

Roope Horila

# TEOLLISUUS 5.0 -PERIAATTEET KIER- TOTALOUDEN EDISTÄJINÄ TEOLLI- SUUDESSA

Kandidaatintyö  
Johtamisen ja talouden tiedekunta  
Tarkastaja: Ulla Saari  
Elokuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Roope Horila: Teollisuus 5.0 -periaatteet kiertotalouden edistäjinä teollisuudessa  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tuotantotalous  
Elokuu 2023

---

Digitalisaatio ja kiertotalous ovat kaksi ajankohtaista ja toisiinsa liittyvää kokonaisuutta, jotka tulee huomioida teollisessa liiketoiminnassa kokonaisvaltaisesti. Tässä kandidaatintutkielmassa tutkin digitalisaation ja kiertotalouden yhteyttä korostaen digitalisaation osalta Teollisuus 5.0:n ja kiertotalouden osalta saavutettavan kehityksen sekä hyötyjen näkökulmaa. Tutkielmassa tarkastelen Teollisuus 5.0:n roolia kiertotalouden periaatteiden toteutumisen mahdollistajana ja edistäjänä. Kaksijakoisella kokonaisuudella Teollisuus 5.0:a ja Teollisuus 5.0:n sekä kiertotalouden välistä yhteyttä tarkastelevien osioiden välillä jäsenän tutkielman kahteen erilliseen pääkäsittelyluokkuun. Tutkielman tavoitteena on määritellä Teollisuus 5.0 kokonaisvaltaisesti, pohjustaa sen kontekstia ja tutkia sen vaikutuksia kiertotalouden periaatteiden toteutumista edistävästä näkökulmasta.

Tutkielmassa lähestytään Teollisuus 5.0:a kirjallisuuskatsauksen keinoin aluksi pohjustamalla sitä teollisuuden neljännen vallankumouksen, Teollisuus 4.0:n elementeillä ja piirteillä näin luoden ymmärrystä Teollisuus 5.0:n kontekstista sekä toisaalta teknologioista, joiden kehityksen pohjalle Teollisuus 5.0 rakentuu. Teollisuus 5.0 eli teollisuuden viides vallankumous on tuonut mukanaan harppausmaisen kehityksen pohjautuen kolmiosaisen periaatteidensa painotuksen kokonaisuuteen. Tässä kandidaatintutkielmassa esitellään ja käsitellään kyseiset kolme avainperiaatetta: ihmiskeskeisyys, resilienssi sekä kestävyys.

Kiertotalouden periaatteiden ja kiertotalousajattelun pohjustamiseksi tutkielmassa esitellään kiertotalouden viisi liiketoimintamallia: tuote palveluna, uusiutuvuus, jakamislustat, tuote-elinkaaren pidentäminen ja resurssitehokkuus sekä kierrätys. Teollisuus 5.0:n vaikutuksia kiertotalouteen ja kiertotalouden periaatteiden toteutumiseen teollisuudessa tutkitaan Teollisuus 5.0:n periaatteiden kolmijakoisuuden näkökulmista. Positiivisten löydösten rinnalla tarkastellaan näihin löydöksiin mahdollisesti liittyviä haasteita ja rajoitteita sekä toisaalta sitä, millaisia negatiivisia vaikutuksia Teollisuus 5.0 -sovelluksien käytöllä voi olla kiertotalouden näkökulmasta laajemmassa mittakaavassa.

Tutkielman tärkeimpiä löydöksiä ovat lukuisat positiiviset seuraukset Teollisuus 5.0 -periaatteiden hyödyntämisestä teollisuudessa. Tällaisia ovat kestävyuden näkökulmasta esimerkiksi päästöjen vähentäminen, energian- ja materiaalikulutuksen seuranta sekä optimointi. Ihmiskeskeisyyden näkökulmasta tärkeimpiä löydöksiä ovat ihmisen luovuuden ja ongelmanratkontakyvyn luomien mahdollisuuksien laajeneminen mahdollistaen kiertotalouden eri liiketoimintamallien syvempää soveltamista. Resilienssin näkökulmasta tarkasteltuna tärkeimpiä löydöksiä ovat resilienssin kasvattamisen positiiviset vaikutukset esimerkiksi tuote-elinkaaren pituuteen ja toimitusketjujen kykyyn selvitä haasteista sekä mahdollisista ongelmatilanteista entistä paremmin.

Merkittävimmät tutkielmassa löydetyt Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaiseen liiketoimintaan digitaalisten teknologioiden laajenevan käytön myötä liittyvät kiertotalousnäkökulman haasteet ja mahdolliset ongelmakohdat liittyvät digitaalisten teknologioiden käytön kasvun seurauksena mahdollisesti kasvavaan energiankulutukseen ja elektroniikkajätteen määrään. Haasteita voidaan kuitenkin kohdata jo käyttöönottovaiheessa esimerkiksi rajapintojen ja käyttöliittymien integroimiseen liittyen. Muina mahdollisina esteinä, hidasteina tai haasteina voidaan nähdä myös esimerkiksi erilaiset regulaatiot ja säädännöt sekä niiden eroavaisuudet toisiinsa nähden esimerkiksi maakohtaisella tasolla. Eettisestä näkökulmasta tarkasteltuna haasteita voidaan kohdata esimerkiksi liittyen johtamiseen ja tehtävien jakamisen dynamiikkaan ihmisen, tekoälyn sekä koneiden välillä.

Avainsanat: Teollisuus 5.0, Teollisuus 4.0, digitalisaatio, kiertotalous, resilienssi, ihmiskeskeisyys, kestävyys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ALKUSANAT

Tämän kandidaatintutkielman aihe valikoitui alustavasti ja sittemmin muotoutui sekä tarkentui lukuisten elementtien kokonaisuuden yhdistelmänä. Näitä vaikuttavia tekijöitä olivat esimerkiksi kiertotalouden sivuainekokonaisuuden opintoni, työskentelyni teollisuuden yrityksessä digitalisaation hedelmien ympäröimänä, kiinnostukseni digitalisaatiota ja uusia teknologioita kohtaan sekä erityisesti tutkielman ohjaajan, Ulla Saaren tuki aiheen muotoilun työstämisympäristössä.

Työn aloittaminen oli mielenkiintoista aikaa, kun uudet tuulet puhalsivat toukokuussa opiskeluvuoden jälkeen. Työ lähtikin lennokkaasti ja nopeasti etenemään, mutta erinäiset haasteet aiheen rajoituksissa hidastivat työn etenemistä keskikesän tienoilla. Lopulta kuitenkin lähestyvä syksy ja rauhoittunut sekä jokseenkin rutinoitunut arki loivat oivallisen ympäristön uudelle, kiihtyvästi etenevälle alulle, tai oikeastaan tarkemmin jatkolle tutkielman osalta.

Prosessi oli kokonaisuudessaan opettavainen, niin aiheen, kuin oman työskentelyni osalta. Haluan kiittää työni ohjaajaa Ulla Saarta saamastani tuesta, neuvoista ja kokonaisuudessaan onnistuneesta ja työskentelyäni merkittävästi edistäneestä, tukeneesta ja helpottaneesta ohjaustyöstä.

Tampereella, 28.8.2023

Roope Horila

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkielman tavoitteet ja tutkimuskysymykset.....	2
1.2 Tutkimusmetodologia .....	3
1.3 Tutkielman rakenne.....	5
2. TEOLLISUUS 4.0 JA TEOLLISUUS 5.0.....	7
2.1 Teollisuus 4.0 ja teollisuuden vallankumousten linkittyminen toisiinsa..	7
2.2 Teollisuus 5.0 suhteessa Teollisuus 4.0:aan .....	9
2.3 Teollisuus 5.0:n tarkastelu sen avainperiaatteiden kolmijakona .....	11
2.3.1 Ihmiskeskeisyys Teollisuus 5.0 -periaatteena .....	12
2.3.2 Resilienssi Teollisuus 5.0 -periaatteena .....	14
2.3.3 Kestävyys Teollisuus 5.0 -periaatteena.....	15
3. TEOLLISUUS 5.0 KIERTOTALOUDEN EDISTÄJÄNÄ TEOLLISUUDESSA .....	18
3.1 Kiertotalouden periaatteiden huomioiminen liiketoiminnassa.....	18
3.2 Teollisuus 5.0:n avainperiaatteet kiertotalouden edistäjinä teollisuudessa.....	19
3.2.1 Ihmiskeskeisyys kiertotalouden edistäjänä.....	20
3.2.2 Resilienssi kiertotalouden edistäjänä .....	21
3.2.3 Kestävyys kiertotalouden edistäjänä .....	22
3.3 Teollisuus 5.0:n haasteet ja rajoitteet kiertotalouden näkökulmasta ...	24
4. PÄÄTELMÄT .....	26
LÄHTEET .....	33
LIITE A: AVAINARTIKKELIT .....	37
LIITE B: LÄHDEARTIKKELIEN JUFO-LUOKITUKSET .....	39

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

IloT	engl. Industrial Internet of Things, teollisten esineiden internet
IoT	engl. Internet of Things, esineiden internet
Teollisuus 4.0	teollisuuden neljäs vallankumous
Teollisuus 5.0	teollisuuden viides vallankumous

# 1. JOHDANTO

Digitaaliset teknologiat ovat osa yksilön ja yhteisön arkea niiden luomien uusien mahdollisuuksien sekä käyttökohteiden myötä. Digitalisaation mahdollistamia teknologioita on hyödynnetty kuluttaja- ja yksilötason ohella jo vuosia myös yritysmaailmassa sekä teollisessa mittakaavassa. Tämän vuosisadan aikaiset digitalisaation innovaatiot ovat muokanneet yhteiskuntaa ja vaikuttaneet talouteen maailmanlaajuisesti. (Dwivedi *et al.* 2023) Vaikka yksilön ja valmistavan teollisuuden yritysten tarpeet digitaalisten teknologioiden näkökulmasta voivat olla keskenään hyvinkin erilaiset, voitaneen niissä paikoittain hyödyntää pitkälti samankaltaista teknologiaa erilaisissa käyttöyhteyksissä. Toisaalta viime vuosikymmenien aikana digitalisaation ohella myös kiertotalous on noussut ilmiönä verrattain merkittävään rooliin niin yksilön elämässä kuin teollisella yritystasollakin (Fraga-Lamas *et al.* 2021). Tässä tutkielmassa tarkastellaan digitalisaation ja kiertotalouden yhtymäkohtia sekä mahdollisia kehityssuuntia teollisessa ympäristössä Teollisuus 5.0 periaatteiden kokonaisuuden huomioimisen näkökulmasta.

Digitalisaation määritelmä ei ole täysin yksikäsitteinen ja se voidaankin käsitteenä määritellä asiayhteyden mukaan hieman eri näkökulmista. Yksi digitalisaation määrittelyn tapa, jota tässä tutkielmassa käytetään, on uudet digitaaliset teknologiat ja ratkaisut, jotka luovat muutosta teollisesta näkökulmasta tarkasteltuna. (Antikainen *et al.* 2018) Teollisesta näkökulmasta ja teollisessa mittakaavassa tarkasteltuna digitalisaatio voi mahdollistaa tuotteiden sekä laitteiden seuraamisen ja kontrolloinnin yhdistäen näin fyysisen sekä virtuaalisen puolen kokonaisuudeksi, joka voi luoda pohjaa moniulotteisen kestäväälle arvonluonnille (Antikainen *et al.* 2018; Fraga-Lamas *et al.* 2021). Kiertotalouden näkökulmasta digitalisaatio voi mahdollistaa esimerkiksi kierrätyksen tehostamisen ja laitteiden optimaalisen sekä energiatehokkaan käytön ja näin edistää energiankulutuksen optimointia ja resurssitehokkuutta liiketoiminnassa. (Antikainen *et al.* 2018) Digitalisaatio on ilmiö, jonka merkityksellisyyden teollisuuden yritykset ovat tunnistaneet ja huomioineet esimerkiksi sisällyttämällä sen strategioihinsa (Erro-Gacésin & Aramendia-Munetan 2023).

Teollisuuden viides vallankumous, Teollisuus 5.0, on kehittyneiden digitaalisten teknologioiden, kuten esineiden internetin (engl. Internet of Things, IoT), teollisten esineiden internetin (engl. Industrial Internet of Things, IIoT) massadata-analyysintyökalujen (engl.

Big data analysis) ja radiotaajuisten etätunnistuksen (engl. Radio Frequency Identification, RFID) verkoston ympärille rakentuva kehittyneet, ihmiskeskeisyyttä, resilienssiä ja kestävyyttä korostava verkosto. Vaikka edellä mainitut teknologiat ovatkin peräisin jo Teollisuus 4.0:n aikakaudelta, Teollisuus 5.0 -viitekehityksessä kyseiset teknologiat mahdollistavat laitteiden ja esineiden välisen entistä sujuvamman kommunikoinnin ja sitä kautta ovat tärkeässä roolissa esimerkiksi digitalisaation mahdollistamien ja sen mukana kehittyneiden sovellusten käyttöönoton murrosvaiheessa. (Findik *et al.* 2023) Digitalisaation mahdollistamat ilmiöt, kuten kiertotalouden periaatteiden ja Teollisuus 5.0:n onnistunut yhdistäminen sekä näitä sitovien sovellusten hyödyntäminen eivät kuitenkaan ole vielä parhaalle mahdolliselle tasolle kehittyneitä globaalista näkökulmasta tarkasteltuna. (Sahu *et al.* 2022)

Teollisuus 5.0 ei ole ajankohtainen aihe vain kehittyvän teknologian ja digitalisaation mahdollistamien teknologioiden käyttöönoton laajentumisen ja kiihtymisen seurauksena, vaan siitä on tullut ajankohtainen aihe myös lainsäädännöllisestä näkökulmasta tarkasteltuna. Teollisuus 5.0:n kehityksen ja sen mukaisten digitaalisten teknologioiden kiihtyvän käyttöönoton myötä Euroopan Unioni on suunnitellut regulaatioita esimerkiksi tekoälyyn, digitaitoihin ja digitaitojen opettamiseen liittyen. Toisaalta EU tunnistaa linjauksissaan niin Teollisuus 5.0:n luomat mahdollisuudet kestävyden ja resurssitehokkuuden näkökulmasta kuin tarpeet näiden mahdollisuuksien taustalla tehtävään tutkimukseen ja innovointityöhön panostamiseen liittyen. (Euroopan Unioni n.d.)

## 1.1 Tutkielman tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkielman tavoitteena on selvittää, mikä on Teollisuus 5.0, miten se suhteutuu ja vertautuu Teollisuus 4.0:aan ja miten Teollisuus 5.0 -teknologioita voidaan hyödyntää kiertotalouden periaatteiden mukaisen toiminnan edistämiseksi teollisuudessa. Näiden kokonaisuuksien taustoitukseen pohjaksi ja kontekstiinsa asettamisen tueksi selvitän tutkielmassa teollisuuden vallankumousten lähihistoriaa ja näiden vallankumousten välisiä yhteyksiä sekä eroavaisuuksia. Lisäksi selvitän tässä tutkielmassa, mitkä ovat kiertotalouden viisi liiketoimintamallia ja millainen yhteys ja sovellettavuus niillä on teollisuuden digitalisaation näkökulmasta ja toisaalta, millaisia haasteita tai rajoitteita kiertotaloutta ja Teollisuus 5.0 -periaatteita yhdistettäessä voidaan kohdata.

