutkimusongelman ratkaisua tutkimuskysymysten kautta. Tämän lisäksi viimeiseen lukuun kuuluu pohdinta tutkielman onnistumisesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä, sekä nostetaan esille mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

## 2 DIGITALISAATIO

### 2.1 Digitalisaation määritelmä

Digitalisaation merkityksen määrittelyä varten on ensin tärkeää tunnistaa miten se eroaa samankaltaisesta termistä digitalisointi (digitization) (Ritter & Pedersen, 2020; Frenzel, ym., 2021). Vaikkakin termit esiintyvät ajoittain rinnakkain kuvaamassa samaa ilmiötä, ovat niiden merkitykset useimmin ymmärretty tarkoittavan eri asioita (Ritter & Pedersen, 2020; Frenzel, ym., 2021). Parviainen, Tihinen, Kääriäinen ja Teppola (2017) määrittelevät digitalisoinnin tarkoittavan analogisen datan muuttamista digitaaliseen muotoon. Legner ym. (2017) tukevat tätä näkökulmaa selittäen digitalisoinnin muuttavan tiedon binäärimuotoon. He myös tarkentavat sen poistavan tiedon yhteenliittymisen fyysisistä välittäjistä, tallennustilasta, siirrosta ja käsittelylaitteistoista. Myös Ritter ja Pedersen (2020) tukevat aiemmin mainittuja digitalisoinnin käsitteitä. He perustelevat kirjallisuuden pohjalta digitalisoinnin juontuvan sanan luku (digit) tietotekniikassa käytettävästä binäärimallista, jossa luku voi olla vain 0 tai 1 (Ritter & Pedersen, 2020). Analogisen tiedonsiirron tai -käsittelyn muuttaminen binäärimuotoon tarkoittaa tällöin kyseisen tiedon digitalisointia (Ritter & Pedersen, 2020).

Frenzel, Muench, Bruckner ja Veit (2021) ehdottavat kuitenkin laajempaa käsitystä digitalisoinnille. Käsitys digitalisoinnista tarkoittamassa vain analogisen tiedon muuttamista digitaaliseksi rajaisi digitaalisesti luotavan sisällön pois digitalisoinnista (Frenzel, ym., 2021). Tällöin heidän mukaan digitalisoinniksi voisi laskea digitaalista tekstiä vain jos se on alunperin kirjoitettu käsin (Frenzel, ym., 2021). Heidän ehdotuksensa on laajentaa käsitettä sisältämään myös täysin digitaalisen tiedon ja datan luomisen ilman että tästä olisi olemassa myös fyysinen tai analoginen vastike (Frenzel, ym. 2021). Frenzelin, ym., ehdotus perustuu Clarken (2019) näkökulmaan jonka mukaan digitalisoinnin vallanku-



mous on johtanut tilanteeseen, jossa suuri osa datasta syntyy jo valmiiksi digitaalissa muodossa.

Frenzel ym. (2021) toteuttivat tutkimuksen jossa he pyrkivät vertaamaan kirjallisuudessa digitalisaation ja digitalisoinnin ilmeentymiä ja käyttötapoja. Tutkimuksessa käy ilmi suurimman osan muista tutkimuksista käyttävän digitalisaatiota ja digitalisointia eksplisiittisesti, erotellen niiden merkityksen toisistaan (Frenzel, ym., 2021). Tutkimuksessa selvisi myös eksplisiittisesti termejä käyttävissä tutkimuksissa digitalisoinnin merkityksen keskittyvän teknologiaan, kun taas digitalisaatio pohjautuu digitalisoinnin ja teknologian tuomiin edistysaskeliin (Frenzel, ym., 2021).

Frenzelin ym., (2021) tutkimuksessa paljastui, että vähemmistö tutkimuksista kuitenkin käyttää molempia termejä tarkoittamaan samaa asiaa. Digitalisaation, digitalisoinnin ja digitaalisen siirtymän termit esiintyvät myös Caputon, Pizzin, Pellegrinin ja Dabicin (2021) mukaan kirjallisuudessa usein keskenään samalla merkityksellä. Heidän mukaan tärkeämpi termikohtainen määrittely on kuitenkin välttämätöntä digitalisaation tutkimusta varten (Caputo, ym., 2021). Digitalisointia on myös Frenzelin ym. (2021) mukaan käytetty digitaalisen siirtymän kanssa yhdenvertaisena terminä. Digitaalinen siirtymä on kuitenkin oma terminsä, jolla kuvataan liiketoiminnan kehittämiseksi toteutettava digitalisointia (Frenzel, ym., 2021; Caputo, ym., 2021).

Ritter ja Pedersen (2020) näkevät digitalisoinnin mahdollistavan digitaalisessa muodossa esiintyvän datan määrän jatkuvan kasvun. Kasvava datamäärä ja sen käyttö puolestaan johtaa muutokseen ympäröivässä yhteiskunnassa (Ritter & Pedersen, 2020). Heidän perustavimmassa määrittelyssään digitalisaatio tarkoittaa juuri digitalisoinnin aiheuttamaa muutosta ympäröivään yhteiskuntaan (Ritter & Pederson, 2020). Legner ym. (2017) tukevat tätä, selittäen digitalisaation tarkoittavan sosio-tekniistä ilmentymää ja siirtymäprosessia, missä teknologinen siirtymä valjastetaan ihmisten, organisaatioiden ja yhteisöjen käyttöön. Samaan näkökulmaan yhtyvät myös Fichman, Dos Santos ja Zheng (2014). Heillä käsitys on kuitenkin laajempi, sillä he kuvaavat digitalisaation muutoksena, jossa jo aiemmin olemassa ollut pääosin fyysinen tai analoginen prosessi, sisältö tai esine muutetaan osin tai kokonaan toimimaan tai olemaan digitaalisesti (Fichman, ym., 2014).

Grayn ja Rumpfen (2015) näkökulma digitalisaatioon puolestaan on hyvinkin ihmiskeskeinen. Heidän mukaan digitalisaatio on ensisijaisesti ihmisten elämään vaikuttava tekijä. Tässä näkemyksessä digitalisaatio koostuu useiden eri teknologioiden integroitumisesta ihmisten päivittäiseen elämään kaikissa digitalisoitavissa elämän osa-alueissa. Digitalisaatio tulee vaikuttamaan kaikkiin ihmisten suhteisiin, oli ne sitten suuntautuneet toisiin ihmisiin, tai ulkoisiin organisaatioihin kuten esimerkiksi terveydenhuoltoon (Gray & Rumpfen, 2015).

Laajempaa käsitystä digitalisaatiosta ehdottavat myös Parviainen ym., (2017). He näkevät digitalisaation sisältävän nykyisten prosessien digitalisaation lisäksi laajemman teknologian kehitystä hyödyntävän mallin. Mallissa digitaalisen teknologian kehitys mahdollistaa täysin uusien ajatusmallien luomisen ja yrityksen operaatioiden arvioinnin niiden pohjalta. (Parviainen, ym., 2017).

Digitalisaatio voi siis tarjota mahdollisuuksia toiminnan kustannuksien alentamiseksi tai tehostamiseksi, mutta myös häiritä yrityksen olemassa olevia liiketoimintoja liiketoimintamahdollisuuksia muuttamalla (Parviainen, ym., 2017).

Ritterin ja Pedersenin (2020) tutkimuksessa digitalisaatiota tarkastellaan yritysten välisen liiketoiminnan näkökulmasta. Kyseiseen liiketoimintaan digitalisaatio esiintyy muutoksena, joka vaikuttaa erityisesti markkinoihin ja yrityksiin (Ritter & Pedersen, 2020). Digitalisoinnin mahdollistamat teknologiakehitykset aiheuttavat sekä muutoksia käytössä olevissa liiketoimintamalleissa, että luovat täysin uusia liiketoimintamalleja. Syntyneet ja kehittyneet liiketoimintamallit vaikuttavat yritysten välisiin markkinoihin, sekä yrityksiin jotka näillä markkinoilla toimivat (Ritter & Pedersen, 2020).

Digitalisaatioon ja sen määritelmään on Legnerin ym., (2017) mukaan vaikuttanut sen esiintymisaalto. Heidän tutkimuksessaan digitalisaatio on ilmennyt kolmessa eri aallossa, riippuen sen ilmentymistavasta. Ensimmäinen aalto syntyi tietokoneiden syrjäyttäessä paperin, muuttaen työntehon rutiineja tehokkaamaksi (Legner, ym., 2017). Seuraava aalto syntyi internetin yleistymisen yhteydessä. Sen tarjoama tiedonsiirto mahdollisti tehokkuuden kasvun lisäksi uusien verkkopohjaisten liiketoimintamallien syntymisen (Legner, ym., 2017). Tällä hetkellä on menossa kolmas aalto joka hyödyntää sosiaalisten-, mobiili-, analyysi-, ja pilvilaskentateknologioiden kehittymistä, joka johtaa sekä palveluiden ja tuotteiden teknologialähtöiseen kehittymiseen, että uusien liiketoimintamallien syntyyn (Legner, ym., 2017).

Vaikkakin kirjallisuudessa digitalisaation määritelmästä esiintyy vaihtelua, muodostuu niistä pääosin näkemys digitalisoinnin aiheuttamasta sosio-teknisestä ilmiöstä joka ajaa muutosta ympäröivään yhteiskuntaan. Tässä tutkielmassa digitalisaation liikkeelle laittava digitalisointi ymmärretään sen laajemman määritelmän mukaan, joka pitää sisällään niin analogisen datan muuttamisen digitaaliseen muotoon, kuin täysin alkuperäisen ja uuden digitaalisen tiedon tuottamisen (Clarke, 2019; Frenzel, ym. 2021).