Tutkielman tutkimuskysymykset ovat:

- Mikä on Teollisuus 5.0 ja miten se eroaa Teollisuus 4.0:sta?
- Millainen vaikutus Teollisuus 5.0:n luomilla mahdollisuuksilla on kiertotalouden periaatteiden toteutumiseen teollisuudessa?

Tämä kandidaatintutkielma pyrkii esittelemään yleisellä tasolla Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n, tarkastelemaan Teollisuus 5.0:n tavoitteiden ja määritelmän kolmijakoa, avaamaan kiertotalouden peruseriaatteita sekä nostamaan esiin esimerkkejä erityisesti Teollisuus 5.0:n ja kiertotalouden näkökulmien yhtymäkohdista ja digitaalisten teknologioiden sovellusten käyttökohteista. Tutkielma keskittyy huomioimaan esimerkkejä sellaisista varhaisessa kehitysvaiheessa olevista digitalisaation ja kiertotalouden risteämäkohdan sovelluksista, jotka jatkokehityksen tuloksena voivat olla osatekijöinä muuttamassa teollista liiketoimintaa yleisellä tasolla tarkasteltuna entistä enemmän kiertotalouden periaatteiden mukaiseksi. Tutkielman tavoitteena on nostaa kirjallisuudesta esiin enemmän käytännölliseen kuin teoreettiseen mahdollisuuksien pohjaan nojaavia ilmiöitä ja mahdollisia kehityssuuntia. Tutkielman läpi on tarkoitus ylläpitää selkeä ero Teollisuus 5.0:n ja 4.0:n vallankumouksellisten kehityselementtien ja niiden aikaansaamien muutosten vaikutusten näkökulmasta. Toisaalta tutkielma pyrkii myös selvittämään Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaiseen liiketoimintaan ja sen seurauksena erilaisten digitaalisten teknologioiden käytön laajenemiseen ja kehittymiseen liittyviä haasteita ja mahdollisesti koituvia ongelmakohtia.

## 1.2 Tutkimusmetodologia

Tutkielman tutkimus tehtiin kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsausta varten hain tietoa tieteellisestä Scopus-tietokannasta. Toteutin tiedonhaku englannin kielellä, jotta hakutulokset ja täten saatavilla olevat lähteet olisivat mahdollisimman laajat sekä kattavat. Aiheen kannalta olennaisia käsitteitä ovat englannin kielellä ”circular economy”, ”sustainability”, ”Industry 4.0”, ”Industry 5.0”, ”human-centric” ja ”resilient”. Näistä hakusanoista muodostin erilaisia hakulausekkeita ja hakulausekkeiden alkuja.

Hakulausekkeita muodostaessani huomioin sanojen taivutuksen hyödyntämällä haakuoperaattorina erilaiset taivutusmuodot hakutuloksiin sisällyttävää tähteä (\*). Hakulausekkeita muodostaessani alustavana lähtökohtanani oli käyttää käsitettä ”circular economy” tai käsitettä ”Industry 5.0” kaikissa lausekkeissa, jotta kiertotalouden tai Teollisuus 5.0:n näkökulma pysyi keskiössä hakutulosten kokonaisuudessa ja jotta pystin vastaamaan tutkielman tutkimuskysymyksiin mahdollisimman onnistuneesti sekä kokonaisvaltaisesti. Tästä lähtökohdasta onnistuin pitämään kiinni läpi tiedonhakuprosessin. Tutkielman tiedonhaun alkuvaiheessa tein myös yksittäisiä hakuja Andor-tietokannasta, mutta tutkielmassa käytetyiksi lähdeartikkeleiksi valitsin lopulta vain Scopus-tietokannan tiedonhaun tuloksena löydettyjä tietolähteitä.



Rajauksessa pyrin tämän kandidaatintutkielman osalta relevantteihin ja mahdollisimman tarkkoihin hakutuloksiin hyödyntämällä erityisesti AND-hakuoperaattoria sekä yksittäisissä hauissa Scopusin hakurajoitteen Subject area -kategoriaa ”Business, Management and Accounting”. ”Business, Management and Accounting” -rajauksella pyrin löytämään erityisesti talousnäkökulmaan painottuvia lähteitä. Tärkeimpiä hakulausekkeita olivat esimerkiksi ”(”Industry 5.0” AND “sustainability”)” ja ”(”Industry 5.0” AND “human-centric” AND “sustainab\*” AND “resilient”)

Taulukoin hakutulokset hakulauseiden suhteen siten, että kirjasin ylös käytetyn tietokannan, hakulauseen, hakulauseen rajauksen ja hakutulosten määrän. Hakulauseiden osalta pohdin myös haun tarkoitusta peilaten sitä tutkielman tavoitteita ja tutkimuskysymyksiä vasten. Tätä tarkastelua ja tiedonhankinnan metodologian analyysia tein tarkemalla tasolla yksittäisten artikkelien kohdalla määrittäessäni tutkielman avainartikkeleja.

Taulukossa 1 esitetään tutkielman taustalla olevan tiedonhankinnan tärkeimmät rajaukset ja hakulausekkeet rajauksineen ja hakutulosmäärineen. Tässä tutkielmassa käytettyjen artikkelien valinnassa painotin sitä, miten niiden sisältö ja aihealueet vastaavat tutkielman tavoitteita ja tutkimuskysymyksiä. Hakujoukkojen artikkelien suhteen analysoin sitä, miten ne peilautuvat tutkimuksen tavoitteisiin ja miten niitä voisi hyödyntää tutkimuskysymyksiin vastaamisessa.

**Taulukko 1.** Merkittävimmät tutkielman tiedonhankinnassa käytetyt hakulauseet.

Tietokanta	Hakulause	Hakulauseen rajaus	Hakujoukko
Andor	"circular economy" AND "digitalization"	vertaisarvioidut	316
Scopus	"circular economy" AND "enabl*" AND "lot"	Article title, Abstract, Keywords	21
Scopus	"Industry 5.0" AND "circular economy"	Article title, Abstract, Keywords	16
Scopus	"Industry 5.0" AND "Industrial Internet of Things"	Article title, Abstract, Keywords	42
Scopus	"Industry 5.0" AND "sustainability"	Article title, Abstract, Keywords	124
Scopus	"Industry 5.0" AND "sustainability"	Article title, Abstract, Keywords ja Business management and Accounting	36
Scopus	"Industry 5.0" AND "human-centric" AND "sustainab*" AND "resilient"	Article title, Abstract, Keywords	25
Scopus	"Industry 5.0" AND "resilien*"	Article title, Abstract, Keywords	117
Scopus	"Industry 5.0" AND "circular economy" AND "human centric"	Article title, Abstract, Keywords	4
Scopus	"Industry 5.0" AND "circular economy" AND "resilien*"	Article title, Abstract, Keywords	3

Tietokanta	Hakulause	Hakulauseen rajaus	Hakujoukko
Scopus	"Industry 4.0" AND "circular economy" AND "resilien**"	Article title, Abstract, Keywords	26
Scopus	"Industry 4.0" AND "circular economy" AND "human-centric"	Article title, Abstract, Keywords	4
Scopus	"Industry 4.0" AND "circular economy" AND "sustainable" AND "internet of things"	Article title, Abstract, Keywords	57

Jotta hakujoukkoja artikkeleineen voitiin analysoida ja vertailla toisiinsa riittävän perusteellisesti, rajasin analysoitavista hakujoukoista kokonaan pois Andorin hakujoukon hakulauseelle "(\"circular economy\" AND digitalization)\". Tutkielman ja sen tiedonhankintaprosessin edetessä tein myös muita yksittäisiä hakuja, jotka eivät olleet rooliltaan erityisen merkityksellisiä eikä näin ollen näitä hakulausekkeita ja niiden mukaisia hakujoukkoja ole esitetty taulukossa 1.

Hakujoukon artikkelien valinnassa en painottanut erityisen paljoa esimerkiksi artikkelien aiemmin tehtyjen viittausten lukumäärää, koska tutkielman ja näin ollen siihen liittyvän tiedonhankinnan hakujen aihepiirin ilmiöt ovat verrattain niin uusia, ettei niitä ole merkittävässä määrin hyödynnetty tai käsitelty muissa artikkeleissa. Toisaalta tutkielmassa käytettävien artikkelien rajaamisessa hakujoukosta artikkelien julkaisuajankohtakaan ei ollut merkittävässä roolissa, sillä lähes kaikki hakujoukon artikkelit on julkaistu viiden viime vuoden sisällä, suurimmaksi osaksi vuosina 2022 ja 2023. Pyrin suodattamaan ja valitsemaan artikkeleja ottaen huomioon niiden JUFO-luokitukset, mutta tästä periaatteesta jouduin paikoittain joustamaan saatavilla olevien lähteiden määrällisen rajallisuuden ja sisällöllisen rajoittuneisuuden takia.

Toteutin tiedonhankinnan systemaattisesti hakujen ja hakulausekkeiden osalta ja hyödyntämällä valikoitujen avainartikkelien osalta helmenkasvatusmenetelmää onnistuneen rajauksen saavuttamiseksi ja lähteiden kattavuuden laajentamiseksi käytettyjen rajauksen sisällä. Helmenkasvatusmenetelmässä ideana on se, että uusia tietolähteitä etsitään ja löydetään aiemmin löydettyjen ja hyödynnettyjen tietolähteiden pohjalta esimerkiksi kyseisten tietolähteiden avainsanojen avulla. Näin on mahdollista laajentaa tietolähteiden määrää haluttuun suuntaan siten, että lähteet kytkeytyvät toisiinsa ja kehittävät kokonaisuutta progressiivisesti kattavammaksi. (Schlosser *et al.* 2006, s. 572)

### 1.3 Tutkielman rakenne

Tämä tutkielma jakautuu kahteen käsittelyosuuden lukuun ja sitä kautta kahteen laajempaan kokonaisuuteen. Ensimmäisessä osiossa eli luvussa 2 käsitellään teoreettisen ja

tieteellisen taustoituksen osalta Teollisuus 5.0:a vertaillen sitä Teollisuus 4.0:n kanssa sekä tarkastellen ja analysoiden sitä kolmesta näkökulmasta, ihmiskeskeisyyden, resilienssin sekä kestävyiden osalta. Toisen luvun on tarkoitus luoda lukijalle peruskäsitys siitä, millaisessa kontekstissa tutkielman sisältö ja erityisesti tutkielman kolmas luku käsitellään. Toisessa luvussa määritellään teollisuuden digitalisaatioon liittyviä käsitteitä ja taustoitetaan niiden välisiä keskinäisiä yhteyksiä.

Tutkielman kolmas luku käsittelee kiertotaloutta sovelluksineen ja periaatteineen teollisuuden aihepiirissä ja tuo esiin erityisesti sellaisia näkökulmia sekä mahdollisuuksia, joita Teollisuus 5.0 voi tulevaisuudessa mahdollistaa ja toisaalta sovelluksia, joita digitaaliset teknologiat ovat jo käytännössä todettuna mahdollistaneet. Tarkastelussa ja kiertotalouden sovellusten analyysissä on nojattu samaan Teollisuus 5.0 -kokonaisuuden kolmijakoon, kuin toisessa luvussa. Tutkielman kolmannessa luvussa nousee esiin myös Teollisuus 5.0 -periaatteiden ja kiertotalouden periaatteiden mukaisen liiketoiminnan yhdistämiseen sekä soveltamiseen liittyviä mahdollisia haasteita ja rajoitteita.

Tutkielman käsittelylukujen 2 ja 3 jälkeen esitetään tutkielman päätelmät, lähteet ja liitteet. Liitteissä on esitetty kattavampi versio taulukosta 2 sekä tutkielmassa käytettyjen lähteiden julkaisufoorumeiden JUFO-luokitukset.

## 2. TEOLLISUUS 4.0 JA TEOLLISUUS 5.0

Tässä luvussa käsitellään tämän kandidaatintutkielman molempien tutkimuskysymysten pohjalla olevaa kokonaisuutta, teollisuuden viidettä vallankumousta, Teollisuus 5.0:a. Luvussa verrataan keskenään Teollisuus 5.0:a ja Teollisuus 4.0:a sekä käsitellään Teollisuus 5.0:n jäsenneilyä kokonaisuutta samalla sen kolmea tunnustettua avainperiaatetta avaten. Luvun tavoitteena on muodostaa kokonaiskäsitys tämän tutkielman ja erityisesti tutkielman kolmannen luvun kontekstin laajemman ymmärryksen saavuttamiseksi.

Teollisuus 5.0 eli teollisuuden viides vallankumous on toistaiseksi viimeisin havaittu ja tutkittu teollisuuden vallankumouksellinen sekä kehityksellinen harppaus. Teollisuus 5.0 on teollisuuden vallankumousten kehityssarjassa jatkoa Teollisuus 4.0:lle, joka toisaalta on rakentunut Teollisuus 3.0 -rakenteiden ja teknologioiden päälle tuoden mukanaan oman vallankumouksellisen muutoksensa. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023) Digitalisaation roolin ollessa nykymaailmassa verrattain merkittävä niin yksilön kuin yhteisönkin ympäristössä, korostuu Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukainen digitaalisten teknologioiden soveltaminen ja ennen kaikkea näiden sovellusten merkitys osana nykyisten ja mahdollisesti tulevien teollisen maailman ja yhteiskunnallisenkin tason haasteiden sekä ongelmien ratkaisua. (Suciu *et al.* 2023)

### 2.1 Teollisuus 4.0 ja teollisuuden vallankumousten linkittymisen toisiinsa

Teollisuuden neljäs vallankumous, Teollisuus 4.0 syntyi teollisuuden yritysten jatkuvan kehittämishakuisuuden tuloksena, kun valmistava teollisuus oli kehittynyt moniulotteisesti esimerkiksi langattomien teknologioiden, koneiden ja sensoreiden välisen kommunikaation sekä ihmisten ja laitteiden välisten rajapintojen ja käyttöliittymien kehittymisen myötä. Kokonaisuudessaan vallankumouksellisen kehityksensä näkökulmasta Teollisuus 4.0 on teknologioineen ja sovelluksineen mahdollistanut sekä ennen kaikkea kiihdyttänyt teollisuuden automatisoinnin ja prosessien optimoinnin kehitystyötä. Teollisuus 4.0:n mukana valmistusprosesseihin on sisällytetty älyä, niistä on kehitetty tehokkaampia ja jopa täysin itseohjautuvia. Tämä on johtanut paikoittain ihmisten työpaikkojen katoamiseen tekoälyn ja koneiden korvatesa ihmistyövoiman tuotannossa. (Möller *et al.* 2022; Raja Santhi & Muthuswamy 2023)

Kuten muidenkaan uusien teknologioiden kohdalla, eivät Teollisuus 4.0:n mahdollisuudet ja käyttökohteet teollisuuden prosesseissa rajoitu vain olemassa olevien ratkaisujen ja prosessien digitalisointiin sekä automatisointiin, vaan Teollisuus 4.0:n myötä nämä prosessit on voitu luoda uudelleen siten, että uusista teknologioista on saatu mahdollisimman suuri hyöty irti. (Möller *et al.* 2022) Parhaimmillaan jo Teollisuus 4.0 -aikakaudella on onnistuttu muodostamaan, hyödyntämään ja kehittämään resilienttejä, kiertotalouden periaatteiden mukaisia teollisuuden liiketoimintamalleja, joissa asiakkaan integroiminen mukaan prosesseihin on edistänyt kokonaisuutta entisestään ja auttanut yrityksiä tunnistamaan uusia liiketoimintamahdollisuuksia (Lopes de Sousa Jabbour *et al.* 2023). Yksi käytännön esimerkki Teollisuus 4.0 -teknologioiden, kuten lohkoketjujen, IoT:n ja 5G:n muodostamasta resilientistä ja kiertotalouden periaatteiden mukaisesta sovelluskokonaisuudesta on toimitusketju palveluna -ajattelun mukainen, pilvipalvelupohjainen toimitusketju (Ivanov *et al.* 2022).

Ivanovin *et al.* (2022) mukainen pilvipalvelupohjainen toimitusketju on esimerkki digitaalisten teknologioiden Teollisuus 4.0 -kokonaisuudessa toimivista integraatioista ja koneiden, laitteiden ja verkostojen välisestä kommunikaatiosta. Toinen esimerkki voisi olla laajempaan ilmiöön Teollisuus 4.0 -teknologioiden onnistuneen soveltamisen seurauksena saavutettu valmistuksen joustavuus ja resursseja entistä onnistuneemmin hyödyntävät sekä arvottamat, automatisoidut varastohallintajärjestelmät (Karmaker *et al.* 2023).

Tarkasteltaessa laajempaa ajanjaksoa teollisuuden vallankumousten aikajanalla, voidaan Teollisuus 4.0:n ja Teollisuus 5.0:n vertailun kontekstin tueksi vertailla pintapuolisesti Teollisuus 3.0:a ja Teollisuus 4.0:a. Pääpiirteissään kehityssuunnan ja tärkeimpien kehityskohtien osalta Teollisuus 3.0:n mukanaan tuoma tietokoneistuminen on Teollisuus 4.0:n myötä yhdistynyt digitalisaatioon. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023) Toisaalta digitalisaatio ja sen hyödyntäminen teollisuudessa on yksi Teollisuus 4.0:n tärkeimmistä työkaluista kohti automatisointia ja prosessioptimointia (Voulgaridis *et al.* 2022). Vastaavasti keskeisin ero Teollisuus 4.0:n ja Teollisuus 5.0:n välillä on ihmisen liittäminen keskeiseksi osaksi tietokoneistumisen ja digitalisaation luomaa kokonaisuutta sekä mahdollisuuksia, laaja-alaisin positiivisin seurauksin. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023)

Kuten Teollisuus 3.0:n ja Teollisuus 4.0:n siirtymävaiheessa, myös Teollisuus 4.0:n ja Teollisuus 5.0:n välissä on tunnistettu tietty siirtymävaihe, jonka aikana Teollisuus 4.0:n mukaisia teknologioita ja sovelluksia vielä kehitetään ja otetaan käyttöön, vaikka Teollisuus 5.0 on jo olemassa. Teollisuus 5.0:n ja Teollisuus 4.0:n tietynlainen välimaasto ja siirtymävaihe tekee Teollisuus 5.0:n tutkimisesta sellaisenaan haastavampaa. (Raja

Santhi & Muthuswamy 2023) On tärkeää huomioida, että tämänhetkinen Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukainen toiminta rakentuu pitkälti Teollisuus 4.0 -aikakauden teknologioiden kehityksen pohjalle (Möller *et al.* 2022).

## 2.2 Teollisuus 5.0 suhteessa Teollisuus 4.0:aan

Teknologiat, kuten tekoäly, IoT, Big data -analytiikka, lohkoketjuteknologia, robotiikka ja koneoppimisen sovelluskohteet ovat olleet olemassa jo Teollisuus 4.0:n aikana ja näin vieneet omalta osin teollisuuden prosessien kehitystä eteenpäin. Kuitenkin Teollisuus 4.0:n jälkeisen seuraavan merkittävän kehitysharppauksen, Teollisuus 5.0:n myötä nämä teknologiat sovelluksineen ovat saaneet paikoittain uuden merkityksen ja kontekstin. Teollisuus 5.0:n osalta on kyse enemmänkin siitä, että teknologiat sellaisinaan tai erilaisten teknologioiden yhdistelmänä luovat sellaisia laajempia kokonaisuuksia, ekosysteemejä, jotka edistävät tehokkuuden ja uusien mahdollisuuksien kehitystä harppauksittain. (Möller *et al.* 2022; Karmaker *et al.* 2023)

Teollisuus 5.0 -periaatteiden huomioimisen keskiössä onkin syntynyt ohjaava tarve jo olemassa olevan Teollisuus 4.0 -teknologian kehitykselle (Turner *et al.* 2022). Teollisuus 5.0:lla tähdätään esimerkiksi nano- ja sensorteknologian sekä tekoälyn sovelluksia hyödyntämällä ja kehittämällä kohti kestäväää teollisuutta ja tuotantoa. Teollisuus 5.0:n yksi merkittävistä eroista Teollisuus 4.0:aan verrattuna onkin siis ihmisen ja tekoälyn yhteistyön keskeinen rooli Teollisuus 4.0:n mukaisen automatisaatioon ja koneiden sekä laitteiden verkostoon painottuvaan kehityksen vastapainona. (Möller *et al.* 2022)

Ihmisen ja tekoälyn työskentelyn risteämäkohdassa voidaan huomata Teollisuus 4.0:n myötä automatisoitujen ja ihmisten näkökulmasta hetkellisesti jopa kadonneiden työtehtävien ikään kuin osittain palaavan takasin Teollisuus 5.0 -sovelluksia onnistuneesti hyödyntävissä organisaatioissa ja ympäristöissä, kun ihmiset työskentelevät työtehtävissään koneiden rinnalla. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023) Teollisuus 5.0:n sovelluksien yhteydessä onkin siis mahdollista huomata tietynlaista ihmistyön ja -työtehtävien Teollisuus 4.0 -aikakauden jälkeistä paluuta teollisuuteen keskeiseen, mutta aiempaan verrattuna erilaiseen rooliin (Erro-Gacésin & Aramendia-Munetan 2023).

Siinä missä Teollisuus 5.0 ennen kaikkea yhdistää ihmisen työskentelyä entistä vahvemmin tekoälyn ja koneiden kanssa, tuo se parhaimmillaan ihmisten erilaisuuden ja monipuolisuuden uudella, poikkeuksellisella tavalla esiin. Tällaisessa murroksessa voi tulla vastaan uusia ja erilaisia tilanteita, joissa uudet sekä erilaiset ominaisuudet, kyvykkyydet ja taidot nousevat suureen arvoon. Näin ollen on mahdollista, että Teollisuus 5.0:n kehi-

tyksen myötä ihmiskunnasta, sen erilaisuudesta ja monipuolisuudesta, saadaan kollektiivisesti enemmän hyötyä irti myös teollisuuden näkökulmasta tarkasteltuna. (Khan & Abonyi 2022) Turnerin & Oyekan (2023) mukaan Teollisuus 5.0 -viitekehys muodostuu Teollisuus 4.0 -teknologioiden, kuten IoT:n, tekoälyn ja langattoman sensoriteknologian, ihmiskeskeisyyden ja kestävyiden keskiössä ja ilmenee muokattavissa ja personalisoitavissa olevana hiilidioksidineutraalina tuotantona ja ihmiskeskeisenä valmistuksena.

Teollisuus 4.0:a ja Teollisuus 5.0:a ja näiden eroja ja yhtäläisyyksiä on tässä tutkielmassa tarkasteltu lukuisista eri tiedonhankinnallisista näkökulmista. Taulukossa 2 esitetään tutkielman tärkeimpinä lähteinä käytetyt avainartikkelit julkaisuvuosineen ja se, miten mikäkin artikkeli suhteutuu tiedonhankintavaiheen näkökulman sisällöltään tutkielmaan ja sen tavoitteisiin ja toisaalta muihin avainartikkeleihin.

**Taulukko 2.** Tutkielman avainartikkelit tiedonhankinnallinen näkökulma huomioiden.

Kirjoittaja	Julkaisu- vuosi	Anti ja suhde tutkielmaan
Antikainen, M. Uusitalo, T., Kivikytö-Reponen, P.	2018	Digitalisaation haasteet teollisuudessa.
Bocken, N.M.P., de Pauw, I., Bakker, C., van der Grinten, B.	2016	Tuote- ja strategiasuunnittelu kiertotalouden näkökulmasta
Dwivedi, A., Agrawal, D., Jha, A., Mathiyazhagan, K.	2023	Digitaaliset teknologiat kiertotalouden näkökulmasta
Erro-Gacés, A, Aramendia-Muneta, A.	2023	Vertailua Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n välillä
Fisher, O.J., Watson, N.J., Escrig, J.E., Witt, R., Porcu, L., Bacon, D., Rigley, M., Gomes, R.L.	2020	Datapainotteisen prosessien valvonnan ja kehittämisen Teollisuus 4.0 -näkökulma
Fraga-Lamas, P., Lopes, S.I., Fernández-Caramés, T.M.	2021	Digitalisaation haasteet kiertotalouden näkökulmasta
Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tirkolaee, E. B., Asadi, S., Amran, A.	2023	Resilienssi ja kestävyys Teollisuus 5.0:ssa
Ivanov, D.	2023	Teollisuus 5.0:n kolmijako ja sen syvempi tarkastelu
Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B.	2022	Teollisuus 4.0 -teknologioiden kokonaisuuden luomat käyttömahdollisuudet
Kaasinen, E., Anttila, A., Heikkilä, P., Laarni, J., Koskinen, H., Väätänen, A.	2022	Resilientti ihmisen ja koneen yhteistyö Teollisuus 5.0 -viitekehyksessä
Karmaker, C.L., Aziz, R.A., Ahmed, T., Misbaud-din, S.M., Maktadir, M.A.	2023	Teollisuus 4.0 ja kestävyys
Khan, A.A., Abonyi, J.	2022	Teollisuus 5.0 ja sen sovellusten yhteys kiertotalouteen
Li, S., Zheng, P., Liu, S., Wang, Z., Wang, X.V., Zheng, L., Wang, L.	2023	Syventävää tietoa Teollisuus 5.0:sta
Lopes de Sousa Jabbour, A.B., Latan, H., Chiappetta Jabbour, C.J., Seles, B.M.R.P	2023	Teollisuus 4.0:n ja kiertotalouden yhteys resilienssiin
Möller, D.P.F., Vakilzadian, H., Haas, R.E.	2022	Vertailua Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n välillä

Kirjoittaja	Julkaisu- vuosi	Anti ja suhde tutkielmaan
Raja Santhi, A., Muthuswamy, P.	2023	Vertailua Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n välillä
Rajesh, R.	2023	Teollisuus 5.0:n käyttöönoton haasteet
Saari, U.A., Schneider, M., Damberg, S., Herstatt, C., Lanz, M., Aarikka-Stenroos, L., Ringle, C.M.	2022	Kiertotalous liiketoiminnassa valmistavan teollisuuden näkökulmasta
Suciu, M. C., Please, D. A., Petre, A., Simion, A., Mituca, M. O., Dumitrescu, D., Bocaneala, A. M., Moroianu, R. M., Nasulea, D. F.	2023	Kestävyys ja ihmiskeskeisyys Teollisuus 5.0:ssa
Tóth, A., Nagy, L., Kennedy, R., Bohuš, B., Abonyi, J., Ruppert, T.	2023	Ihmiskeskeisyys Teollisuus 5.0:ssa
Turner, C., Oyekan, J.	2023	Ihmiskeskeisyys ja kestävyys Teollisuus 5.0:ssa
Turner, C., Oyekan, J., Garn, W., Duggan, C., Abdou, K.	2022	Elinkaarianalyysi ja ihmiskeskeisyys Teollisuus 5.0:ssa
Voulgaridis, K., Lagkas, T., Angelopoulos, C.M., Nikolettseas, S.E.	2022	Yleiskatsaus Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n mahdollisuuksiin kiertotalousnäkökulman taustalla

Taulukon 2 tietoihin kytkeytyvä laajempi versio on esitettyä tutkielman lopussa liitteenä A. Liitteessä A on mainittuna esimerkiksi kunkin lähteenä käytetyn artikkelin löytämiseksi käytetty hakulause, mikäli artikkeli on löydetty suoraan jonkin tutkimuksen hakulauseen avulla, eikä helmenkasvatusmenetelmää (Schlosser *et al.* 2006, s. 572) käyttäen.

### 2.3 Teollisuus 5.0:n tarkastelu sen avainperiaatteiden kolmijakona

Erään tarkastelun mukaan Teollisuus 5.0 voidaan jakaa kolmeen avainperiaatteeseen laajemman kokonaisuuden hahmottamiseksi ja sen jäsentämisen edistämiseksi. Nämä kolme Teollisuus 5.0:n elementtiä ovat ihmiskeskeisyys, resilienssi ja kestävyys. (Khan & Abonyi 2022) Teollisuus 5.0:n kokonaisuutta voidaan purkaa edelleen erilaisille tasoille esimerkiksi edellä esitellyn kolmijaon sisäisesti. Yksi tapa on jakaa tarkastelutasot kolmeen: yhteiskunta, verkosto ja tehdas. (Ivanov 2023) Tämä Teollisuus 5.0:n ja sen esimerkinomaisten tarkastelutasojen kolmijako esitetään taulukossa 3.

Taulukosta 3 voidaan huomata yksittäisen Teollisuus 5.0 -kolmijaon periaatteen sisäisten tarkastelutasojen välillä samansuuntaisia huomioita. Tällaisia huomioita voidaan tehdä esimerkiksi liittyen resilienssiin ja muokattavuuteen niin tehdas- kuin verkostotasollakin. Tästä on mahdollista päätellä, että Teollisuus 5.0:n avainperiaatteiden toteutuminen ja vaikutukset voivat lähteä kehityksen näkökulmasta tarkastelutason suhteen yksinkertaisemmalta tasolta, kuten tehtaasta, mutta luoda pohjaa laajempien tasojen kokonaisuuden kehitykselle, ketjuttaen tätä kokonaisuutta. (Ivanov 2023)



**Taulukko 3.** Teollisuus 5.0:n määritelmän jäsentelyn kolmijako ja sen kolme eri esimerkinomaista tarkastelutasoa (mukaillen lähteestä Ivanov 2023, s. 1688).