Digitalisaation määritelmäksi muodostui esimerkiksi Fichmanin, ym., (2014), Frenzelin, ym., (2021), sekä Ritterin ja Pedersenin (2020) tukema käsitys digitalisaatiosta digitalisoinnin ajamana ilmiönä, jossa digitaalisen tiedon luominen ja niitä käyttävät teknologiaratkaisut muuttavat yhteiskuntaa useimmissa elämän osa-alueissa. Tämä määritelmä vastaa siis hyvin tarkasti Frenzelin ym., (2021) luomaa määritelmää, niin digitalisaation kuin digitalisoinnin osalta.

## 2.2 Digitalisaation kehityssuunnat

Valenduc ja Vendramin (2017) esittävät digitalisaation vaikuttavan tulevaisuudessa liiketalouteen, säädösten luontiin ja työmarkkinoihin. Tähän merkittävimpänä teknologisenä vaikutuksena he pitävät big dataa. Heidän tutkimuksessaan esitetään big datan tarjoaman tietomäärän mahdollistavan kattavamman algoritmipohjaisen päätöksenteon, jota tulevat käyttämään hyväksi niin

työnjohtajat kuin asiantuntijatehtävissä työskentelevät työntekijätkin (Valenduc & Vendramin, 2017).

Digitalisaatiolla on organisaatioille merkitystä liiketoiminnan lisäksi myös yrityksen arvon luojana. Salvi, Vitolla, Rubino, Giakoumelou ja Raimo (2021) löysivät tutkimuksessaan yhteyden yrityksen digitalisaation tilasta tulevalle viestinnällä ja yhtiön arvolla. Tutkimuksessa kävi ilmi yrityksestä suoraan tai epäsuorasti saatu tieto digitalisaatiosta tarjoaa sijoittajille kaksi viestiä. Ensimmäinen puoli kertoo yrityksen digitalisaation tason johtavan verrannollisesti korkeampaan kassavirtaan, mikä näkyy myös parempana liikevaihtona ja tuloksena. Toinen viesti kertoo sijoittajille yrityksen pystyvän reagoimaan tavallista nopeammin toimialan muutoksiin mikä johtaa matalampaan sijoitusriskiin (Salvi, ym., 2021).

Tuotantotalouden puolella digitalisaatio on jo pidemmän aikaa ollut merkittävässä roolissa, synnyttäen jopa niin kutsutun kolmannen teollisen vallankumouksen (Lasi, Fettke, Kemper & Hoffman, 2014). Lasi ym., (2014) kuitenkin näkevät tutkimuksessaan digitalisaation vaikuttavan teollisuuteen vielä toisella suurella askeleella, jota he kutsuvat termillä Teollisuus 4.0. Tässä neljännessä teollisessa vallankumouksessa digitalisaatio tulee viemään kehityksen vieläkin pidemmälle, perustuen erityisesti älyteknologioiden kehittymiseen ja verkkoteknologiaan (Lasi, ym., 2014). Muller, Jaeger ja Hanewinkel (2019) toteavat tutkimuksessaan Teollisuus 4.0:n ajavien teknologioiden olevan erittäin merkittävä tutkimusaihe myös metsätieteissä.

Lasi ym. (2014) tunnistavat Teollisuus 4.0 aiheuttavan teknologisen kehityksen perustuvan kahteen ryhmään, joista jälkimmäinen on erityisesti merkittävä. Ensimmäinen ryhmä pitää sisällään jo yleiseksi yksityisillä käyttäjillä käyttöön tulleet teknologiat, kuten kehittyneemmät verkkoteknologiat, sovellukset ja erilaiset päätelaitteet. Toinen ryhmä taas on merkittävämpi, johtuen sen vähäisestä nykykäytöstä teollisuudessa ja sen tarjoamista mahdollisuuksista (Lasi, ym., 2014). Tähän ryhmä koostuu yhä kasvavasta automatisoinnista, tiedonvälityksestä sekä teknologian koon pienemisestä, eli miniatyrisoinnista (Lasi, ym., 2014).

Automatisoinnin käyttökohteet tulevat jatkossa digitalisaation myötä laajenemaan selvästi nykyistä pidemmälle (Lasi, ym., 2014). Automatisointi tulee tarjoamaan varsinaisen tuotannon lisäksi myös tuotannon itsenäistä hallintaa, sekä optimointia (Lasi, ym. 2014). Tiedonvälityksen kasvu Lasin ym. (2014) mukaan tulee näkymään Teollisuus 4.0:ssa kasvavana määränä erilaisia sensoreita ja niiden tarjoamaa dataa. Tämä data yhdistyy prosessin tiedonvälitykseen, luoden tuotantoympäristöstä täysin digitalisoidun (Lasi, ym., 2014). Digitalisoitua tuotantoympäristö toimii liikkeellepanijana muun muassa simuloinnille ja digitaaliselle suojaukselle (Lasi, ym., 2014). Viimeinen Lasin ym. (2014) mainitsemista teknologisista kehitysaskelista on miniatyrisointi. Tietokoneiden pieneminen mahdollistaa täysin uudenlaisten käyttötapauksien luomisen erityisesti tuotannossa ja logistiikassa (Lasi, ym., 2014).

Santos ja Martinho (2020) kävivät läpi Teollisuus 4.0:sta julkaistua kirjallisuutta luodessaan mallin Teollisuus 4.0:n käyttöönottoon teollisissa yrityksissä.

He tunnistivat perinteisesti Teollisuus 4.0:n liitetyt teknologiat, jotka pitävät sisällään muun muassa kyber-fyysiset järjestelmät, esineiden internetin, pilvilaskennan, Big Data analytiikan, palvelupohjaisen arkkitehtuurin, itsenäiset järjestelmät, 3d-tulostuksen ja mobiilipalvelut (Santos & Martinho, 2020). Näiden rinnalle on kehittynyt dataan ja sen käyttöön perustuvia konsepteja (Santos & Martinho, 2020). Periaatteena näissä on kasvavan ja reaaliaikaisen datan käyttö päätöksenteon tukena (Santos & Martinho, 2020). Esimerkkejä näistä konsepteista ovat liiketoimintamallien digitalisointi, reaaliaikainen data-analytiikka sekä tuotteiden digitalisointi (Santos & Martinho, 2020).

Srai ja Lorentz (2019) määrittivät kymmenen teknologiaryhmää tutkiesaan digitalisaation vaikutusta hankintaan ja tarjonnan hallintaan. Ensimmäinen näistä, internet, on määritelty heidän tutkimuksessaan digitalisaation perusteknologiaksi, kun taas loput yhdeksän ovat määritelty kehittyneiksi digitalisaation teknologioiksi (Srai & Lorentz, 2019). Yhdeksän kehittyntä teknologiaryhmää on jaoteltu esineiden internetiksi, sosiaaliseksi mediaksi, pilvipalveluiksi, big data analytiikaksi, tekoälyksi, mobiiliteknologioiksi, virtuaaliseksi ja/tai muunnelluksi todellisuudeksi (VR, AR), lohkoketjuiksi ja 3d-tulostamiseksi (Srai & Lorentz, 2019).

Myös Schniederjans, Curado ja Khalajhedayati (2020) tutkivat teknologian kehityksen vaikutusta organisaatioiden hankintaketjuun sekä tutkijayhteisön, että teknologiaa soveltavien kehittäjien näkökulmista. Aiheesta julkaistuissa tutkimuksissa on kasvavassa määrin esillä esineiden internet, big data ja pilvilaskenta (Schniederjans, ym., 2020). Schniederjansin ym. (2020) mukaan digitalisaatiota toteuttavien kehittäjien näkökulma kuitenkin eroaa kirjallisuudesta löytyvästä pääpainosta. Kehittäjien ajamissa teknologioissa on paljon painoarvoa lohkoketjuteknologioilla, tekoälyllä ja lisätyllä todellisuudella, mihin ei samassa mittakaavassa löydy kirjallisuudesta tukea (Schniederjans, ym., 2020).

Chauhan, Parida ja Dhir (2022) tarkastelevat tutkimuksessaan digitalisaation merkitystä kiertotalouteen. Heidän tutkimuksessaan kiertotalous nähdään linkittyvän vahvasti digitalisaatioon, sillä digitalisaation tuoma kehitys luo aiemmin saavuttamattomissa olevista kiertotalouden konsepteista toteutuskelpoisia liiketoiminnassa (Chauhan, ym., 2022). Tutkimuksessa digitalisaatio ajaa kiertotaloutta eteenpäin kuuden pääryhmän teknologiakehityksen avulla. Nämä teknologiaryhmät ovat big data, sensorit, digitaalinen markkinointi, tekoäly, esineiden internet sekä lohkoketjut (Chauhan, ym., 2022).