	<b>Teollisuus 5.0</b>		
	<b>Ihmiskeskeisyys</b>	<b>Resilienssi</b>	<b>Kestävyys</b>
<b>Yhteiskunta</b>	Ihmiskeskeisten ekosysteemien mahdollistuminen	Toisiinsa sidosteisten toimitusverkostojen mahdollistuminen	Resurssien ja energian kestävä kulutus maailmanlaajuisesti
<b>Verkosto</b>	Digitaaliset- ja kyberfysiset toimitusketjut	Toimitusketjujen resilienssi ja mukautuvuus	Toimitusketjutason kestävyys ja elinkaarianalyysi arvoketjuissa
<b>Tehdas</b>	Ihmisen ja koneiden välinen yhteistyö, turvallisuusstandardit ja layoutien optimointi	Tuotanto- ja logistiikkalaitosten resilienssi ja tehtaiden muokattavuus	Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja energiatehokkuus valmistus- ja logistiikkaprosesseissa

Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisesta liiketoiminnasta voi ihmiskeskeisyyden, resilienssin ja kestävyiden huomioimisen ja arvottamisen kokonaisuutena olla erilaisia etuja teollisuuden näkökulmasta. (Ivanov 2023; Li *et al.* 2023). Teollisuus 5.0 -sovellusten käyttöönoton mukanaan tuomat positiiviset vaikutukset eivät välttämättä rajoitu vain edellä esitetyn kolmiijaon omiin, rajattuihin laatikoihin, vaan hyötyjä on mahdollista havaita myös yleisemmällä tarkastelutasolla, esimerkiksi tarkastelussa hyödynnetyn kolmiijaon periaatteiden risteämäkohdissa. Tällaisia hyötyjä ja kehityskohteita voivat olla esimerkiksi kokonaisvaltainen muokattavuus ja muutосkyky, työturvallisuuden tehostuminen, työn tuottavuuden kasvattaminen sekä näiden yhtenä yhteisenä päämääränä kokonaisvaltainen kestävyiden kehitys. (Li *et al.* 2023)

### 2.3.1 Ihmiskeskeisyys Teollisuus 5.0 -periaatteena

Ihmiskeskeisyys Teollisuus 5.0 -periaatteena tarkoittaa ihmisen merkityksen ja roolin korostamista erilaisten koneiden, laitteiden ja verkostojen kokonaisuuden keskiössä sisältäen yhtenä elementtinään myös esimerkiksi tekoälyn. Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisesti toimiessa voidaan ajatella ihmiskeskeisyyden noudattamisen tuloksena sen

ikään kuin palauttavan Teollisuus 4.0 -aikakaudella automatisoinnin kadottaneet työpai-  
kat ja -tehtävät jälleen ihmisen työskentelyn ympärille rakentuvaksi. Tällainen muutos voi  
tarkoittaa ihmisen roolin tai työtehtävien tyylin muutosta aiempaan verrattuna esimerkiksi  
hallinnollisempaan, valvovampaan ja ohjaavampaan suuntaan. (Garn *et al.* 2022; Tóth  
*et al.* 2023)

Tóth *et al.* (2023) esittelee ihmiskeskeisen ajattelun ja toiminnan merkittävänä osana  
Teollisuus 5.0 -sovellusten käyttöönottoa ja käyttöönoton onnistumista. Tóth *et al.* (2023)  
mukaan ihmiskeskeytyksen toteutuminen ja samanaikaisesti koneista sekä laitteista  
maksimaalisesti hyötyminen voi tuottaa toistaiseksi vielä haasteita esimerkiksi käyttölii-  
tymien ja yhteistoiminta-arkkitehtuurien rajallisuuden ja monimutkaisuuden takia. Käyt-  
töliittymien ja yhteistoiminta-arkkitehtuurien aiheuttamien haasteiden rinnalle voidaan  
Erro-Gacésin ja Aramendia-Munetan (2023) mukaan nostaa luottamuksen epävarmuus-  
tekijät niin keskenään ihmisten välillä kuin koneen ja ihmisenkin välillä myös erilaiset  
johtamiseen ja päätäntävaltaan liittyvät suhteet huomioiden. Joitakin eritasoisia ihmis-  
keskeisiä koneen, tekoälyn ja ihmisen välisiä yhteistyöratkaisuja ja -sovelluksia on kui-  
tenkin jo olemassa ja näiden ratkaisujen käyttöönoton ja kehityksen voidaan nähdä edis-  
tävän iteratiivisesti ihmiskeskeytyksen kokonaisuuden kehitystä ja huomioimista Teolli-  
suus 5.0 -periaatteiden viitekehyksessä. (Tóth *et al.* 2023)

Tehdastasolla ihmiskeskeytyys Teollisuus 5.0:n näkökulmasta voi tarkoittaa esimerkiksi  
ihmisen ja koneen välistä vuorovaikutusta ja monipuolista yhteistyötä tehdasympäris-  
tössä. Tällainen yhteistoiminta voi auttaa edistämään esimerkiksi turvallisuusstandar-  
deja ja niiden toteutumista tai kehittää tuotanto- tai tehdaslayoutia optimaaliseen suun-  
taan. (Ivanov 2023) Ihmisen ja koneen välinen yhteistyö tehtaassa voi ilmentyä esimer-  
kiksi tehtaassa laitteiston automatisoiduttua, kun ihmiselle kehittyy esimerkiksi valvonta- tai  
ohjauspainotteisempi rooli. Fyysisten työtehtävien sijaan ihmisen työskentely tehtaassa  
voi koostua tulevaisuudessa pitkälti esimerkiksi erilaisista päätöksenteko- ja ongelman-  
ratkaisutehtävistä. (Garn *et al.* 2022; Tóth *et al.* 2023) Tällaisten tehtävien ja roolien  
muutosten myötä työntekijöiden ja heidän suorituskykynsä kehittämiseen liittyvien funk-  
tioiden merkitys yrityksen kannattavuudenkin näkökulmasta korostuu entisestään (Erro-  
Gacésin & Aramendia-Munetan 2023). Jo tehdastasolla korostuu myös ihmisten, konei-  
den ja tekoälyn välisten tehtävien jaon reiluus, ymmärrys yhteistyöstä ja eettinen näkö-  
kulma erityisesti ihmisten ja koneiden muodostamien tiimien johtamisen näkökulmasta.  
(Kaasinen *et al.* 2022)

Verkostotasolla ihmiskeskeytyys voi näkyä esimerkiksi digitaalisina tai osittain digitaali-  
sina, kyberfyysisinä toimitusketjuina. Tällaiset toimitusketjut muodostuvat koneiden ja  
laitteiden välisten jatkuvien interaktioiden luoman verkoston mahdollistamana. (Ivanov

2023) Koneiden ja laitteiden muodostaessa laajempia verkostoja, esimerkiksi kokonaisia toimitusketjuja, korostuu ihmisen rooli entistä haastavampien kokonaisuuksien ohjauksissa, kun esimerkiksi laitteiden ja koneiden välisten keskinäisten integraatioiden verkosto laajenee yhä monimutkaisemmaksi (Tóth *et al.* 2023). Toisaalta tällaisessa muutoksessa korostuu myös henkilöstöhallinnon rooli kokonaisuudenhallinnallisesta näkökulmasta (Erro-Gacésin & Aramendia-Munetan 2023).

Yhteiskunnallisella tasolla Teollisuus 5.0 ja digitaaliset teknologiat sovelluksineen luovat kokonaan uusia mahdollisuuksia, kuten koneiden ja laitteiden yhteydessä toimivien, mutta kuitenkin ihmiskeskeisten, kokonaisten ekosysteemien syntyminen, kehittymisen ja soveltamisen. (Ivanov 2023) Tällaisten laajempien ekosysteemien syntyminen taustalla korostuu entistä enemmän teknologisten innovaatioiden sovellusten soveltuvuus ja erityisesti skaalautuvuus yhteiskunnalliselle tasolle. Erilaisia teknologisia innovaatioita voidaan lähtökohtaisesti testata ja kehittää suhteellisen yksinkertaisesti yksinkertaisemmillä tarkastelutasoilla, kuten yksittäisissä tehtaissa. Laajempien tasojen sovellusten, kuten jonkin yhteiskunnallisen tason ekosysteemin käyttöönoton pohjalle voidaan usein kuitenkin vaatia merkittävässä määrin selvitys-, tutkimus- ja kehitystyötä. (Tóth *et al.* 2023)

### 2.3.2 Resilienssi Teollisuus 5.0 -periaatteena

Resilienssi Teollisuus 5.0 -periaatteena tarkoittaa kykyä mukautua ja sopeutua esimerkiksi muutostilanteessa, kykyä palautua sekä kykyä toimia häiriö- tai ongelmatilanteista huolimatta. Teollisuuden ja Teollisuus 5.0:n viitekehyksessä resilienssiä voidaan tarkastella erilaisista näkökulmista ja erilaisilla tasoilla. Esimerkiksi yksittäisen toimitusketjun resilienssiä voidaan tarkastella edellä mainittujen ominaisuuksien näkökulmasta. (Fisher *et al.* 2020; Kaasinen *et al.* 2022; Ivanov 2023)

Tehdastasolla Teollisuus 5.0:n mukainen kehitys resilienssin toteutumisen näkökulmasta voi ilmentyä esimerkiksi yksittäisten tehtaiden, tuotantolaitoksien ja logistiikkakeskusten muokattavuuden ja mukautuvuuden edistyksellisyytenä. Vastaavasti verkostotason resilienssin kehitys edistää esimerkiksi kokonaisten toimitusketjujen resilienssiä, uudistettavuutta ja muokattavuutta. (Ivanov 2023) Toisaalta niin erilaisten yksittäisten koneiden, tehtaiden kuin verkostojenkin resilienssin kehityksen tukijana voi toimia esimerkiksi erilaiset vian tai vaaran havaitsemiseen tarkoitetut Teollisuus 5.0:n mahdollistamat sovellukset. Kun esimerkiksi verkostoon tai laitteen hallintapaneeliin tunkeutujat voidaan havaita ja torjua onnistuneemmin, voidaan tarkastelukohteen resilienssin todeta kehittyvän. (Javeed *et al.* 2023)

Yhteiskunnallisella tasolla Teollisuus 5.0:n resilienssinäkökulman mahdollisuudet voivat ilmentyä esimerkiksi toimitusverkostojen interaktiivisena kokonaisuutena. (Ivanov 2023) Kun joitakin haasteita kohdataan yksittäisen laitteen, tehtaan tai toimitusketjun kohdalla, voisivat kyseiset haasteet kertaantua, kun kyseistä sovellusta pyrittäisi hyödyntämään laajemmassa mittakaavassa. Näin ollen toimiva ja resilientti Teollisuus 5.0 -ekosysteemi vaatii interaktiivisen ja onnistuneen kokonaisuuden niin mikro- kuin makrotasonkin elementeissä. Lopulta kehittyneen resilienssin tason hyötyjä voidaan saavuttaa, kun onnistutaan esimerkiksi käyttöliittymän suunnittelussa, dynaamisessa tehtävien ja töiden jakamisessa koneen sekä ihmisen välillä ja niin koneen kuin ihmisenkin jatkuvan oppimisen toteuttamisessa. (Kaasinen *et al.* 2022)

Kokonaisuudessaan resilienssi rinnastuu eri tarkastelutasoilla melko yhtenäisesti yleiseen määrittelyynsä, mutta se ilmenee tehdastasolla esimerkiksi yksittäisten prosessien, verkostotasolla yksittäisten prosessien muodostamien toimitusketjujen, ja yhteiskunnallisella tasolla yksittäisten toimitusketjujen sieto- ja palautumiskykyinä, muokattavuutena ja ennakointina (Ivanov 2023). Toisaalta resilienssi heijastuu yksittäisistä prosesseista ja tilanteista lähtien onnistumisineen ja epäonnistumisineen eri tarkastelutasoilta toisille (Kaasinen *et al.* 2022).

Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaista resilienssiä korostavaa toimintaa on voitu havaita jo Teollisuus 4.0:n mukaisissa sovelluksissa, kun prosessien suunnittelussa, niihin liittyvässä päätöksenteossa ja niiden optimoinnissa on painotettu dataan perustuvaa toimintaa (Fisher *et al.* 2020). Dataan perustuvan toiminnan ja onnistuneen automatisoinnin keinoin on jo Teollisuus 4.0 -aikakaudella voitu saavuttaa aiempaa kehittyneempi resilienssin taso esimerkiksi tuotannon virheiden vähenemisen myötä (Raja Santhi & Muthuswamy 2023). Fisherin *et al.* (2020) mukaan myös yksi resilienssiä painottavan näkökulman kehityskohde Teollisuus 4.0 -pohjaisen datakeskeisen toiminnan seurauksena on ollut kokonaisvaltainen prosessien ja toiminnan ennustettavuuden tarkentuminen.

### **2.3.3 Kestävyys Teollisuus 5.0 -periaatteena**

Kestävyys on laaja-alainen ja monipuolinen kokonaisuus, jota voidaan tarkastella lukuisista eri näkökulmista (Brundtland 1987). Kestävää kehitystä ja kestävyyttä voidaan tarkastella esimerkiksi kolmijakona ekologisesta, taloudellisesta ja sosiaalisesta näkökulmasta (Brundtland 1987; Elkington 1997). Ekologisen kestävyuden osalta huomioidaan ja painotetaan esimerkiksi ekosysteemien ja niiden säilyvyyden näkökulmaa, resurssikulutusta ja päästöjä. Taloudellisen kestävyuden periaatteita noudattamalla pyritään sellaiseen talouskasvuun, joka ei perustu resurssien ja varojen katoon eikä esimerkiksi

johda pidemmälläkään aikavälillä tarkasteltuna velkaantumiseen. Sosiaalisen kestävyysnäkökulmasta voidaan tarkastella lukuisia erilaisia aiheita ja ilmiöitä, kuten tasa-arvoa, inklusiivisuutta ja hyvinvointia. (Elkington 1997; Ympäristöministeriö n.d)

Ivanovin (2023) mukaan kestävyysnäkökulmasta voidaan liittää ekologiseen kestävyysnäkökulmaan esimerkiksi energia- ja resurssitehokkuuden optimointiin ja elinkaarianalyysiin perustuen. Ghobakhloo et al. (2023) ja Suciun et al. (2023) mukaan Teollisuus 5.0:n yhteys sosiaaliseen kestävyysnäkökulmaan voidaan löytää esimerkiksi inklusiivisuuden kehityksen välityksellä. Erro-Gacésin & Aramendia-Munetan (2023) mukaan Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisen liiketoiminnan yhteys taloudelliseen kestävyysnäkökulmaan voidaan havaita esimerkiksi kannattavuuden kasvuun sitoutuneena.