Big data kehittää kiertotaloutta Chauhanin ym., (2022) mukaan tarjoamalla aikaisempaa suuremmat ja laajemmat datamäärät päätöksenteon avuksi. Näitä kasvavia datamääriä on mahdollista hyödyntää data-analyyseillä, joita tuotetaan organisaation johdolle strategiseen suunnitteluun (Chauhan, ym., 2022). Big datan merkitys tulee voimistumaan erityisesti uusien, aiemmin hyödyntämättömien tietolähteiden ja tietomuotojen myötä, sekä kolmansien osapuolien tarjoamien tietojen avulla (Chauhan, ym., 2022). Näiden tietojen integroituminen jo olemassa olevaan dataan tulee näkymään sekä aiempaa kattavammissa päätöksentekoa tukevassa materiaalissa, sekä uusien liiketoimintamallien syntymi-

sessä (Chauhan, ym., 2022). Kiertotalouden puolelle tämä heijastuu erityisesti kehittyvien tuotteiden elinkaarien kautta (Chauhan, ym., 2022).

Chauhan ym. (2022) huomioivat tekoälyn tukevan tuotantoa sen useissa eri vaiheissa optimoinnin kautta. Chauhan ym., (2022) nostavat tekoälyoptimoinnin mahdollistamista kehityssuunnista esille kustannusten leikkaamisen, tuotantolaadun ja päätöksenteon parantamisen, sekä tuotantoprosessin reaaliaikaisen valvonnan. Päätöksentekoa tekoäly parantaa tunnistamalla raakadatas- ta toistuvia kaavoja, joita pystytään käyttämään päätöksenteon tukena (Chauhan, ym., 2022) Tuotantoprosessien valvonnassa tekoäly hallinnoi tuotantoketjua sekä siitä saatavaa dataa. Tällöin tekoälyjärjestelmä pystyy reaaliajassa tunnistamaan mahdolliset ongelmatilanteet, sekä minimoimaan niiden vaikutukset (Chauhan, ym., 2022).

Esineiden internetin teknologioiden kehitys tulee vaikuttamaan digitalisaatioon Chauhanin ym., (2022) tutkimuksen mukaan erityisesti kehittämällä optimointia. Erilaiset älylaitteet pystyvät keräämään välittämään tietoa aiempaa paremmin, joka mahdollistaa hankintaketjujen integraatiota, tuotteen toimintakyvyn arviointia, sekä optimointia (Chauhan, ym., 2022).

Kirjallisuudessa digitalisaation kehityksestä nousee esille kaksi vahvaa trendiä. Erityisesti datapohjaisuus ja reaaliaikainen viestintä tulevat tutkimusten pohjalta viemään digitalisaatiota eteenpäin, perustuen yhä suurempaan, hajautuneempaan ja nopeammin liikkuvaan dataan (Chauhan, ym., 2022; Lasi, ym. 2014; Schniederjans, ym., 2020; Valenduc & Vendramin, 2017). Big datan tarjoamat analytiikkamahdollisuudet tulevat näkymään niin perinteisessä datan käsittelyssä, kuin tekoälysovelluksille pohjadataana (Chauhan, ym., 2022; Schniederjans, ym., 2020). Kirjallisuudesta nousee esille myös Teollisuus 4.0-käsite merkittävään rooliin teollisuuden ajajana, johon vaikuttavia teknologisia suuntauksia ovat edellä mainittujen big datan ja tekoälyn lisäksi kasvava sensoreiden määrä, esineiden internet, automatisointi, lohkoketjut, virtuaali- ja lisätty todellisuus, 3d-tulostus, mobiiliteknologiat ja sosiaalinen media (Lasi, ym., 2014; Santos & Martinho, 2020).

## 3 DIGITALISAATIO METSÄTALOUESSA

### 3.1 Metsätalouden digitalisaation nykytila

Digitalisaatio on ollut metsätaloudessa selvästi näkyvissä jo 1990-luvulta lähtien, jolloin metsäalan organisaatiot olivat jopa silloisen digitalisaation johtavia edistäjiä (Holopainen, 2019). Metsäalalle tärkeät paikkatietoaineistot muuttuivat digitaaliseksi ja niiden käsittelyyn ilmestyivät erilaiset paikkatieto-ohjelmat. Kehitys jatkui kaukokartoitusmenetelmissä 2000-luvulle siirryttäessä. Mukaan ilmestyivät tavallisia kameroita laajemmalla aallonpituusalueella toimiva hyperspektrikuvaus, sekä ilmaitse 3D-pistepilviä tuottavat laserkeilausaineistot (Holopainen, 2019). Tällä hetkellä kerättävä kaukokartoitusdata on jo laajentunut 4D-dataan, jossa kaukokartoitustiedoissa on koordinaatiston ja puuston korkeuden lisäksi myös eri ajankohdissa tehtyjen mittaustietojen ansiosta aikasarjojen tuoma neljäs ulottuvuus (Holopainen, 2019). Aikasarjat ovat myös tihentyneet perinteisessä optisessa kuvauksessa, johtuen satelliittikuvausten ansiosta kasvaneesta aiempaa tiheämmästä kuvausvälistä (Holopainen, 2019).

3D-mallintamiseen käytettäviä pistepilviä pystytään luomaan ilmaitse lisäksi nykyisin myös kannettavilla sensoreilla (Blaser, Meyer, Nebiker, Fricker, Weber, 2020). Markkinoilla saatavien mittalaitteiden sensorit keskittyvät pääosin ensisijaisesti LiDAR-laserkeilaukseen, liittäen joissain tilanteissa yhteen paikkatietosensorista ja kamerasta saatavia tietoja (Blaser, ym., 2020). Nykyiset sensorit kuitenkin ovat vielä tarkkuudeltaan metsien skannauksessa epäluotettavia (Blaser, ym., 2020).

Venanzi, Latterini, Civitarese ja Pichhio (2023) esittelevät laserkeilaukselle puustotietojen keruun lisäksi vaihtoehtoisen käyttötavan, joka on korjuujäljen laadunseuranta. Dronekäyttöiset laserkeilaimet tarjoavat 3D-pistepilvensä ansiosta työkalun ympäristövaurioiden arvointiin korjuun jälkeen (Venanzi, ym., 2023). Toinen Venanzin ym., (2023) nostama käytössä oleva teknologia korjuujäljen valvontaan dronepohjaisesti on rakenne-liikkeestä-fotogrammetria (Struc-

ture-from-motion Photogrammetry). Tämä menetelmä käyttää valokuvien vertailua kolmiulotteisen rakenteen luomiseksi, muodostaen maanpinnasta korjuuvaurioiden paikantamiseen sopivan mallin (Venanzi, ym., 2023).

Puunkorjuun puolella digitalisaation kehitys on näkyvissä erityisen voimakkaasti hakkuukoneiden keräämässä laajassa datamäärässä (Lopatin, ym., 2023). Hakkuukoneet keräävät korjuun yhteydessä puustotietoja hakkuupään sensoreilla, sekä usein pystyvät myös liittämään näihin paikkatiedon paikannussensorin avulla (Lopatin, ym., 2023). Nämä hakkuukoneen keräämät tiedot soveltuvat puiden yksilökohtaisten tietojen, puiden välisten suhteiden, sekä metsien ja ympäristön kuvaukseen ja mallinnukseen (Lopatin, ym., 2023). Myös Venanzi ym., (2023) tukevat käsitystä laajasta korjuussa tapahtuvasta datan keräämisestä. Metsäkoneiden hakkuupään, paikkatietoanturin ja muiden sensoreiden tuottama tieto pystytään välittämään kuljettajan saataville metsäkoneen keskustietokoneeseen (Venanzi, ym., 2023). Samaiset tiedot pystytään välittämään työtä valvovalle korjuuasiantuntijalle, joka tämän avulla pystyy seuraamaan koneiden työskentelyä reaaliajassa kalustonhallintajärjestelmästä (Venanzi, ym., 2023). Kemmerer ja Labelle (2021) nostavat spesifimmin esille hakkuukoneen datan käyttökohteita. Näitä ovat tukkien katkonnan optimointi, korjuun tuottavuusanalyysi ja tukkien tilavuuden laskenta (Kemmerer & Labelle, 2021).

Puunkorjuussa digitalisaatio näkyy kerättävän tiedon lisäksi myös tietojärjestelmien, viestintäsovellusten ja verkkopalveluiden kautta (Jäntti & Aho, 2023). Jäntti ja Aho (2023) seurasivat tutkimuksessaan puunkorjuun työntekijän päivittäisessä työskentelyssä käyttämiä teknologioita. Merkittävässä roolissa paljastuivat yleiset pikaviestisovellukset, joiden kautta koneiden ohjaajat kävivät keskustelua työtä johtavien korjuuasiantuntijoiden kanssa (Jäntti & Aho, 2023). Toinen merkittävässä roolissa oleva teknologia olivat erilaiset korjuujärjestelmät, joiden avulla työnjohto välitti työmaiden ohjeet ja tiedot karttoineen ja puustoarvioineen työkoneisiin (Jäntti & Aho, 2023). Kolmas esille nousnut teknologiaryhmä olivat erilaiset verkkopalvelut, joita käytettiin sekalaisesti muun muassa kuljettajien perehtymiseen, työajan seurantaan ja polttoainesäiliöiden hallintaan (Jäntti & Aho, 2023).

Metsävaratietoa käyttävät järjestelmät tarjoavat mitatun datan lisäksi ennusteita ja käyttösuosituksia, sekä pystyvät yhdistämään metsäalan toimijat keskenään (Valieva, Mingazon, Uraev, 2023). Eräs esimerkki ensin mainituista on MELA-järjestelmä (MEtsäLAskenta), joka tarjoaa käyttäjilleen tukea ja tietoa metsänkäytön suunnitteluun ja päätöksentekoon, sekä simulaatioita metsänkasvusta ja kehitymisestä (Valieva, ym., 2023). Toimijoita yhdistävät järjestelmät taas tuovat metsävaratiedon niin puuta hankkiville yrityksille, kuin toimintaa valvoville valtiollisille toimijoille (Valieva, ym., 2023).

Myös puunkorjuun automatisaatio on jo nyt ottanut ensimmäisiä askelia (Muller, ym., 2019). Hakkuukoneissa on Mullerin ym., (2019) mukaan jo tällä hetkellä ensimmäisen tason automatisoinnin soveltamista. Tämä tarkoittaa koneiden yhä vaativan aktiivisen käyttäjän ohjaamaan laitetta, mutta automatisaatio tuo käyttäjän avuksi tarkempaa lisäohjausta sekä esille tuotavaa lisätietoa (Muller, ym., 2019). Esimerkkejä jo nyt käytössä olevista teknologioista ovat

hakkuupään tuettu liikuttaminen, puominkäytön osittainen automatisointi sekä korjuuta tukevaa dataa ja metsän tilaa esille tuova lisätty todellisuus (Muller, ym., 2019; Venanzi, ym., 2023).

Puutavaran kaukokuljetus on puunhankintaketjun eniten kustannuksia tuottava vaihe, minkä vuoksi kuljetusten optimointi on merkittävässä roolissa nykyisessä puunhankinnassa (Muller, ym., 2019). Kuljetukseen onkin jo käytössä reititykseen auttavia järjestelmiä, jotka pyrkivät luomaan puiden tehtaalle kuljetukseen optimoidut reitit minimoimaan hukkaan menevän ajan ja ajatut kilometrit (Muller, ym., 2019). Reititys toteutetaan ohjelmistojen analyysillä joka arvioi reittejä matka-ajan, tien laadun ja sekä turvallisuustietojen pohjalta (Muller, ym., 2019).

Vaikka työturvallisuuden puoli on merkittävä kysymys metsäalalla pitkien välimatkojen ja raskaiden koneiden vuoksi, ei se ole vielä noussut tutkimuksissa eturiviin (Venanzi, ym., 2023). Kirjallisuudesta voi kuitenkin nostaa esille muutaman jo käytössä olevan turvallisuutta parantavan teknologian. Ensimmäinen on sijainninkopalvelu. Mobiililaitteiden paikannukseen ja mobiilisovelluksiin perustuvat sijainninkopalvelut tarjoavat keinon työntekijöiden koordinaatioon ja pelastustoiminnan ohjaamiseen (Venanzi, ym., 2023). Sovelluksessa voi olla myös aikavälein tilannepäivityksen vaatiminen, mikä mahdollistaisi työnjohtoa huomaamaan mahdolliset onnettomuudet ilmoituksen puuttuessa (Venanzi, ym., 2023). Toinen Venanzin ym., (2023) esille nostama turvallisuusteknologia on työkoneiden sensorit. Kaapelikoneissa sensorit tarjoavat tietoa kaapelin jännityksestä suhteessa kestoon, kun taas ajettavissa koneissa sensorit pystyvät varoittamaan liiallisesta kallistumisesta (Venanzi, ym., 2023). Mobiilisovellukset ovat käytössä työturvallisuuden lisäksi metsävarojen hallinnassa (He & Turner, 2021). Sovellukset luovat metsien puustomäärästä arvioita kamerasta saatavien kuvien ja videoiden pohjalta, sekä yhdistämällä tietoja saatavilla olevaan kaukokartoitusdataan (He & Turner, 2021).

## 3.2 Metsätalouden digitalisaation kehitys

Vaikka Kansallisessa metsästrategiassa 2035 käsitellään digitalisaatiota ajavia teknologioita vain pintapuolisesti, nousee sieltä esille useita toisessa luvussa käsiteltyjä teknologioita (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022). Merkittäviä mainintoja oli heti alussa Big datan tuomat mahdollisuudet laajemmalla ja reaaliaikaisemmalla datalla, tekoäly, automatisoinnin eteneminen, paikkatiedon monipuolistuminen, sekä alustatalous (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022).

Holopainen (2019) kuvailee tutkimuksessaan metsävaratiedon laajenemista digitalisaation seurauksena erityisesti mittaustapojen halventuessa ja laajentuessa. Esimerkkinä halventuvasta mittaustavasta Holopainen (2019) esittelee ilmasta tapahtuvan laserkeilauksen, joka mittaussensorin pulssitaajuuden tihenemisen vuoksi mahdollistaa yhä suurempien alojen mittaamisen halvemmalla korkeamman lentokorkeuden avulla. Laserkeilaus tulee lisäksi laajenemaan lennosta tapahtuvan lisäksi maastossa tapahtuvaan, erilaisten reppumittareiden



ja hakkuukoneiden avulla, sekä dronejen yleistymisen avulla (Blaser, ym., 2020; Holopainen, 2019; Pichler, ym., 2022). Maasto ja lentomittauksen lisäksi laserkeilaus tulee vahvistumaan myös satelliittipohjaisella keilauksella (Holopainen, 2019).

Mullerin ym., (2019) mielestä Teollisuus 4.0 tulee ajamaan metsätalouden kehitystä, muuttaen koko metsän arvoketjun. Heidän tutkimus selvitti Teollisuus 4.0:n esiintymistä metsätalouden älyhankintaketjun mahdollistajana, luoden edellytykset kehittyneemmälle puunkorjuun suunnittelulle, puunkorjuun hallinnalle, puunkorjuulle, kuljetukselle, sekä puukaupalle (Muller, ym., 2019). Näiden askelmien lisäksi Muller ym., (2019) mainitsivat erikseen virtuaalisen metsän, joka toimii pohjana jokaisessa hankintaketjun vaiheessa. Virtuaalinen metsä toimisi puunhankinnan lisäksi kiertotalouden ja ympäristön kestävyuden parantamisessa päätöksenteon tukena (Nita, 2021).

Virtuaalimetsä on on digitaalinen kopio metsästä, joka perustuu ajatuksen digitaalisesta kaksosesta (Nita, 2021). Digitaalinen kaksonen on reaali maailmasta digitaaliseen muotoon rakennettu kopio, joka perustuu esineiden internettiin, tekoälyyn ja big dataan (Nita, 2021). Kaksosia pystytään käyttämään reaali maailman toimintojen demoamiseen mahdollisten uhkien havaitsemiseksi, tehokkuuden kasvattamiseksi (Nita, 2021). Virtuaalinen metsä pitää sisällään tiedon yksittäisistä puista, maastonmuodoista, maalajeista, infrastruktuurista ja muista tärkeistä tiedoista (Muller, ym., 2019). Kopio metsästä toteutetaan kaukokartoitustiedon avulla, josta muodostetaan kehittyneellä analytiikalla ja tekoälyllä yksittäisten puiden tarkkuudelle kopio tarkasteltavasta metsästä (Muller, ym., 2019; Nita, 2021). Mullerin ym. (2019) mukaan virtuaalimetsän siirtymiseksi teoriasta yleiseksi käytännöksi merkittävimpänä esteenä on tarvittavan datan hankinta ja käsittely. Heidän ja Niran (2021) mukaan niin ilmasta kuin maasta kerättävä Lidar-etäisyysensensorin data voisi yleistyessään olla virtuaalimetsän mahdollistava teknologinen kehitys (Muller, ym., 2019).

Lee ym. (2020) esittävät yhdeksi metsävaratiedon laajenemissuunnaksi yksityiskohtaisen datan luomista metsien hiilidioksidin sidonnasta ja hapen luomisesta (gross primary productivity, GPP). Tämä tieto pystytään jo nykyisin luomaan maailmanlaajuisesti satelliittidatasta (Lee, ym., 2020). Satelliittidata ei kuitenkaan Leen ym. (2020) mielestä ole luotettavaa erityisesti alueellisesti tarkastellen. Tarkkaa dataa taas on saatavilla erillisten mittausalueiden ympäriltä, mutta nämä käsittävät vain rajatun alueen (Lee, ym., 2020).

Gabrysin (2020) näkökulma metsävaratiedon kasvusta ja käytöstä on vielä Mulleria ja Lee ym. laajempi. Hänen näkökulmassaan jatkuvasti päivittyvät kaukokartoitukset, metsässä olevat ja kulkevat sensorit ja dronet, linkitettyinä niistä tietoa keräviin tietokantoihin, analysoiviin tekoälyihin ja käyttöliittymän kautta ihmiskäyttäjiiin tulevat muodostamaan metsistä älymetsiä (Gabrys, 2020). Nämä älymetsät pystyvät keräämään automaattisesti aiempaa tarkempaa ja monipuolisempaa tietoa itsestään, valvomaan muutoksia kuten laittomia hakkuita tai metsäpaloja, suorittaa automatisoituja toimenpiteitä kuten metsäpalojen sammuttamista dronejen avulla, sekä tarjoamaan käyttäjille ajankohtaista tietoa toimenpidesuosituksineen (Gabrys, 2020).