Tehdastasolla Teollisuus 5.0 -periaatteiden huomioiminen ja niiden mukainen toiminta voi edistää kestävyysnäkökulmaa moniulotteisesti. Ekologista kestävyysnäkökulmaa voidaan edistää Teollisuus 5.0 -periaatteita hyödyntämällä esimerkiksi auttamalla vähentämään tehtaan hiilidioksidipäästöjä ja muovaamaan valmistus- ja logistiikkaprosesseja energiatehokkaampaan suuntaan. (Ivanov 2023) Ekologisen kestävyysnäkökulman ja teollisuuden digitalisaation kehityksen yhtymäkohtia on voitu havaita jo Teollisuus 4.0 -viitekehityksessä, kun jätteiden käsittelyä ja jätehierarkian tulkintaa on sovellettu datakeskeisen ajattelun mukaisesti (Fisher *et al.* 2020). Karmakerin et al. (2023) mukaan Teollisuus 4.0 -teknologioiden huomioiminen ja hyödyntäminen käytännön tasolla läpi toimitusketjun kaikkien vaiheiden ja prosessien on ollut jo ennen Teollisuus 5.0 -periaatteitakin kriittisessä roolissa kestävämmän tuotannon ja toimitusketjun näkökulmasta. Teollisuus 4.0 -teknologiat ovat luoneet pohjaa digitalisaation ja kestävyysnäkökulman yhdistämiselle ja niiden yhteiselle kehitykselle teollisuudessa, mutta yksi seuraavista kehitysskelaista lienee Teollisuus 5.0 -periaatteet huomioiva ja niitä soveltava kehitystyö tämän pohjan päälle (Karmaker *et al.* 2023).

Sosiaalista kestävyysnäkökulmaa voidaan edistää Teollisuus 5.0 -sovellusten avustuksella esimerkiksi vähenevien työturvallisuusriskien (Ivanov 2023) ja kohenevien työolosuhteiden välityksellä (Ghobakhloo *et al.* 2023). Pehmeämmällä tasolla tarkasteltuna Teollisuus 5.0 -periaatteet huomioimalla ja niitä soveltamalla on mahdollista saavuttaa piste, jossa työntekijöiden työtehtävät ovat aiempaa mielekkäämpiä ja niin yksilön kuin ryhmänkin työpanos tunnustetaan ja osataan huomioida entistä paremmin (Ghobakhloo *et al.* 2023).

Verkostotasolla ekologinen kestävyysnäkökulma nousee esiin esimerkiksi toimitus- ja arvoketjujen kestävyysnäkökulman huomioimisen korostamisessa. Esimerkiksi elinkaariajattelu- ja -analyysi luovat kestävyysnäkökulmasta haasteen, johon Teollisuus 5.0 -periaatteiden painottamisella liiketoiminnassa on mahdollista vastata esimerkiksi optimaaliseen resurssi- ja energiatehokkuuden keinoin. Yhteisötasolla tämä tarkastelu voidaan laajentaa

jopa globaalille tasolle. (Ivanov 2023) Verkostoissa ja organisaatioissa sosiaalisen kestävyyden edistys Teollisuus 5.0:n mahdollistamana voidaan havaita yli Teollisuus 5.0:n avainperiaaterajojen liittyvän myös vahvasti ihmiskeskeisyyteen. Ihmiskeskeinen toiminta ja johtaminen mahdollistavat laajemmalla tasolla, kuten erilaisissa organisaatioissa, kulttuurin kehityksen sosiaalisesti kestävämpään suuntaan. Sosiaalisen kestävyyden kehittyminen voi ilmentyä esimerkiksi inklusiivisuutena. (Suciu *et al.* 2023)

### **3. TEOLLISUUS 5.0 KIERTOTALOUDEN EDISTÄJÄNÄ TEOLLISUUDESSA**

Tässä luvussa esitellään ensin kiertotalouden liiketoiminnallisia periaatteita viiden kiertotalouden liiketoimintamallin välityksellä ja syvennyttään sitten Teollisuus 5.0 -periaatteiden ja Teollisuus 5.0:n sovellusten mahdollisuuksiin kiertotalouden periaatteiden toteutumisen edistämiseksi teollisuudessa. Luvussa tuodaan esiin Teollisuus 5.0:n rooli mahdollistajana kiertotalouden periaatteiden mukaisessa teollisessa liiketoiminnassa. Teollisuus 5.0:n ja kiertotalouden välistä yhteyttä tarkastellaan luvussa 2 esiteltyjen kolmen Teollisuus 5.0 -avainperiaatteen näkökulmasta.

Jo teollisuuden vallankumousten aiemmat harppaukset, kuten Teollisuus 4.0 sovelluksiin, ovat edistäneet ja ennen kaikkea luoneet mahdollisuuksia kiertotalouden huomioimisen ja sen toteutumisen edistämiseksi teollisuudessa. Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukainen liiketoiminta tuo kuitenkin mukanaan merkittävästi lisää erilaisia mahdollisuuksia, tehokkaampia menetelmiä, toimintamalleja ja ratkaisuja kiertotalouden tavoitteiden saavuttamiseksi. (Khan & Abonyi 2022)

#### **3.1 Kiertotalouden periaatteiden huomioiminen liiketoiminnassa**

Kiertotalouden periaatteita voidaan tarkastella esimerkiksi kiertotalouden viiden liiketoimintamallin jäsenystä hyödyntämällä. Kiertotalouden viisi liiketoimintamallia ovat tuote palveluna, uusiutuvuus, jakamisalustat, tuote-elinkaaren pidentäminen ja resurssitehokkuus sekä kierrätys. (Accenture 2014; Sitra n.d.) Edellä mainitut liiketoimintamallit lähestyvät ja käsittelevät kiertotalouden periaatteiden toteuttamista liiketoiminnassa hieman eri näkökulmista. Tiivistettynä kiertotalouden viisi liiketoimintamallia kattavat palveluliiketoiminnan, kierrätysmateriaalien ja uusiutuvan energian käytön, hyödykkeiden yhteiskäytön, huoltotoiminnan ja uudelleenvalmistuksen sekä resurssi- ja energiatehokkaiden ratkaisujen suosimisen. (Sitra n.d.) Kiertotalouden liiketoimintamalleja kehitetään yrityksissä jatkuvasti Accenturen (2014) ja Sitran (n.d.) tukemana ja kyseisten tahojen tekemiin analyyseihin perustuen.

Euroopan Parlamentin (2023) mukaan kiertotalouden sovellusten käyttöönotosta voisi olla lukuisia muitakin hyötyjä ympäristöhyötyjen ohella ja näin ollen EU ohjaakin yritysten

ja yksilön toimintaa ja päätöksentekoa kohti kiertotalouden periaatteiden toteutumista. Ympäristöhyötyjen rinnalla mahdollisesti toteutuviksi hyödyiksi Euroopan Parlamentti (2023) nimeää esimerkiksi säästöt taloudellisesta näkökulmasta, innovaatiotoiminnan tehostumisen ja raaka-aineiden toimitusvarmuuden kehittymisen. Kiertotalous voikin näin ollen toimia kestäväen kehityksen keskiössä niin taloudellisesta, sosiaalisesta kuin ympäristövaikutustenkin näkökulmasta. Yksi mahdollistaja tällaisten positiiviseksi miellettyjen seurausten taustalla on materiaalin arvopotentialin säilyttäminen ja maksimointi, sillä sen myötä materiaalien arvoa voidaan hyödyntää kiertotalouden mukaisen talousjärjestelmän periaatteita kunnioittaen moninkertaisesti verrattuna lineaarisen talousmallin materiaalien kertakäyttöiseen luonteeseen. (Korhonen *et al.* 2022).

Kiertotalouden merkitys liiketoiminnallisesta näkökulmasta ei rajoitu vain kestävyyteen ja sen mukaisiin etuihin ja hyötyihin vaan kiertotalous ja kiertotalouden liiketoimintamallien hyödyntäminen ja huomioiminen voivat vaikuttaa merkittävästi myös yrityksen kilpailukykyyn (Saari *et al.* 2022). Toisaalta kiertotalouden periaatteet voivat ohjata tuotekehitysprosessien ja tuotesuunnittelun vaikutusten kautta teollisuuden yritystoimintaa erilaisistakin näkökulmista. Kiertotalouden periaatteiden huomioiminen voi johtaa tuotteiden elinkaaren ja kiertokulun silmukkamaisuuden hidastumiseen tai näiden silmukoiden sulkemiseen, kun tuote-elinkaarta pyritään pidentämään ja resurssien arvopotentialin hyödyntämistä maksimoimaan. (Bocken *et al.* 2016)

Kiertotalousajatteluun sidonnaisten käytännön sovellusten määrä ja laajuus ovat teollisuudessa vielä kohtalaisen heikolla tasolla, ja tarve teknisille sovelluksille on suuri kiertotalouden periaatteiden mukaisen liiketoiminnan edistämiseksi ja helpottamiseksi. Toisaalta kiertotalouden sovellusten käyttöönoton ja kehityksen vaatimat mahdolliset investoinnit voidaan kokea riskialttiina niiden kilpailullisen näkökulman epävarmuuden takia. (Saari *et al.* 2022) Ollakseen kiertotalouden näkökulmasta toimivaa, voi teollisuuden yritystoiminta vaatia taustalleen laajamittaisesti ja monipuolisesti erilaista kehitys- ja suunnittelutyötä luoden työkaluja ja mahdollisuuksia kiertotalouteen keskittyvää liiketoimintaa kohti (Bocken *et al.* 2016). Turnerin & Oyekan (2023) mukaan Teollisuus 5.0 -periaatteiden huomioiminen liiketoiminnassa voisi olla samanaikaisesti yksi askel kohti kiertotalouden periaatteiden mukaista liiketoimintaa.

### **3.2 Teollisuus 5.0:n avainperiaatteet kiertotalouden edistäjinä teollisuudessa**

Teollisuus 4.0:n mukaiset IoT- ja IIoT-tekniikat mahdollistavat Teollisuus 5.0 -viitekehityksessä sovelluksiensa myötä merkittävässä määrin kehittyneitä valvontaa ja hallintaa



tuotannon näkökulmasta (Voulgaridis *et al.* 2022). Voulgaridis *et al.* (2022) ovat tarkastelleet IoT:n sovelluksia vaikutuksineen kokonaisvaltaisesti ympäristön, terveydenhuollon, sosiaalisten vaikutusten ja energianhallinnan näkökulmista. Löydettyjen sovellusten ja mahdollisten käyttökohteiden keskiössä yhdistävänä yhteisenä tekijänä on pitkälti havaittavissa ennen kaikkea datan kerättävyys ja monitorointi, mutta tälle jatkona myös kerätyn datan onnistunut jakaminen. Datan jakamisessa on kriittistä sen ohjaaminen oikeaan paikkaan, oikeaan aikaan, oikeassa muodossa ja näin ollen sen muovaaminen mahdollisimman hyödylliseksi elementiksi päätöksenteon ja kehitystyön tueksi. (Voulgaridis *et al.* 2022) Accenturen (2014) ja Sitran (n.d.) mukaisten kiertotalouden liiketoimintamallien ja jo Teollisuus 4.0 -viitekehityksen välillä voidaan nähdä yhtymäkohtia esimerkiksi pilvipalvelupohjaisen toimitusketju palveluna -ajattelun myötä (Ivanov *et al.* 2022).

Tarkasteltaessa Teollisuus 5.0:n yhteyttä kiertotalouteen ja erityisesti Teollisuus 5.0:n roolia kiertotalouden edistäjänä tulee huomioida jo aiemmin tässä tutkielmassa esiin nousseena huomiona se, että Teollisuus 5.0 ei ole yhtäkkiä sellaisenaan tyhjästä kehittynyt kokonaisuus, vaan se on rakentunut ja kehittynyt teollisten vallankumousten aikajanalla viimeisimpänä Teollisuus 4.0:n luoman pohjan tukemana. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023) Kokonaisuudessaan Teollisuus 5.0 pyrkii Teollisuus 4.0:aan verrattuna kehittämään tasapainoisia, ekologisesti kestävämpiä ratkaisuja teollisuuden prosesseissa (Turner & Oyekan 2023).

Teollisuus 5.0:n avainperiaatteiden, ihmiskeskeisyyden, resilienssin ja kestävyiden, voidaan havaita paikoittain risteävän ja jopa yhtyvän toisiinsa, kun niitä tarkastellaan kiertotalousvaikutustensa näkökulmasta (Raja Santhi & Muthuswamy 2023). Ilmiöt, havainnot ja analyysit kiertotalouden edistymisen näkökulmasta teollisuudessa on esitetty seuraavissa alaluvuissa aina siten, että tarkasteltava ilmiö tai havainto on sijoitettu sen Teollisuus 5.0 -avainperiaatteen alalukuun, johon se yksinkertaistetuimmallaan tasolla kytkeytyy. Seuraavien alalukujen havainnoissa on keskitytty nimenomaan Teollisuus 5.0:n tuomiin etuihin ja luomiin mahdollisuuksiin teollisuuden kiertotalouden kentässä, vaikka Teollisuus 5.0:n rinnalla voidaankin tunnistaa joitakin jo Teollisuus 4.0:n aikaisia kehitys-ilmiöitä ja havaintoja.

### **3.2.1 Ihmiskeskeisyys kiertotalouden edistäjänä**

Ihmisen mahdolliset roolit Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisessa teollisessa ympäristössä esimerkiksi päätöksentekijänä, valvojana ja ohjaajana (Garn *et al.* 2022; Tóth *et al.* 2023), voivat asettaa ihmisen asemaan ja tilanteeseen, jossa hän päätyy vastaanot-

tamaan tietoa, johon pohjaten tulee tai on vähintäänkin mahdollista tehdä erilaisia ratkaisuja ja päätöksiä (Turner & Oyekan 2023). Raja Santhin & Muthuswamyn (2023) mukaan Teollisuus 5.0:n ja kiertotalouden risteämäkohdat liittyvät energiankulutuksen pienentämiseen, uusiutuvien energianlähteiden ja -muotojen hyödyntämiseen ja liiketoiminnan toteuttamisen peruseriaatteiden mukauttamiseen vastaamaan kiertotaloudellisia tarpeita, muuttuvaa maailmaa ja kehittyvää teknologiaa.

Raja Santhi & Muthuswamy (2023) tunnistavat Teollisuus 5.0 -ympäristössä ihmisen merkittävän roolin myös ekosysteemin laitteiden kehittäjänä esimerkiksi koneoppimisen näkökulmasta sekä erilaisten luovuutta ja kriittisyyttä vaativissa tehtävissä toimimisessa. Näin ihminen voi päätyä vaikuttamaan kiertotalouden periaatteiden toteutumiseen teollisuudessa, esimerkiksi resurssien ja energianlähteiden valinnassa, vikojen havainnoinnissa ja niihin reagoimisessa vaikuttaen mahdollisesti koko tuote-elinkaareen, sekä datan pohjalta muodostettavien luovien ja soveltavien ratkaisujen tekemisen yhteydessä. Yhtenä esimerkkinä tunneälyä vaativat tehtävät ja päätökset sitovat ihmisen vahvasti ihmiskeskeisen toiminnan ytimeen Teollisuus 5.0 -ekosysteemissä (Suciu *et al.* 2023).