Gabrysin vision kaltaista sensoreihin tukeutuvaa metsätietoa tukee Singhin ym., (2022) näkemys Forest 4.0:sta. Heidän tutkimuksessa esitellään älymet-sät, joita esineiden internetin muodostavat sensorit valvovat ja ylläpitävät reaaliajassa (Singh, ym., 2022). Sensoreista big dataksi kertyvät tiedot mahdollistaisivat reaaliaikaisesti kehittyneen analytiikan ja koneoppimisen käsittelemänä luomaan merkityksellistä tietoa tunnistamaan muun muassa metsäkatoa, metsäpaloja, laittomia hakkuita ja salametsästystä (Singh, 2022). Esimerkkejä erilaisista esineiden internetin sovelluksien sensoreista tutkimuksessa esiteltiin esimerkiksi infrapuna-, valo- lämpötila-, kosteus- ja tuulisensorit, erilaiset kamerat, RFID-sensorit ja uhanalaisille eläimille älykaulapannat (Singh, 2022).

Puunkorjuun suunnittelussa digitaalisatio tulee näkymään erityisesti suunnittelutyön tehokkuudessa ja tarkkuudessa (Muller, ym., 2019). Virtuaalimetsä mahdollistaa suunnitteluvaiheen tapahtuvan yksittäisen puiden tarkkuudella, jolloin hakkuukoneessa on valmiiksi työmaalle saapuessa tarkat sijainnit poistettavista puista, sekä tieto niistä saatavan kertymän määrästä (Muller, ym., 2019). Lisäksi suunnitteluvaiheessa virtuaalimetsän tiedot tukevat korjuun ajankohdan ja korjuutavan suunnittelua (Muller, ym., 2019). Saatavilla oleva data mahdollistaa tarkemman korjuukelpoisuuden ja kuljetuskelpoisuuden määrittelyn, jota pystytään käyttämään sekä yksittäisten korjuukohteiden aikataulun optimointiin, että useiden korjuukohteiden toteutusjärjestyksen suunnitteluun (Muller, ym., 2019).

Puunkorjuun toteutuksessa Muller ym., (2019) näkevät useita mahdollisia kohtia Teollisuus 4.0:n toteuttamiseen. Ensimmäinen vaikuttava kohta on hakkuukoneen sijainnin ja suuntauksen tarkempi määrittely (Muller, ym., 2019). Tarkka tieto pystyisi välittämään puukohtaisesti yksilökohtaiset kaatopaikat, sekä metsävarastojen sijainnit (Muller, ym., 2019). Sijainnin tarkkuuteen Muller ym., (2019) nostavat GNSS-palveluiden tueksi lisääntyvät sensorit, joiden antamaa dataa pystyisi vertaamaan virtuaaliseen metsään tarkemman sijainnin määrittelyksi.

Toinen Mullerin ym., (2019) näkemä kehityssuunta puunkorjuun toteutuksessa on hakkuukoneiden yhä tärkeämpi rooli datan luomisessa. Edellä mainittujen sijaintitietojen lisäksi koneista tulee kertymään tietoa niiden tilasta, työskentelytehosta ja siihen vaikuttavista tekijöistä, korjatuista puista, sekä työmaan ympäristöstä, kuten pystyyn jätetyistä puista (Mueller, ym., 2019). Myös Kemmerer ja Labelle (2020) tukevat Muellerin ym. (2019) käsitystä hakkuukoneen keräämän datan merkityksellisyydestä, ja esittävät hakkuukoneen datan olevan nykyisin selkeästi alikäytetty. Kerätyn datan käyttöä olisi mahdollistaa laajentaa yhdistämällä se muihin saatavilla oleviin paikkatietoaineistoihin, kuten tehdasmittauksiin, kaukokartoitusaineistoon, manuaalisiin mittauksiin ja Lidar-skannaukseen (Kemmerer & Labelle, 2020). Luotu aineisto loisi erinomaisen pohjan kattavaan big data-analyysiin, jossa hyödynnettäisiin muun muassa koneoppimista ja ennustavaa mallintamista (Kemmerer & Labelle, 2020). Analyysissä luotavat mallit pystyisivät toimimaan esimerkiksi puustotietojen ennustamisessa, korjuun suunnittelutarkkuuden ja -laadun kasvattamisessa sekä työskentelyn optimoinnissa (Kemmerer & Labelle, 2020).

Erimuotoisista metsävaratiedoista koostuvaa big dataa voidaan käyttää myös perinteisen metsätalouden ulkopuolella. Chae, Park ja Kim (2023) käyttivät tutkimuksessaan big data-analyysiä hyödykseen metsien monikäyttömahdollisuuksien ja potentiaalain tutkimiseen urbaaneissa kaupunkimetsissä. Tehdyssä case-tutkimuksessa selvitettiin miten metsänhoidolla ja palvelutarjonnalla pystyttäisiin maksimoimaan kaupungin asukkaille palautuminen osana kaupunkisuunnittelua (Chae, ym., 2023).

Kolmas Mullerin ym., (2019) mainitsema kehityssuunta on yhä kasvava langaton viestintä koneiden välillä. Kasvava viestintä niin hakkuukoneelta ajokoneelle, kuin ajokoneelta kaukokuljetukseen tulee tehostamaan ja helpottamaan koko korjuuketjun toimintaa (Muller, ym., 2019). Kasvava tiedonvälitys tukee myös työturvallisuutta useiden koneiden integraatiossa, sekä pystyisi pienentämään korjuuvaurioiden syntymistä metsään (Muller, ym., 2019).

Täysin automatisoitu korjuu ei Mullerin ym., (2019) mukaan ole vielä toteutettavissa käytännössä sensoreiden luotettavuuden ja tarkkuuden, turvallisuuden sekä kustannusten vuoksi. Mueller ym., (2019) odottavat kuitenkin täysin automatisoidun korjuun mahdollistuvan autonomisten liikennevälineiden kehityksen myötä, mikäli niiden kehityksessä luotu tekniikka osataan kytkeä toimimaan metsätalouden yhteydessä. Myös Visserin ja Obin (2021) yhtyvät näkemykseen missä autonominen puunkorjuu ei ole vielä toteutettavissa, mutta heillä rajoittava syy ei ole sensoreissa. Visser ja Obi (2021) kertovat autonomisen puunkorjuun olevan jo tällä hetkellä mahdollista toteuttaa teknologian puolesta, mutta ohjelmistorajotteet ovat vielä pullonkaulana toimivien itsenäisten korjuujärjestelmien luomisessa. Erityisesti konenäköä vaativien operaatioiden toteutus vaatii runsasta tuotekehitystä ennen toimivien järjestelmien ilmestymistä (Visser & Obi, 2021). Esteenä on paitsi konenäköohjelmiston saaminen riittävän luotettavalle tasolle käsiteltävän puuston tunnistamiseksi, myös kysymykset turvallisuudesta ja sosiaalisista vaikutuksista metsässä työskentelyyn (Visser & Obi, 2021).

Puun korjuun sijaan puutavaran metsässä tapahtuva lähikuljetus on Visserin ja Obin (2021) mielestä todennäköisesti ensimmäinen automatisoitavissa oleva hankintaketjun vaihe. Puutavaran siirtäminen sen korjuupaikalta tienvarsivarastoon on mahdollista toteuttaa GPS-datan, konenäön ja laserkeilauksen avulla, jolloin alkuvaiheessa laitteet toteuttaisivat varsinaisen liikkeen itsenäisesti, mutta puutavaran lastaus, lajittelu, purku ja vikatilanteiden selvitys tapahtuisi vielä käyttäjän toimesta (Visser & Obi, 2021). Konenäön kehittämisen kautta myös täysin itsenäiset ajoneuvot puutavaran lähikuljetukseen ovat mahdollisia (Visser & Obi, 2021).

Poiketen Visserin ja Obin, sekä Mullerin ym., näkemyksistä, Lopatin ym., (2023) näkevät automatisoidun puunkorjuun ja metsäkuljetuksen erääksi nopeimmista keinoista edistää metsätalouden digitalisaatiota, vaikkakin myös he mainitsivat ohjelmistorajoitusten hidastavan laitteiden kehitystä ja käyttöönottoa. Heidän tutkimuksessaan selvitettiin hakkuukoneen sijainnin määrittelyä peitteisessä metsässä Trimblen tarkkuuspaikannuslaitteen kanssa, pyrkien selvittämään paikannuksen tarkkuutta ja miten sitä voisi kehittää (Lopatin, ym.,

2023). Tutkimuksesta käy ilmi, että peitteisessä metsässä koneen paikannuksen tarkkuutta pystytään parantamaan näkyvyysanalyysillä (viewshed analysis) yhdistettynä maastomalliin (Lopatin, ym., 2023). Jatkamalla näkyvyysanalyysin ja maastomallin yhteensovitusta, tulee automatisoidun korjuun paikannusta helpottavien algoritmien kehittäminen mahdolliseksi (Lopatin, ym., 2023).

Puunkorjuun hallinnassa ja valvonnassa Muller ym. (2019) katsovat Teollisuus 4.0:n tukevan niin työnjohdon kuin myös puunkorjuuta suorittavan työntekijän osalta. Työnjohto pystyy tarjoamaan yhä tarkemman ohjeistuksen koneiden ohjaajille perustuen kattavaan virtuaalimetsän aineistoon (Muller, ym., 2019). Tätä tarkempaa ohjeistusta pystytään käyttämään myös aiempaa paremmin mahdollisten ongelmien tunnistamiseksi etukäteen, mikä tulee vähentämään ongelmatilanteiden selvittämiseen kuluvaan aikaa (Muller, ym., 2019). Työnjohdon työtä tulee myös helpottamaan koneista saatavat tarkemmat tiedot (Muller, ym., 2019). Näiden avulla muun muassa korjuutyön valvonta, tehokkuuden valvonta, korjuulaadun raportin luominen ja korjuutulosten saaminen tulevat helpottumaan ja vaatimaan aiempaa vähemmän paikan päällä metsässä käymistä (Muller, ym., 2019).