Teollisuus 5.0:n ihmiskeskeisyyden voitaneen havaita kytkeytyvän kiertotalouden liiketoimintamallien näkökulmasta myös jakamisalustoihin, sillä jakamisalustoissa ihminen on palveluiden, laitteiden ja niiden muodostaman verkoston osana, ohjaavassa ja valvovassa roolissa (Sitra n.d.). Teollisuus 5.0:n viitekehyksessä jakamisalustojen kytkeytyminen ihmiskeskeisyyteen korostuu automatisoinnin, tekoälyn ja datapohjaisen päätöksenteon hallinnallisessa roolissa (Garn *et al.* 2022; Tóth *et al.* 2023). Lopulta ihminen on Teollisuus 5.0 -viitekehyksen tärkein linkki ja tekijä siirtymässä kohti hiilidioksidineutraalia tuotantoa esimerkiksi ymmärryksen, osaamisen ja soveltamiskykyisyyden myötä (Turner *et al.* 2022).

### **3.2.2 Resilienssi kiertotalouden edistäjänä**

Resilienssi ilmenee Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisessa liiketoiminnassa esimerkiksi vastauksena ja ratkaisuna kehittyneen responsiivisuuden ja mukautuvuuden vaatimuksiin. Kehittyneempi responsiivisuus ja mukautuvaisuus joustavoittavat tuotantoa. Tämä voi mahdollistaa sen, etteivät haasteet esimerkiksi yksittäisten toimittajien tai raaka-aineiden suhteen johdakaan teollisuudessa välttämättä kovin merkittäviin muutoksiin tai mittaviin haasteisiin. (Ghobakhloo *et al.* 2023) Toisaalta jo aiemmin, Teollisuus 4.0 -viitekehyksessä toimitusketjun resilienssiä on onnistuttu kasvattamaan toimitusketju palveluna -ajattelun onnistuneen soveltamisen ja kehittämisen seurauksena, kun niin sisäinen prosessien valvonta ja hallinta kuin ulkoinenkin toimittajaverkoston suuntautuva

kommunikointi alustoinen on kehittynyt ja helpottunut. (Ivanov *et al.* 2022; Lopes de Sousa Jabbour *et al.* 2023).

Ivanovin (2023) mukaan toimitusketjun prosessien ja rakenteellisen puolen monipuolisuus edistää toimitusketjun resilienssiä, palautumiskykyä. Resilienssi voi Teollisuus 5.0 -viitekehyksessä ilmentyä esimerkiksi tarpeen vaatiessa ihmisten, koneiden ja tekoälyn välisenä dynaamisena tehtävien jakamisena ja kykynä vaihtaa rooleja niin prosessien välillä kuin niiden sisäisestikin. (Kaasinen *et al.* 2022). Tällainen mukautuvuus ja resilienssi voivat siis helpottaa kiertotalouteen liittyvistä tavoitteista kiinni pitämistä, vaikka niihin liittyen kohdattaisi uhkia tai haasteita. Edellä mainitun kaltaiset uhat saataisivat horjuttaa joustamatonta ja heikosti mukautuvaa toimitusketjuja, mutta resilienssi toimitusketju voi mahdollistaa todennäköisemmän onnistumisen haastavissakin tilanteissa. (Ghobakhloo *et al.* 2023)

Yhtenä monivaikutteisena resilienssiin liittyvänä tekijänä voidaan huomioida sosiaalinen, organisaatiotason resilienssi. Kun organisaatio on teollisuudessa resilienssi myös sosiaalisesta näkökulmasta, voi valvonta, erilaiset neuvottelut ja tehtävien koordinointi onnistua entistä sujuvammin. Tällainen resilienssin ulottuvuus voi pienentää teollisessa ympäristössä kohdattavien haasteiden ja riskien kirjoa ja vakavuutta moniulotteisesti. (Ghobakhloo *et al.* 2023) Ivanovin (2023) mukaan organisaation kehittynyt kokonaisvaltainen resilienssi piilee jokaisen prosessin taustalla vaikuttaen monipuolisesti ja positiivisesti tehokkuuteen kokonaisuutena esimerkiksi karsien erilaisia uhkia ja edistää näin kiertotalouden periaatteiden mukaisen liiketoiminnan toteutumista häiriöitä ehkäisevän rooliinsa välityksellä.

### 3.2.3 Kestävyys kiertotalouden edistäjänä

Kiertotalouden näkökulmasta merkittävin yksittäinen kestävyys ulottuvuus lienee ekologinen kestävyys ja kestävyys tarkastelu ympäristönäkökulmasta. Kuitenkin kestävyys muodostaa eri näkökulmistakin tarkasteltuna laajan, riippuvuussuhteita sisältävän kokonaisuuden (Brundtland 1987; Elkington 1997), joten kestävyyttä tulee tarkastella laaja-alaisesti eri näkökulmista, erityisesti kun tarkastelussa on nimenomaan Teollisuus 5.0. (Ghobakhloo *et al.* 2023)

Yksi kestävyys ulottuvuuksista, sosiaalinen kestävyys, voi ilmentyä Teollisuus 5.0 -ekosysteemissä kun työntekijä kokee itsensä merkitykselliseksi ja arvokkaammaksi työskennellessään koneen rinnalla (Suciu *et al.* 2023), mutta toisaalta tällainen työskentely voi vaatia työntekijältä entistä enemmän osaamista (Ghobakhloo *et al.* 2023). Tilanteissa, joissa työntekijä kokee työnsä yksitoikkoiseksi, tai jopa turhaksi tai vaaralliseksi,

voi Teollisuus 5.0:n mukanaan tuoma työnteon uudistuminen muuttaa työntekijän asemaa ja asennoitumista työhönsä. Tällaisella ilmiöllä voi olla pitkävaikutteisetkin positiiviset seuraukset esimerkiksi kyseisen organisaation sosiaaliseen kestävyyskokonaisuutena. (Suciu *et al.* 2023)

Kestävyys ekologisen näkökulman osalta Teollisuus 5.0 -periaatteiden hyödyntämisen mahdollistama kehitys näkyy kokonaisvaltaisessa läpinäkyvyyden kehityksessä, esimerkiksi yksittäisten laitteiden, toimitusketjujen, verkostojen ja kokonaisten ekosysteemien osalta (Ghobakhloo *et al.* 2023). Yksittäisten ratkaisujen ja kehityskohteiden ohella, Teollisuus 5.0 pyrkii sovelluksineen luomaan laaja-alaista ymmärrystä ja integraatiota kiertotalouden ekosysteemiin ja toimitusketjujen optimointiin digitaalisten teknologioiden välityksellä (Dwivedi *et al.* 2023) ja vastaamaan laajamittaisiin haasteisiin hiilidioksidipäästöjen eliminointiin (Turner *et al.* 2022). Lopulta kiertotalouden toteutumisen taustalla olevassa kehitystyössä toteutetaan myös systeemijattelun mukaista tarkastelua, jossa seurauksia ja vaikutuksia tarkastellaan niin taloudellisen, sosiaalisen, kuin ekologisenkin kestävyysnäkökulmista (Bocken *et al.* 2016).

Digitaalisten teknologioiden kehitys luo joitakin yksittäisiäkin ratkaisuja, mutta ennen kaikkea mahdollisuuksien kokonaisuuksia. Samalla, kun teollisessa liiketoiminnassa huomioidaan kiertotalouden periaatteet ja hyödynnetään IIoT:n luomia mahdollisuuksia, voidaan huomata merkittäviä hyötyjä myös esimerkiksi tuotannon ja tuotteiden seurattavuuden ja valvonnan sekä niin sisäisen kuin ulkoisenkin viestinnän ja kommunikatiomahdollisuuksien kehityksessä. (Dwivedi *et al.* 2023)

Kestävyys ja Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisten teollisuuden sovellusten yhteys on havaittavissa myös elinkaarianalyysistä. Elinkaarianalyysin konseptin myötä voidaan korostaa joitakin materiaaleja tai resursseja ja mahdollisesti jotakin tiettyä niiden elinkaaren vaihetta, johon allokoita resursseja ja jota painottaa muita vaiheita enemmän. Elinkaarianalyysin ja sen tuloksien pohjalta tehtävä päätöksenteko voi edistää uudelleenkäyttöä, tuote-elinkaaren pidentämistä ja resurssi- ja energiatehokkuuden toteutumista. (Turner *et al.* 2022) Elinkaarianalyysin toteuttaminen vaatii usein monipuolista dataa esimerkiksi prosessikohtaisiin hiilidioksidipäästöihin liittyen. Tällaisen datan reaaliaikainen mutta myös historiadataan pohjautuva kokonaisvaltainen analysoiminen vaatii kehittyneen verkoston, minkä digitaalisten teknologioiden hyödyntäminen mahdollistaa. (Turner & Oyekan 2023)

Kiertotalous ja sen edistäminen kytkeytyy siis lukuisista eri näkökulmista Teollisuus 5.0:n luomaan ja edistämään kestävyysnäkökulmaan teollisuudessa. Kestävyys muodostuessa kolmesta eri elementistä, ekologisesta, taloudellisesta ja sosiaalisesta kestävyysnäkökulmista

(Brundtland 1987; Elkington 1997) on tärkeää huomioida eri osa-alueiden muodostaman kokonaisuuden laajempi näkökulma.

### **3.3 Teollisuus 5.0:n haasteet ja rajoitteet kiertotalouden näkökulmasta**

Digitalisaatio luomine mahdollisuuksineen luo samanaikaisesti uusia haasteita kiertotalouden näkökulmasta tarkasteltuna. Vaikka digitalisaation kehityksen luomat sovellukset ja mahdollisuudet edistävätkin monessa yhteydessä kiertotalouden periaatteiden toteutumista teollisessa liiketoiminnassa, aiheuttaa tämä kehitys samanaikaisesti kasvavaa energiankulutusta toimiakseen ja mahdollistuaakseen. Lisäksi digitalisaation käyttöönoton kasvu on aiheuttanut valtavaa kasvua elektroniikkajätteen määrässä. (Fraga-Lamas *et al.* 2021). Toisaalta Antikaisen *et al.* (2018) mukaan digitalisaation optimaalinen hyödyntäminen liiketoiminnassa voi olla haastavaa myös digitalisaatioon mahdollisesti liittyvien yhteensopivuus- ja käyttöönottohaasteiden näkökulmasta käytännön tasolla tarkasteltuna. Teoreettisella tasolla digitaaliset teknologiat ja Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukainen liiketoiminta voivatkin siis vaikuttaa jopa lähes aukottomilta tulevaisuuden ratkaisuilta ja kiertotalouden edistäjiltä, mutta haasteita voi tulla vastaan käytännön tasolla jo teknologioiden käyttöönottovaiheessa (Antikainen *et al.* 2018).

Kiertotalouden periaatteiden toteutuminen Teollisuus 5.0:n tukemana ja digitalisaation kiertotalous toimivat toisiinsa sidonnaisesti omalla tavallaan kokonaisuutta tehostaen ja toisaalta toisiltaan jatkuvaa kehitystä vaatien. (Fraga-Lamas *et al.* 2021) Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisen liiketoiminnan aloittamisen ja kehityksen tiellä voi olla kuitenkin erilaisia haasteita, hidasteita tai jopa esteitä. Haasteita voidaan kohdata esimerkiksi säädösten ja regulaatioiden näkökulmasta tai toisaalta huomioidessa digitaaliseen ympäristöön ja teknologioiden hyödyntämiseen liittyvä eettinen näkökulma. (Rajesh 2023)

Säädösten ja regulaatioiden kohdalla ongelmalliseksi voivat muodostua esimerkiksi globaalin tason tarkastelussa ilmenevät maakohtaiset erot digitalisaation ja sen mukaisten teknologioiden käyttöönotossa ja edistyksellisyydessä samalla vaikuttaen mahdollisesti digitalisaatioon liittyviin säädöksiin ja regulaatioihin. (Rajesh 2023) Eettisestä näkökulmasta tarkasteltuna ongelmallisia tilanteita voidaan kohdata esimerkiksi työvoiman käytön, työtehtävien jakautumisen ja johtamisen osalta, kun käsitellään ympäristöä, jonka on tarkoitus muodostua ihmiskeskeisesti koneiden ja ihmisten yhteistyön pohjalle. (Kaasinen *et al.* 2022; Rajesh 2023) Ei pidä myöskään unohtaa, että kuluttajat, asiakkaat ja yhteistyökumppanit voivat olla erittäinkin vahvasti mukana luomassa kehitystä tai ainakin

suuntaviivoja yhteiselle digitalisaation mukaiselle kiertotalouskehitykselle kehitykselle. (Antikainen *et al.* 2018)

Teollisuus 5.0:aan sidonnaisia haasteita voi syntyä esimerkiksi Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisesti toimivan ja Teollisuus 5.0:n mukaisia sovelluksia hyödyntävän yrityksen ja kyseisen yrityksen asiakkaan tai yhteistyökumppaneiden välille (Antikainen *et al.* 2018; Rajesh 2023). Tällaiset haasteet voidaan siis nähdä yksinä mahdollisina esteinä tai vähintäänkin hidasteina kiertotalouden mukaisen liiketoiminnan toteutumiseksi teollisuuden kontekstissa kuluttajien toimiessa useiden erilaisten kiertotalousnäkökulmaa painottavien tuotteiden ja palveluiden käyttäjinä (Antikainen *et al.* 2018).

Digitalisaation kiertotalouselementti luo entistä enemmän tarvetta kiertotalouden periaatteita tukevalle teknologiselle kehitykselle ja toisaalta jatkuvan kehityksen tuloksena luonee se samalla lisää tarvetta kiertotalouden periaatteiden toteutumiseen keskittymiseen liittyen, esimerkiksi kasvavan energiankulutuksen myötä. (Fraga-Lamas *et al.* 2021) Toisaalta samanaikaisesti entistä useampi yritys asettaa toiminnalleen entistä kunnianhimoisempia resurssitehokkuuteen ja päästöjen vähentämiseen liittyviä tavoitteita (Turner *et al.* 2022). Siis yksi haaste, mutta samalla myös mahdollinen ratkaisu, onkin kasvavan digitalisaation sovellusten käyttöönottoa kehittävä innovointi ja toteuttaminen siten, ettei energiankulutus kasva samassa suhteessa (Fraga-Lamas *et al.* 2021).

## 4. PÄÄTELMÄT

Tämän tutkielman tarkoituksena oli tutkia, mikä on Teollisuus 5.0, miten se eroaa Teollisuus 4.0:sta ja miten Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisella liiketoiminnalla voidaan edistää kiertotalouden periaatteiden toteutumista teollisuudessa. Ensin tutkittiin Teollisuus 5.0:n ja 4.0:n keskinäistä suhdetta, jonka jälkeen määriteltiin ja jäsenneltiin Teollisuus 5.0 selkeäksi, kolmen periaatteen muodostamaksi kokonaisuudeksi. Tämän jälkeen tutkittiin kirjallisuuskatsauksen keinon kirjallisuudesta löytyvää tietoa tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi Teollisuus 5.0:n kolmiosaisen, jäsennellyn määritelmän kautta.

Taulukossa 4 esitetään tutkielman tärkeimmät löydökset tutkielman molempiin tutkimuskysymyksiin liittyen. Taulukossa 4 on esitettyä myös kunkin aiheen ja havaintoelementin mahdollinen kytkeytyminen kiertotalouden periaatteisiin. Kyseinen vertailu ja jäsenitys on esitetty siten, että siitä käy ilmi tutkielman avainartikkeleiden korostamia tärkeimpiä näkökulmia. Vaikka kyseessä ei olekaan tieteellinen artikkeli, vaan raportti, on taulukossa 4 hyödynnetty myös Accenturen (2014) ja Sitran (n.d.) kiertotalousperiaatteita, joiden johdannaisena on tehty omia päätelmiä. Ne taulukon 4 ruudut, joihin ei ole kirjattu mitään, liittyvät sellaiseen matriisin akseleiden yhtymäkohtaan, jonka mukaisia havain-toja tämän tutkielman taustalla toteutetussa kirjallisuuskatsauksessa ei tehty.

**Taulukko 4.** Tutkielman tärkeimmät löydökset Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n eroavaisuuksista tutkielman avainartikkeleiden suhteen kiertotalousnäkökulma huomioiden.

Teollisuus 5.0 -periaate	Elementti	Teollisuus 4.0 -näkökulma	Teollisuus 5.0 -näkökulma	Kiertotalousnäkökulma
Ihmiskeiskeisyys	Datapohjainen päätöksenteko	Dataan perustuvaa teollisuuden toimintaa ollut havaittavissa (Fisher et al. 2020).	Datan kerättävyyden ja käytettävyyden korostuminen (Voulgaridis et al. 2022). Datapohjaiset luovat ja soveltavat ratkaisut (Suciu et al. 2023). Prosessikohtainen, tarkempi datankeruu ja data-analyysin vaatima kehittyneempi verkosto (Turner & Oyekan 2023). Datan keruun läpinäkyvyys ja kokonaisvaltaisen analyysin mahdollistuminen sekä ihmisen tekemä päätöksenteko datan pohjalta (Ghobakhloo et al. 2023).	Hiilidioksidipäästöjen analysointi ja mahdollinen kehitys päästöjen vähentämisessä ihmisen datan pohjalta tekemän päätöksenteon tuloksena (Turner et al. 2022; Turner & Oyekan 2023).
	Kyberfyysiset kokonaisuudet	Digitaalisten teknologioiden hyödyntäminen läpi toimitusketjun eri vaiheiden (Karmaker et al. 2023).	Kyberfyysisen kokonaisuuden johtaminen ja eettinen näkökulma (Kaasinen et al. 2022). Ihmiskunnan monipuolisuudesta saadaan kollektiivisesti enemmän irti integroimalla koneiden, tekoälyn ja ihmisten kokonaisuus teollisuudessa (Khan & Abonyi 2022). Ihmisen ainutlaatuisen tunneälyn korostuminen kyberfyysisen kokonaisuuden keskiössä (Suciu et al. 2023). Toisaalta uusien teknologioiden käyttöönottoon liittyvät mahdolliset haasteet (Antikainen et al. 2018) ja mahdolliset erilaisten säädösten ja regulaatioiden aiheuttamat haasteet rajoitteet tai hidasteet (Rajesh 2023).	Accenturen (2014) ja Sitran (n.d.) mukaiset jatkamisalustat.
	Tuotannon automatisointi ja ihmisen rooli	Valmistusprosesseihin on sisällytetty älyä ja niistä on tullut ainakin osin itseohjautuvia (Möller et al. 2022). Tuotannon automatisointi ja siitä seuraava ihmisten työpaikkojen katoaminen (Raja Santhi & Muthuswamy 2023).	Tuotannon automatisoituessa ihmisen roolin muutos hallinnollisempaan, valvovampaan ja ohjaavampaan suuntaan (Garn et al. 2022; Tóth et al. 2023). Toisaalta epävarmuudet ja haasteet ihmisen, tekoälyn ja koneiden välisen vuorovaikutuksen luottamuksessa (Erro-Gacés ja Aramendia-Muneta 2023).	Ihmisen ymmärryksen ja osaamisen korostuva rooli kehityksessä kohti hiilidioksidineutraalia tuotantoa (Turner et al. 2022).



Teollisuus 5.0 -periaate	Elementti	Teollisuus 4.0 -näkökulma	Teollisuus 5.0 -näkökulma	Kiertotalousnäkökulma
Resilienssi	Muokattavuus ja joustavuus	Resilienssin huomiointi prosessien suunnitteluvaiheessa (Fisher et al. 2020).	Tuotannon joustavuus ja muokattavuus kehittyneemmän responsiivisuuden seurauksena (Ghobakhloo et al. 2023). Toimintuketjujen prosessikohtainen ja rakenteellisen näkökulman monipuolisuus joustavoittavana tekijänä (Ivanov 2023).	Mukautuvuus ja resilienssiä kiertotalouden periaatteista kiinni pitämisen helpottajina (Ghobakhloo et al. 2023).
	Ongelmat tai häiriötilanteet	Tuotannon automatisoinnin virheitä vähentävä vaikutus. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023).	Häiriötilanteiden ja niiden aiheuttajien ehkäisy esimerkiksi tietoturvanäkökulmasta (Javeed et al. 2023). Prosessien valvonnan ja sisäisen ja ulkoisen kommunikoinnin edistyminen ja helpottuminen ongelmia ja häiriöitä ehkäisevänä, mutta toisaalta myös niistä selviämisen tukevana tekijänä (Ivanov et al. 2022; Lopes de Sousa Jabbour et al. 2023).	Accenturen (2014) ja Sitran (n.d.) mukaisiin kiertotalouden periaatteisiin nojaten edistää resurssi- ja energiatehokkuutta ja pidentänee tuote-elinkaarta.
	Työtehtävien ja kautuminen	Tuotannon työtehtävien siirtyminen lähes täysin koneiden ja tekoälyn vastuuksi. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023).	Dynaaminen työtehtävien jakautuminen koneiden ja ihmisen välillä (Kaasinen et al. 2022). Ihmisen roolin muutos työtehtävien osalta hallinnollisempaan suuntaan (Garn et al. 2022; Tóth et al. 2023).	Ihmisen kyvykkyyden mahdollistama optimaalinen tehtäväjako (Garn et al. 2022; Tóth et al. 2023) lienee positiivinen tekijä kiertotalouden kehityksen kokonaisuudessa.
Kestävyys	Ekologinen kestävyys	Jätehierarkian analysointi datakeskeisestä näkökulmasta (Fisher et al. 2020). Pohjustus digitalisaation ja kestävyuden periaatteiden yhdistämiselle (Karmaker et al. 2023).	Elinkaarianalyysi, energia- ja resurssitehokkuuden optimointi (Ivanov 2023). Yksi osa vastausta hiilidioksidipäästöjen eliminointiin (Turner et al. 2022). Dynaaminen monitorointi, seuranta ja mahdollisuus reagoida (Turner & Oyekan 2023). Ekologisen kestävyuden ja kiertotalouden yhtäläisyyksien johdannaisena Saari et al. (2022) mukainen mahdollinen kilpailukyvyyn kehittyminen.	Energia- ja resurssitehokkuus, tuote-elinkaaren pidentyminen ja uudelleenkäytön edistäminen (Turner et al. 2022). Toisaalta energia- ja resurssikulutuksen mahdollinen kasvu digitaalisten teknologioiden määrän kasvaessa, mutta toisaalta uudet digitaaliset teknologiat myös osana tämän haasteen ratkaisua (Fraga-Lamas et al. 2021).
	Sosiaalinen kestävyys	Työtehtävien mahdollinen yksitoikkoisuus ja mielekkyyden puute tai toisaalta näiden työtehtävien katoaminen ja korvautuminen koneilla (Raja Santhi & Muthuswamy 2023).	Inklusiivisuuden kehitys (Ghobakhloo et al. 2023; Suciú et al. 2023). Kehittyneempi työturvallisuuden taso (Ivanov 2023). Kohenevat työolosuhteet ja mielekkäämmät työtehtävät (Ghobakhloo et al. 2023). Viestintä- ja kommunikaatiomahdollisuuksien kehitys (Dwivedi et al. 2023). Mahdolliset haasteet eettisyyden ja esimerkiksi johtosuhteiden näkökulmasta (Kaasinen et al. 2022).	Accenturen (2014) ja Sitran (n.d.) mukaisiin kiertotalouden periaatteisiin nojaten mahdollinen hiljaisen tiedon ja organisaation osaamisen säilymisen kehitys yhtenä positiivisvaikutteisena tekijänä teollisuuden kiertotalouden kokonaisuudessa osaamisen näkökulmasta.
	Taloudellinen kestävyys	Raja Santhin & Muthuswamyn (2023) mukaisesta automatisoinnista mahdollisesti saatava kestävä taloudellinen hyöty esimerkiksi tuotantoon liittyen.	Kannattavuuden kasvu ja kannattavuuteen sidonnaisten funktioiden kehittymismahdollisuudet esimerkiksi työntekijöihin liittyen. (Erro-Gacés & Aramendia-Muneta 2023). Arvopotentiaalin säilyminen niin ekologisena kuin talousvaikutteisena tekijänä. (Korhonen et al. 2022)	Sellaisten resurssien valinta ja hyödyntämismahdollisuuksien kehitys ja laajeneminen, jotka mahdollistavat Ympäristöministeriön (n.d.) mukaisen ja Accenturen (2014) sekä Sitran (n.d.) kiertotalousperiaatteitakin noudattavan talouskasvun (Ivanov 2023; Suciú et al. 2023).

Tutkielman ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, eli Teollisuus 5.0:n määrittelyyn ja eroavaisuuksiin verrattuna Teollisuus 4.0:n löytyi kattavasti kirjallisuutta, mikä tuki tämän vertailun tekemistä. Teollisuuden vallankumousten kehitys kolmannesta vallankumouksesta neljännen kautta aina viidenteen asti luo pohjaa eri vallankumouksellisten harppausten väliselle yhtäläisyyksien ja eroavaisuuksien analyysille. Teollisuuden eri vallankumousten välillä voidaan havaita yhtäläisyyksiä hyödynnettävissä teknologioissa, mutta eroavaisuuksia esimerkiksi näiden sovelluksien periaatteissa ja kehittyneisyydessä (Findik *et al.* 2023). Lienee loogista ajatella, että erilaisten, varsinkin toisiinsa edes jollakin tasolla yhteydessä olevien teknologioiden kehitys luo iteratiivisesti tarvetta ja mahdollisuuksia vähintäänkin saman ympäristön muiden teknologioiden ja laitteiden jatkokehitykselle näin ruokkien kehityksen kokonaisuutta.

Tämän tutkielman pohjalta voidaan huomata Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisessa liiketoiminnassa joitakin yhtäläisyyksiä Teollisuus 4.0:aan verrattuna, mutta toisaalta tutkielmassa nousee korostetusti esiin myös Teollisuus 5.0:n Teollisuus 4.0:a omalla tavallaan laajentava ja entisestään soveltava elementti. Tätä Teollisuus 4.0:n ja Teollisuus 5.0:n yhteyttä ja linkittymistä voidaan tarkastella esimerkiksi siitä näkökulmasta, että Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukainen liiketoiminta rakentuu ainakin toistaiseksi pitkälti Teollisuus 4.0 -teknologioiden sovelluksiin ja kehitykseen (Turner *et al.* 2022). Tässä tutkielmassa ei ole tunnistettu varsinaisia Teollisuus 5.0 -teknologioita, vaan korkeintaan Teollisuus 4.0 -teknologioista kehittyneitä versioita, joita on käsitelty Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisen liiketoiminnan ja digitalisaation yhteisen kehityksen tuotoksena.

Esimerkiksi Möller *et al.* 2022 ja Raja Santhi & Muthuswamy (2023) korostavat Teollisuus 4.0:n roolia tuotantoprosessien automatisoinnissa ihmistyövoiman korvaajana. Ihmistyövoiman korvaamista koneilla voitaneen tarkastella moniulotteisesti erilaisista näkökulmista. Vaikka ihmisen korvaaminen koneella voikin yksilötasolla aiheuttaa mahdollisen työpaikan menetyksen, lienee toisaalta mahdollista, että tuotannon onnistunut automaatio korottaa tehokkuuden tasoa laajemmassa mittakaavassa. Toisaalta ihmisen korvautuminen koneella työtehtävien osalta voi mahdollistaa sellaista kehitystä ja sellaisia kehityskohtia, joissa lopputuloksena sama ihminen työskentelee mahdollisesti samankaltaisen työtehtävän parissa mutta erilaisessa roolissa (Garn *et al.* 2022; Tóth *et al.* 2023).

Teollisuus 5.0:a voidaan tarkastella tutkielmassa käytetyn kolmijaon näkökulmasta. Tässä kolmijaossa Teollisuus 5.0:n kehitystä ja edistystä aiempien teknologioiden koko-

naisuuteen verrattuna tarkastellaan ihmiskeskeisyyden, resilienssin ja kestävyiden näkökulmista. (Khan & Abonyi 2022) Teollisuus 5.0 eroaa Teollisuus 4.0:sta ympäristönä ja periaatteiden kokonaisuutena merkittävimiltä osin muuttamalla ihmisen roolia koneiden rinnalla teollisuudessa. Teollisuus 4.0:n mukaisessa ympäristössä automatisointi on voinut korvata ihmistyövoimaa, mutta Teollisuus 5.0:n ihmiskeskeinen elementti korostaa ihmisen merkittävyyttä hallinnallisessa, valvovassa ja ohjaavassa roolissa koneiden rinnalla. (Garn *et al.* 2022; Tóth *et al.* 2023) Lienee mahdollista ja jopa paikoittain todennäköistä, ettei kaikkia lähitulevaisuudenkaan ammatteja ja niiden työtehtävien kuvaukset täyttäviä tai näihin rinnastettavissa olevia työtehtäviä ole vielä edes olemassa. Teollisuus 5.0 ja sen mukanaan tuoma työnteon murros voinee luoda uusia mahdollisuuksia ja uudenkaltaisia kokonaisuuksia työelämään niin työnantajan kuin työntekijänkin näkökulmasta.

Tutkielman toiseen tutkimuskysymykseen, eli Teollisuus 5.0:n rooliin ja mahdollisuuksiin teollisuuden kiertotalouden edistäjänä oli haastavampi vastata. Toiseen tutkimuskysymykseen vastaamisesta teki haasteellista rajallinen lähdemateriaali, sillä Teollisuus 5.0:a ei ole vielä tutkittu kokonaisvaltaisesti kovin paljoa. Tämän myötä yksityiskohtaisemmat tarkastelunäkökulmat jäivät tässä tutkielmassa verrattain kapea-alaisiksi ja siksi tutkielmassa keskityttiinkin enemmän yleisemmän tason tarkasteluun. Puutteita ja aukkoja kirjallisuudessa oli erityisesti kiertotalouden ja Teollisuus 5.0:n periaatteiden yhtymäkohtien käytännön sovelluksista teollisuudessa.

Vaikka kiertotalouden ja Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisen liiketoiminnan yhtenemiskohtia ei olla vielä merkittävästi tutkittu, oli joitakin yhtymäkohtia mahdollista johdatella erityisesti Teollisuus 5.0:n yhden pääperiaatteen, kestävyiden näkökulmasta. Vaikka kestävyys ei tarkoitakaan samaa kiertotalouden kanssa, on erityisesti ekologisen kestävyiden ja kiertotalouden välillä löydettävissä lukuisia yhdenmukaisia periaatteita ja niitä edistäviä toimintatapoja. Näin ollen havaintoihin pohjaten oli mahdollista tehdä yhteneviä päätelmiä.