Kuljetukseen Mullerin ym., (2019) mielestä mahdollinen kehityssuunta on ajettavien tukkien yksilöinti radiotaajuustunnistimilla (RFID), jotka kiinnitetäisiin korjuun yhteydessä mahdollistaen tukkipohjaisen seuraamisen mahdollisuuden korjuusta tehtaalle asti (Muller ym., 2019). Tämä mahdollistaisi puun alkuperän varmistamisen tehtaalle taistelemaan laitonta puunkorjuuta vastaan, datan keräämisen kuljetuksesta data-analyysiin perustuvaa optimointia varten, tarkempaa palautteenantoa puuston korjaamiseen, sekä tehtaan puuvaraston tehostamista (He & Turner, 2021; Muller, ym., 2019). Pichler ym., (2022) tukevat Mullerin ym. näkemystä, vahvistaen RFID-sensoreiden hyötyä puun alkuperän seurantaan ja puiden yksilölliseen merkkäamiseen. Heidän mukaan sensorit ovat eräs lupaavimmista puuston liikkeen seurannan tulevista työvälineistä, erityisesti laittomien hakkuiden rajoittamisessa (Pichler, ym., 2022). RFID-sensorit eivät kuitenkaan ole vielä yleistyneet metsätaloudessa sensoreiden huomattavasta halpenemisestä huolimatta, mikä osittain voi johtua käyttöönoton vaatiman puunkorjaajien ja tehtaiden välisen koordinaation puutteesta (Muller, ym., 2019). Sensoreiden seuraamiseen on jo tällä hetkellä saatavilla mobiilisovelluksia, joiden avulla lokien ylläpito helpottuisi (He & Turner, 2021).

Komdeur ja Ingenbleek (2021) esittävät RFID-sensoreille vaihtoehtoisen todennustavan koskien puun alkuperän varmistamista. Heidän mukaan lohkoketjuteknologia toimisi puun alkuperän todentamiseksi erityisesti laittomien hakkuiden rajoittamiseksi. Lohkoketju mahdollistaisi puiden liikkumisen jokaisessa vaiheessa, hakkaajalta, kuljetuksen kautta tehtaalle, ja sitä kautta lopputuotteeksi (Komdeur & Ingenbleek, 2021). Lisää luottamusta ketjuun toisi siihen puun myyvälle metsänomistajalle kolmannen osapuolen antama metsäsertifikaatti. Sertifikaatti olisi takeena hyvästä metsänkäytöstä, ja pystyttäisiin liittämään puutavaran tietoihin lohkoketjussa (Komdeur & Ingenbleek, 2021). Lisäksi Komdeur ja Ingenbleek (2021) mainitsevat tutkimuksien olevan menossa puuston dna:n kytkemiseksi lohkoketjun tietoihin, jolloin pystyttäisiin myös

varmistamaan puutavaran olevan täsmälleen samaa kuin ketjulle lähtiessä. Myös Vilkovin ja Tian (2019) tutkimus tukee lohkoketjun edellytyksiä laittoman puukaupan hillitsemisessä. Heidän ehdotuksessaan lisävarmennos lohkoketjuissa tapahtuisi dna:n sijasta lohkoketjuun kytketyllä satelliitti- ja sijaintidatala, jolla varmistetaan puutavaran liikkeitä ketjun eri vaiheissa (Vilkov & Tian, 2019).

Puutavaran kaukokuljetuksen automatisointi on Visserin ja Obin (2021) mielestä erityisen hyvin metsätalouteen soveltuva. Metsätaloudessa matkat tienvarsivarastoilta tehtaille eivät useinkaan vaadi urbaanien alueiden läpiajtoa, jolloin vältetään itsenäiselle ajolle vaativimmat tienosuudet (Visser, Obi, 2021). Lisäksi vastaavia automatisoituja kuljetusajoneuvoja on jo nyt käytössä tieliikenteen ulkopuolella, mikä tukee teknologian tuomista metsätalouden puolelle (Visser, Obi, 2021). Haasteena itsenäisen kaukokuljetuksen toteutuksessa on kuitenkin teknologian sijasta sosiaalinen puoli, sillä automatisoitujen yhdistelmien ilmestyminen julkisille teille aiheuttaisi turvallisuuskysymyksiä ja pelkoa tielläliikkujiin (Visser, Obi, 2021). Visser ja Obi (2021) kuitenkin tarjoavat yhdeksi vaihtoehdoksi teknologian käyttöönottoon kuljetusyhdistelmien ryhmitämistä. Tällöin ensimmäistä yhdistelmää ajaisi ihmiskuljettaja, jota useampi automatisoitu yhdistelmä seuraisi perässä (Visser, Obi, 2021). Visser ja Obi (2021) näkevät automatisoinnin tarjoavan puunkorjukseen ja kuljetuksen hyödyiksi erityisesti käyttökustannusten alenemisen. Käyttökustannusten alenemisen aiheuttaa laitteiden fyysinen yksinkertaistuminen kuljettajantilojen tarpeen poistuessa, sekä henkilöstötarpeen aleneminen (Visser, Obi, 2021).

Digitalisaation vaikutus puukauppaan tulee näkymään erityisesti tarkemman ja yksilöivän puutiedon saatavuudesta ja sen käytöstä (Muller, ym., 2019). Mullerin, ym., (2019) mukaan tarkempi tieto muuttaa koko puukaupan luonteen nykyisestä työntävästä mallista vetävään malliin. Tämä tarkoittaa puutavaraa hankkivien tehtaiden pystyvän löytämään virtuaalimetsän tarjoaman datan perusteella paremmin laadulta, puutavaralajilta ja koolta vastaavaa puuta juuri heidän suunnitteilla oleviin tuotteisiinsa (Muller, ym., 2019). Käytännössä tämä tarkoittaisi yksilökohtaisesti täsmälleen oikean puutavaran saamista oikeaan tuotteeseen (Muller, ym., 2019).

Toinen Gianetti ym. (2023) tutkima mahdollinen kehityssuunta on käyttää uusia teknologioita luomaan yhteisöjä metsänomistajista ja heidän sidosryhmästään. Tutkimuksessaan Gianetti ym., (2023) selvittivät Italialaisen Forest Sharing-verkkopalvelun käyttöä. Kyseinen vapaaehtoinen palvelu mahdollistaa metsänomistajien verkostoitumisen toistensa, metsäteollisuuden, metsäasiantuntijoiden sekä muiden sidosryhmien kanssa ja on suunniteltu vastaliikkeeksi jatkuvasti pieneneville metsätilojen koolle, sekä heikontuvalle ekologiselle kestävyydelle (Gianetti, ym., 2023). Palvelu mahdollistaa metsänomistajien toteuttaa keskenään yhteistyössä puunkorjuuta, luonnonsuojelua sekä luontomatkailevia edistäviä toimenpiteitä, jolloin he pääsevät hyötymään laajempien toteutusten kustannustehokkuudesta pienemmilläkin palstoilla (Gianetti, ym., 2023). Tämän mahdollistamiseksi palvelu tarjoaa päätöksenteon tueksi kattavan paik-

katietoaineiston, jota pystytään käyttämään apuna metsänomistajan haluaman metsän kehityssuunnan toteutukseen (Gianetti, ym., 2023).

Dronet tulevat näkymään metsätaloudessa laadunvalvonnan ja paikkatiedon luomisen lisäksi myös metsänuudistamisessa. Sekä Gabrys (2020), että Mohan ym., (2021) näkevät dronejen tuovan mahdollisuuden automatisoituun kylvöön. Joko ihmisten ohjaamat, tai autonomisesti lentävät dronet poistaisivat kylvöä perinteisesti maastossa toteuttaneet metsätyöntekijät. Tämä madaltaisi metsänuudistamisen kustannuksia sekä parantaisi turvallisuutta vaikeakulkuisilla alueilla (Mohan, ym., 2021). Turvallisuuden lisääntyminen johtuisi vaikeakulkuisessa maastossa liikkumistarpeen vähenemisestä (Mohan, ym., 2021).

Luvun alussa luetellut metsästrategiassa esillä olevat teknologiat vaikuttavat olevan varsin hyvin tuettu myös kansainvälisessä kirjallisuudessa. Joitakin eroavaisuuksia kuitenkin löytyy, erityisesti automatisoinnin osalta. Automatisointi erityisesti korjuun osalta on selvästi tutkituin aihe metsätalouden digitalisoinnin saralta. Yhtäläinen näkymä on ettei automatisoitu korjuu ole vielä saavutettavissa, vaikkakin esimerkiksi automatisoitu kuljettajan tuki on jo tällä hetkellä käytössä.

## 4 YHTEENVETO

Tässä tutkielmassa tavoitteena oli selvittää vastaus tutkimusongelmaan ”Miten digitalisaatio vaikuttaa metsätalouteen”. Tämän selventämiseksi käytössä oli kolme tutkimuskysymystä, joiden avulla luodaan kuva digitalisaatiosta ja sen kehityssuunnasta, sekä miten digitalisaatio näkyy tällä hetkellä ja tulevaisuudessa metsätaloudessa.

Ensimmäinen tutkimuskysymys ”Mitä digitalisaatio on ja miten se tulee etenemään” koostuu kahdesta eri kohdasta, eli määritelmästä ja tulevaisuuden suunnasta. Määritelmää varten ensimmäinen selvitys on digitalisaatioon tiukasti linkittyvän digitalisoinnin määritelmä, joka paljastui tarkoittavan niin analogisen tiedon digitaaliseen muotoon muuttamista, kuin myös yhä kasvavissa määrin nykyisin myös täysin uuden digitaalisen datan luomista (Clarke, 2019; Frenzel, ym. 2021). Digitalisaation määritelmäksi tulikin digitalisoinnin ajama yhteiskunnallinen ilmiö, jossa digitaalisen tiedon ja sitä käyttävien teknologioiden lisääntyminen vaikuttaa kaikkiin osa-alueisiin yhteiskunnassa (Clarke, 2019; Frenzel, ym. 2021).

Seuraava osa ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamisessa koostui digitalisaatiota liikkeelle ajavien teknologioiden tunnistamisesta. Digitalisaatio paljastui etenevän seuraavaksi erityisesti datapohjaisena (Chauhan, ym., 2022; Schniederjans, ym., 2020). Kerättävät tietomäärät tulevat kasvamaan ja monipuolistumaan, avaten mahdollisuuksia big data-analytiikalle ja tekoälysovellusten nousulle (Chauhan, ym., 2022; Lasi, ym. 2014; Schniederjans, ym., 2020; Valenduc & Vendramin, 2017). Lisäksi tuotannon puolella Teollisuus 4.0 nousee merkittävään rooliin, tuoden muutosta edellä mainitun datankäytön lisäksi kasvavalla määrällä sensoreita, lisätyllä ja virtuaalisella todellisuudella, automatisaatiolla ja esineiden internetillä (Lasi, ym., 2014; Santos & Martinho, 2020). Teollisuus 4.0 vaikuttaakin teknologioiden puolesta seuraavan hyvin tarkasti digitalisaation muuta kehitystä.

Tutkielman toinen tutkimuskysymys ”Miten digitalisaatio näkyy tällä hetkellä metsätaloudessa” keskittyy selvittämään miltä osin aiemmin määritellyt digitalisaation kehitysloikat ovat jo nyt näkyvissä metsätalouden puolella. Kysymykseen vastausta selvittäessä merkittävin huomio oli nykyhetken kes-

kittyvän metsäalan digitalisaation tutkimusten vähäinen määrä. Vastaukseksi kysymykseen selvisi kuitenkin digitalisaation seuraavan askeleen piirteiden näkyvän jo nyt suhteellisen laajasti metsätaloudessa. Puunkorjuussa on otettu ensimmäisiä askeleita autonomisen korjuun kehittämisessä ajoavustuksen ja lisätyn todellisuuden avulla, sekä laajemmalla ohjelmistojen käytöllä (Jäntti & Aho, 2023; Muller, ym., 2019; Venanzi, ym., 2023). Metsävaratieto on ollut jo pidempään metsäalalla digitalisaation keihäänkärkeä, ja on viime vuosina laajentunut laserkeilauksen ja satelliittikuvauksen tarjoamalla kasvavilla tietolähteillä (Blaser, ym., 2020; Holopainen, 2019; Venanzi, ym., 2023). Kerättyä monipuolistunutta dataa käytetään optiominnin apuvälineenä ja päätöksenteon tukena (Valieva, ym., 2023).

Viimeisessä tutkimuskysymyksessä ”Miten digitalisaatio vaikuttaa metsätalouteen lähitulevaisuudessa” selvitetään tulevia askeleita metsätalouden kehityksessä. Kysymyksen vastaus toimii myös hyvin vertailukohtana sekä Kansalliseen metsästrategiaan 2035, että digitalisaation yleisen kehityksen ja metsätalouden eroavaisuuksiin. Lyhyt vastaus tutkimuskysymykseen voisi olla digitalisaation muuttavan metsätaloutta kaikin tavoin. Niin kuin muukin maailma, metsätalous tulee muuttumaan nykyistäkin datapohjaisemmaksi. Datan keräys tapahtuu nykyisten menetelmien lisäksi maastosta kerättynä työkoneiden sensoreiden avulla, maastoon asennetuilla sensoreilla, droneilla ja yhä kattavammilla kaukokartoitusmenetelmillä, joita täydennetään tekoälyllä (Kemmerer & Labelle, 2020; Lee, ym., 2020; Muller, ym., 2019; Nita, 2021). Kerättyä laajaa tietoa tullaan käyttämään jokaisessa metsätalouden vaiheessa, niin käyttäjien kuin käyttäjiä tukevien tekoälyjen avulla (Gabrys, 2020; Muller, ym., 2019; Nita, 2021). Kerätty tulee tarjoamaan puunhankintaan valmiit tarkemmat laskelmat puuston määrästä ja ehdotukset miten korjaus ja kuljetus pitäisi toteuttaa (Kemmerer & Labelle, 2020). Korjuu- ja kuljetuskoneet ja rekat tulevat autonomisoitumaan, mutta täydellisen autonomian saavuttamisen saavuttamiseksi on edessä useita ratkaistavia ongelmia (Lopatin, ym., 2023; Muller, ym., 2019; Visser & Obi, 2021). Metsävaratiedon saatavuus ja viestintä paranevat erilaisten sovellusten yhdistäessä metsänomistajia toisiinsa, puuta hankkiviin organisaatioihin, sekä muihin sidosryhmiin (Gianetti, ym., 2023; Muller, ym., 2019).

Mielenkiintoinen piirre tutkimusten tuloksista on Teollisuus 4.0:n ominaispiirteiden yhteensopivuus metsätalouteen. Teollisuus 4.0:sen ominaispiirteitä esiintyy kattavasti metsätalouden digitalisaation tutkimuksissa, kuten datapohjaisuus, sensoreiden lisääntyminen ja monipuolistuminen, lisätty ja virtuaalinen todellisuus, automatisaatio, sekä reaaliaikainen tiedon välittyminen (Gabrys, 2020; He & Turner, 2021; Muller, ym., 2019; Pichler, ym., 2022; Singh, 2022; Visser & Obi, 2021). Erityisen tästä huomiosta tekee metsätalouden rooli, kyseessä ei ole metsäteollisuuden kaltainen teollinen tuotanto, vaan kyseessä on luonnonvarojen hankinta ja hallinta.

Toinen mielenkiintoinen tarkastelukulma tutkielman tuloksiin on verrata sitä Kansallisen metsästrategian 2035 tuloksiin. Tämä mahdollistaa kevyen katsauksen luomiseksi siitä, miten tarkasti Maa ja metsätalousministeriö on onnistunut erittelemään nousevia teknologioita, että yleisesti lähitulevaisuudelle tär-



keimpiä teknologisia askelia. Kansallisessa metsästrategiassa painotettiin data-pohjaisuutta, tiedon liikkumista ja uusien tiedon hyödyntämistapojen kasvua (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022). Tämä vastaa hyvin kirjallisuudesta syntynyttä kuvaa jo nyt voimakkaasti eteenpäin menevästä metsätalouden datan-käytöstä (Holopainen, 2019; Muller, ym., 2019; Nita, 2021). Kansallisessa metsästrategiassa mainittiin työkoneiden autonomiatason kasvavan, mikä pitää paikkansa eteenkin matalammilla autonomian tasoilla kuljettajaa avustavien toimintojen yleistymisen osalta (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022; Muller, ym., 2019; Venanzi, ym., 2023; Visser & Obi, 2021). Kokonaan automatisoitu puunkorjuu tai kuljetus tulevat kuitenkin tuskin ilmestymään yleiseen käyttöön lähitulevaisuudessa (Muller, ym., 2019; Visser & Obi, 2021). Kansallisessa metsästrategiassa ei myöskään nostettu esille tarkemmin dataa tuottavia ja hallitsevia teknologioita tai niiden käyttötapoja (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022). Tutkimuksista esille nousivat jo lähitulevaisuudessa toimintakykyiset edistysaskeleet satelliittidatan ja laserkeilauksen käytöstä, droneista, puunhankintaketjun seuraamisesta, yksilöivien puustotietojen kasvusta tai metsäomistajille laajempien tukiohjelmistojen synnystä (Holopainen, 2019; Kemmerer & Labelle, 2020; Lee, ym., 2020; Muller, ym., 2019; Nita, 2021; Vilkov & Tian, 2019).

Tutkielman toteutus vastaa varsin hyvin johdannossa määritettyjä tavoitteita. Lähteiden käyttö painottuu tuoreisiin lähteisiin, joista hyvä osa on tavoitteen mukaisesti julkaistu 2020-luvulla. Käytetty kirjallisuus on JUFO-luokituksestaan pääosin 1. tason julkaisuista, eikä korkeamman tason julkaisuista löytynyt merkittävästi aiheeseen liittyvää, saatavilla olevaa tutkimusta. Lähteet ovat kattavasti maailmanlaajuisia, joskin jonkinlaisia alueellisia painotuksia käytetyistä lähteistä löytyy, eteenkin Keski-Eurooppaan ja Pohjois-Eurooppaan. Pohjois-Amerikassa tehtyjä tutkimuksia löytyi puolestaan harvemmin, mikä saattaa johtua eroavaisuuksista metsätalouden toteutuksessa, hakukoneiden painotuksista tai käytettyjen hakutermin liiallisesta suppeudesta. Tutkielma onnistui kuitenkin luomaan kattavan yleisnäkymän digitalisaation kehityksestä metsätaloudessa.

Tutkielmassa tarkastelluista tuloksista voidaan johtaa useita jatkotutkimusaiheita. Merkittävin jatkotutkimusaihe on metsäalan digitalisaation nykytilan määrittely. Tutkielman aiheeseen liittyvät tutkimukset keskittyivät pääosin tulevaisuuskuvan maalailuun joko laajemmin tai yksittäisten teknologioiden näkökulmasta. Nykyhetkeen perustuvat huomiot olivat pääosin tutkimuksissa sivuhuomioita varsinaiseen aiheeseen vasta siirryttäessä. Kirjallisuudessa olisi kuitenkin tarve koostaa kattava kokonaiskuva jo tällä hetkellä käytössä olevista digitalisaatiota ajavista teknologioista. Tämä tarjoaisi hyvän lähtökohdat teknologiakehityksen aikajanan muodostamiseen sekä vertailukohdat erilaisten teknologioiden yleistymiselle.

Toinen nostamisen arvoinen jatkotutkimusaihe olisi tarkentaa lähestymistä keskittymään joko metsänuudistamiseen, tai työnjohtamiseen käytettäviin järjestelmiin. Tutkimuksissa painottui vahvasti teknologian käyttäminen erityisesti korjuun ja kuljetuksen yhteydessä, jättäen tutkimusaukon metsänuudistamisen toimenpiteisiin kohdistuvista teknologioista. Vaikka aukkoon tutki-

muksissa voi vaikuttaa maantieteelliset erot metsätalouden toteutuksessa, olisi aihe merkittävä vaikka tarkastelu jäisi vain pohjoismaiseen kontekstiin. Viimeinen mahdollinen jatkotutkimusaihe olisi tutkia teknologiakehityksen ihmisläheistä näkökulmaa. Uusien teknologioiden käyttöönotto aiheuttaa varsin usein muutosvastarintaa. Tämän vuoksi olisi hyödyllistä selvittää miten metsätalouden Teollisuus 4.0:n esiintuominen vaikuttaa teknologioita käyttäviin ihmisiin ja miten muutosta voisi sulavoittaa helpommaksi.

## LÄHTEET

- Blaser, S., Meyer, J., Nebiker, S., Fricker, L., & Weber, D. (2020). Centimetre-Accuracy in Forests and Urban Canyons—Combining a High-Performance Image-Based Mobile Mapping Backpack with New Georeferencing Methods. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1, 333-341.
- Caputo, A., Pizzi, S., Pellegrini, M. M., & Dabić, M. (2021). Digitalization and business models: Where are we going? A science map of the field. *Journal of business research*, 123, 489-501.
- Chae, J., Park, J., & Kim, S. (2023). Restorative Environment Characteristics of an Urban Forest Based on Big Data Analytics. *Forests*, 14(9), 1770.
- Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121508.
- Clarke, R. (2019). Risks inherent in the digital surveillance economy: A research agenda. *Journal of information technology*, 34(1), 59-80.
- Fichman, R. G., Dos Santos, B. L., & Zheng, Z. (2014). Digital innovation as a fundamental and powerful concept in the information systems curriculum. *MIS quarterly*, 38(2), 329-A15.
- Frenzel, A., Muench, J. C., Bruckner, M. T., & Veit, D. (2021, August). Digitization or digitalization?—Toward an understanding of definitions, use and application in IS research. In *AMCIS*.
- Gabrys, J. (2020). Smart forests and data practices: From the Internet of Trees to planetary governance. *Big data & society*, 7(1), 2053951720904871.
- Giannetti, F., Laschi, A., Zorzi, I., Foderi, C., Cenni, E., Guadagnino, C., ... & Giambastiani, Y. (2023). Forest Sharing® as an Innovative Facility for Sustainable Forest Management of Fragmented Forest Properties: First Results of Its Implementation. *Land*, 12(3), 521.
- Gray, J., & Rumpe, B. (2015). Models for digitalization. *Software & Systems*
- He, Z., & Turner, P. (2021). A Systematic Review on Technologies and Industry 4.0 in the Forest Supply Chain: A Framework Identifying Challenges and Opportunities. *Logistics*, 5(4), 88.
- Holopainen, M. (2019). Metsien kaukokartoitus–digitalisaatiota, täsmämetsätaloutta ja 4D-geoinformatiikkaa. *Metsätieteen aikakauskirja*, 10214.
- Jäntti, M., & Aho, M. (2023). Quality aspects of digital forest service management: a case study. *Software Quality Journal*, 1-20.

- Ignat, V. (2017, August). Digitalization and the global technology trends. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 227, No. 1, p. 012062). IOP Publishing.
- Kemmerer, J., & Labelle, E. R. (2021). Using harvester data from on-board computers: a review of key findings, opportunities and challenges. *European Journal of Forest Research*, 140(1), 1-17.
- Komdeur, E. M., & Ingenbleek, P. T. (2021). The potential of blockchain technology in the procurement of sustainable timber products. *International Wood Products Journal*, 12(4), 249-257.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6, 239-242.
- Lee, B., Kim, N., Kim, E. S., Jang, K., Kang, M., Lim, J. H., ... & Lee, Y. (2020). An artificial intelligence approach to predict gross primary productivity in the forests of South Korea using satellite remote sensing data. *Forests*, 11(9), 1000.
- Legner, C., Eymann, T., Hess, T., Matt, C., Böhmman, T., Drews, P., ... & Ahlemann, F. (2017). Digitalization: opportunity and challenge for the business and information systems engineering community. *Business & information systems engineering*, 59, 301-308.
- Lopatin, E., Väätäinen, K., Kukko, A., Kaartinen, H., Hyyppä, J., Holmström, E., ... & Routa, J. (2023). Unlocking Digitalization in Forest Operations with Viewshed Analysis to Improve GNSS Positioning Accuracy. *Forests*, 14(4), 689.
- Luonnonvarakeskus. (2023). Metsäteollisuuden ulkomaankauppa maittain 2022 (ennakko).
- Maa- ja metsätalousministeriö. (2022). Kansallinen metsästrategia 2035. Haettu <https://mmm.fi/kms>
- Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. *Business & information systems engineering*, 57, 339-343.
- Mohan, M., Richardson, G., Gopan, G., Aghai, M. M., Bajaj, S., Galgamuwa, G. P., ... & Cardil, A. (2021). UAV-supported forest regeneration: Current trends, challenges and implications. *Remote Sensing*, 13(13), 2596.
- Müller, F., Jaeger, D., & Hanewinkel, M. (2019). Digitization in wood supply—A review on how Industry 4.0 will change the forest value chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 206-218.
- Niță, M. D. (2021). Testing forestry digital twinning workflow based on mobile lidar scanner and ai platform. *Forests*, 12(11), 1576.
- Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice.

International journal of information systems and project management, 5(1), 63-77.

- Pichler, G., Sandak, J., Picchi, G., Kastner, M., Graifenberg, D., Stampfer, K., & Kühmaier, M. (2022). Timber Tracking in a Mountain Forest Supply Chain: A Case Study to Analyze Functionality, Bottlenecks, Risks, and Costs. *Forests*, 13(9), 1373.
- Ritter, T., & Pedersen, C. L. (2020). Digitization capability and the digitalization of business models in business-to-business firms: Past, present, and future. *Industrial Marketing Management*, 86, 180-190.
- Salminen, A. (2011). Mikä kirjallisuuskatsaus?: Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. *Vaasan yliopiston julkaisuja* 62(4).
- Salvi, A., Vitolla, F., Rubino, M., Giakoumelou, A., & Raimo, N. (2021). Online information on digitalisation processes and its impact on firm value. *Journal of Business Research*, 124, 437-444.
- Santos, R. C., & Martinho, J. L. (2020). An Industry 4.0 maturity model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 1023-1043.
- Schniederjans, D. G., Curado, C., & Khalajhedayati, M. (2020). Supply chain digitisation trends: An integration of knowledge management. *International Journal of Production Economics*, 220, 107439.
- Singh, R., Gehlot, A., Akram, S. V., Thakur, A. K., Buddhi, D., & Das, P. K. (2022). Forest 4.0: Digitalization of forest using the Internet of Things (IoT). *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(8), 5587-5601.
- Srai, J. S., & Lorentz, H. (2019). Developing design principles for the digitalisation of purchasing and supply management. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(1), 78-98.
- Valenduc, G., & Vendramin, P. (2017). Digitalisation, between disruption and evolution. *Transfer: European Review of Labour and Research*, 23(2), 121-134.
- Valieva, A. R., Mingazova, Z. R., & Uraev, R. R. (2023). State policy on digitalization of the forest industry. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 411, p. 02030). EDP Sciences.
- Venanzi, R., Latterini, F., Civitarese, V., & Picchio, R. (2023). Recent Applications of Smart Technologies for Monitoring the Sustainability of Forest Operations. *Forests*, 14(7), 1503.
- Vilkov, A., & Tian, G. (2019). Blockchain as a solution to the problem of illegal timber trade between Russia and China: SWOT analysis. *International Forestry Review*, 21(3), 385-400.

Visser, R., & Obi, O. F. (2021). Automation and robotics in forest harvesting operations: Identifying near-term opportunities. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 42(1), 13-24.