Tutkielman tärkeimpiä löydöksiä liittyen Teollisuus 5.0:aan kiertotalouden toteutumisen edistäjänä ovat ihmiskeskeisestä näkökulmasta tarkasteltuna ihmiskeskeisyyden mahdollistama ihmisen kyvykkyyden ja potentiaalin maksimointi (Garn *et al.* 2022; Tóth *et al.* 2023). Kyvykkyyden ja ihmisen päätöksenteko- ja ongelmanratkaisukyvyyn seurauksena saavutettavat edistykselliset kehitysmahdollisuudet ilmenevät laaja-alaisesti kiertotalouden kentässä (Garn *et al.* 2022; Tóth *et al.* 2023) esimerkiksi resurssi- ja energiatehokkuuden optimointina. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023) Ihmisen soveltamiskyky, ymmärrys ja osaaminen voivat olla merkittävässä roolissa myös esimerkiksi hiilidioksidineutraalin tuotannon kehityksessä (Turner *et al.* 2022).

Resilienssinäkökulmasta tarkasteltuna Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisten sovellusten hyödyntäminen teollisessa liiketoiminnassa kiertotalouden periaatteiden suhteen kehittää mukautumiskykyä ja erilaisten prosessien ja sovellusten muokattavuutta näin edistään resilienssin kokonaisuutta. Tällainen resilienssin kehittyneempi toteutuminen voi edistää kiertotalouden periaatteiden toteutumista esimerkiksi tuote-elinkaaren pidentämisen näkökulmasta. (Ghobakhloo *et al.* 2023) Teollisuus 5.0 -periaatteita soveltamalla saavutettava yleinen joustavuuden kehitys tuotannossa (Kaasinen *et al.* 2022) yksittäisistä prosesseista lähtien (Ivanov 2023) lienee yksi positiivinen tekijä kiertotalouden periaatteiden kokonaisvaltaisen toteutumisen näkökulmasta tarkasteltuna. Kiertotalouden ja digitalisaation huomioiminen liiketoiminnassa saattaa olla vielä monelle yritykselle verrattain uusi elementti, joten joustavuus ja mukautuvuus lienevät sellaisia tekijöitä, jotka edistävät ja rohkaisevat siirtymää kohti uusia sovelluksia ja niiden käyttöönottoa. Resilienssin voidaan huomata kytkeytyvän edistäväksi tekijäksi tuote-elinkaaren pidentämisessä sekä resurssi- ja energiatehokkuudessa, kun erilaiset virheet ja poikkeamat ovat kehittyneemmän resilienssin tason myötä helpommin havaittavissa ennakkoon, mutta ennen kaikkea niistä voidaan selvittää joustavammin ja sulavammin, verrattuna vähemmän resilienttiin organisaatioon.

Kestävyyden ja kiertotalouden kokonaisuuden näkökulmasta tutkielman merkittävimpiä löydöksiä ovat läpinäkyvän datankeruun mahdollistaman kokonaisvaltaisemman data-analyysin (Ghobakhloo *et al.* 2023) seurauksena laaja-alaisempi ymmärrys kiertotalouden ekosysteemeihin ja toimitusketjujen resurssi- ja energiankulutukselliseen optimointiin liittyen digitaalisten teknologioiden välityksellä (Dwivedi *et al.* 2023). Teollisuus 5.0 -periaatteiden soveltaminen luo myös erilaisia mahdollisuuksia hiilidioksidipäästöjen eliminointiin liittyvien haasteiden ratkaisemiseen (Turner *et al.* 2022). Kun sosiaalinen kestävyys on organisaatiossa kehittyneellä tasolla, lienee todennäköisempää, etteivät työntekijät pyri vaihtamaan työskentelyorganisaatiotansa yhtä todennäköisesti verrattuna tilanteeseen, jossa sosiaalinen kestävyys olisi heikolla tasolla. Tällainen jatkuvuuden todennäköisempi turvaaminen lienee yksi mahdollistaja organisaation oppimisen ja osaamisen ylläpidon ja kehityksen tukipilarina, kun esimerkiksi hiljainen tieto ei katoa kyseisestä organisaatiosta välttämättä yhtä todennäköisesti tai nopeasti. Tällaisten ilmiöiden kokonaisuus lienee yksi positiivisvaikutteinen tekijä niin koko organisaation yleismaailmallisessa osaamisessa, mutta erityisesti sen kiertotalousosaamisessa ja kiertotalouden periaatteiden mukaisessa toiminnassakin.

Tämän tutkielman tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että Teollisuus 5.0 -periaatteita hyödyntämällä voidaan mahdollistaa kiertotalouden periaatteiden mukaista liiketoimin-

taa teollisuudessa aiempia teknologioiden sovelluskokonaisuuksia ja vallankumouksellisia harppauksia paremmin. Toisaalta täytyy myös huomioida Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisten teknologioiden käyttöön ja erityisesti niiden käyttöönottoon liittyvät mahdolliset haasteet. Tällaisia haasteita voivat muodostaa esimerkiksi rajoittunut palveluntarjonta, haasteelliset ja epäselvät käyttöliittymät ja rajapinnat (Tóth *et al.* 2023) sekä digitaalisten teknologioiden käytön energiankulutuksellinen näkökulma (Fraga-Lamas *et al.* 2021). Eettisestä ja toisaalta säädäntöjen ja regulaatioidenkin näkökulmasta voidaan kohdata uusia tilanteita liittyen ihmisen, koneiden ja tekoälyn muodostamaan dynaamiseen ja interaktiiviseen kokonaisuuteen (Kaasinen *et al.* 2022; Rajesh 2023).

Kokonaisuudessaan Teollisuus 5.0 -periaatteiden soveltaminen voi mahdollistaa ja toisaalta samalla myös velvoittaa ihmisen tekemään entistä merkittävämpiä päätöksiä. Tällaisien, Teollisuus 5.0 -periaatteiden kokonaisuuden pohjalle rakentuvien ja digitalisaation mahdollistamien vallankumouksellisten ratkaisujen myötä esimerkiksi dataan pohjautuvan päätöksenteon tuloksena voidaan saavuttaa merkittävästi aikaisempaa suurempia hyötyjä kiertotalouden periaatteiden toteutumisen näkökulmasta. Lienee esimerkiksi mahdollista, että ihmiskeskeinen elementti Teollisuus 5.0:n sisällä edistää resurssi- ja energiatehokasta liiketoimintaa ja jopa paikoittain mahdollistaa tuote-elinkaaren pidentämistäkin. Kriittistä onkin juuri ihmisen, koneiden ja tekoälyn saumaton yhteistyö. Toisaalta kiertotalouteen panostaminen tai vähintäänkin sen huomioiminen lienee liiketoiminnallisesta näkökulmasta perusteltua, joten Teollisuus 5.0 -periaatteiden mukaisen liiketoiminnan sovellukset ja niiden käyttö edistänevät kiertotaloudenkin vaikutustensa välityksellä liiketoiminnan kehitystä laajemmassa mittakaavassa.

Vaikka työssä kohdattiin joitakin haasteita ja rajoittavia tekijöitä esimerkiksi kirjallisuuden määrällisen ja sisällöllisen yksityiskohtaisemman tason kattavuuden näkökulmasta, voidaan kokonaisuutta tarkasteltaessa todeta tutkielman löydösten olevan monipuolisia. Tutkielman tutkimuskysymyksiin vastattiin eri näkökulmista tarkastellen ja tutkimuskysymysten aihealueet omiin konteksteihinsa asettaen.

## LÄHTEET

- Accenture. 2014. Circular Advantage Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth. Saatavissa (Viitattu 27.8.2023): [https://www.accenture.com/t20150523t053139\\_\\_w\\_/us-en/\\_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/strategy\\_6/accenture-circular-advantage-innovative-business-models-technologies-value-growth.pdf](https://www.accenture.com/t20150523t053139__w_/us-en/_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/strategy_6/accenture-circular-advantage-innovative-business-models-technologies-value-growth.pdf)
- Antikainen, M. Uusitalo, T., Kivikytö-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an Enabler of Circular Economy. *Procedia CIRP* 73, pp. 45–49. DOI: 10.1016/j.procir.2018.04.027
- Bocken, N.M.P., de Pauw, I., Bakker, C., van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), pp. 308–320. DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124
- Brundtland, G.H. (1987). Our Common Future World Commission On Environment And Development. *Brundtland Commission*. 300 p.
- Dwivedi, A., Agrawal, D., Jha, A., Mathiyazhagan, K. (2023). Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development. *Computers and Industrial Engineering* 176, p. 1082927. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108927
- Elkington, J. (1997). Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. *Capstone Publishing Limited*, United Kingdom. 402 p.
- Erro-Gacés, A, Aramendia-Muneta, A. (2023). The role of human resource management practices on the results of digitalisation. From Industry 4.0 to Industry 5.0. *Journal of Organizational Change Management* 36(4), pp. 582 – 602. DOI: 10.1108/jocm-11-2021-0354
- Euroopan Unioni. Industry 5.0. Saatavissa (Viitattu 14.8.2023): [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en)
- Findik, D., Tirgil, A., Özbuğday, F.C. (2023). Industry 4.0 as an enabler of circular economy practices: Evidence from European SMEs. *Journal of Cleaner Production* 410, p. 137281. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137281
- Fisher, O.J., Watson, N.J., Escrig, J.E., Witt, R., Porcu, L., Bacon, D., Rigley, M., Gomes, R.L. (2020). Considerations, challenges and opportunities when developing data-driven

models for process manufacturing systems. *Computers and Chemical Engineering* 140, p. 106881. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2020.106881

Fraga-Lamas, P., Lopes, S.I., Fernández-Caramés, T.M. (2021). Green iot and edge AI as key technological enablers for a sustainable digital transition towards a smart circular economy: An industry 5.0 use case. *Sensors* 21(17), p. 5745. DOI: 10.3390/s21175745

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tirkolaei, E. B., Asadi, S., Amran, A. (2023). Industry 5.0 implications for inclusive sustainable manufacturing: An evidence-knowledge-based strategic roadmap. *Journal of Cleaner Production* 417, p. 138023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138023

Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research* 61(5), pp. 1683 – 1695. DOI: 10.1080/00207543.2022.2118892

Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B. (2022). Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the “Supply Chain-as-a-Service”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 160, p. 102676. DOI: 10.1016/j.tre.2022.102676

Javeed, D., Gao, T., Kumar, P., Jolfaei, A. (2023). An Explainable and Resilient Intrusion Detection System for Industry 5.0. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. DOI: 10.1109/tce.2023.3283704

Kaasinen, E., Anttila, A., Heikkilä, P., Laarni, J., Koskinen, H., Väättä, A. (2022). Smooth and Resilient Human–Machine Teamwork as an Industry 5.0 Design Challenge. *Sustainability (Switzerland)* 14(5), p. 2773. DOI: 10.3390/su14052773

Karmaker, C.L., Aziz, R.A., Ahmed, T., Misbauddin, S.M., Moktadir, M.A. (2023). Impact of industry 4.0 technologies on sustainable supply chain performance: The mediating role of green supply chain management practices and circular economy. *Journal of Cleaner Production* 419, p. 138249. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138249

Khan, A.A., Abonyi, J. (2022). Information sharing in supply chains – Interoperability in an era of circular economy. *Cleaner Logistics and Supply Chain* 5. DOI: 10.1016/j.clscn.2022.100074

Korhonen, J., Honkasalo, A., Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics* 143, pp. 37 – 46 109456. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.06.041

- Li, S., Zheng, P., Liu, S., Wang, Z., Wang, X.V., Zheng, L., Wang, L. (2023). Proactive human–robot collaboration: Mutual-cognitive, predictable, and self-organising perspectives. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 81 DOI: 10.1016/j.rcim.2022.102510
- Lopes de Sousa Jabbour, A.B., Latan, H., Chiappetta Jabbour, C.J., Seles, B.M.R.P. (2023). Does applying a circular business model lead to organizational resilience? Mediating effects of industry 4.0 and customers integration. *Technological Forecasting and Social Change* 194, p. 122672. DOI: 10.1016/j.techfore.2023.122672
- Möller, D.P.F., Vakilzadian, H., Haas, R.E. (2022). From Industry 4.0 towards Industry 5.0. *IEEE International Conference on Electro Information Technology 2022-May*, p. 61–68. DOI: 10.1109/eit53891.2022.9813831
- Raja Santhi, A., Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 93(1). DOI: 10.1007/s12008-023-01217-8
- Rajesh, R. (2023). Industry 5.0: analyzing the challenges in implementation using grey influence analysis. *Journal of Enterprise Information Management*, 36(5), pp. 1349–1371. DOI: 10.1108/jeim-03-2023-0121
- Saari, U.A., Schneider, M., Damberg, S., Herstatt, C., Lanz, M., Aarikka-Stenroos, L., Ringle, C.M. (2022). The influence of circular economy implementation on competitiveness in manufacturing companies. *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation*. DOI: 10.1109/ice/itmc-iamot55089.2022.10033154
- Sahu, A., Agrawal, S., Kumar, G. (2022). Integrating Industry 4.0 and circular economy: a review. *Journal of Enterprise Information Management* 35(3), pp. 885–917. DOI: 10.1108/JEIM-11-2020-0465
- Schlosser, R. W., Wendt, O., Bhavnani, S., & Nail-Chiwetalu, B. (2006). Use of information-seeking strategies for developing systematic reviews and engaging in evidence-based practice: the application of traditional and comprehensive Pearl Growing. A review. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 41(5), pp. 567–582. DOI: 10.1080/13682820600742190
- Sitra. Kiertotalouden kiinnostavimmat 2.1. Saatavissa (Viitattu 14.8.2023): <https://www.sitra.fi/hankkeet/kiertotalouden-kiinnostavimmat/>
- Suciu, M. C., Please, D. A., Petre, A., Simion, A., Mituca, M. O., Dumitrescu, D, Bocaneala, A. M., Moroianu, R. M., Nasulea, D. F. (2023). Core Competence—As a Key



Factor for a Sustainable, Innovative and Resilient Development Model Based on Industry 5.0. *Sustainability (Switzerland)* 15(9), p. 7472. DOI: 10.3390/su15097472

Tóth, A., Nagy, L., Kennedy, R., Bohuš, B., Abonyi, J., Ruppert, T. (2023) The human-centric Industry 5.0 collaboration architecture. *MethodsX* 11, p. 102260. DOI: 10.1016/j.mex.2023.102260

Turner, C., Oyekan, J. (2023). Manufacturing in the Age of Human-Centric and Sustainable Industry 5.0: Application to Holonic, Flexible, Reconfigurable and Smart Manufacturing Systems. *Sustainability (Switzerland)* 15(13), p. 10169. DOI: 10.3390/su151310169

Turner, C., Oyekan, J., Garn, W., Duggan, C., Abdou, K. (2022). Industry 5.0 and the Circular Economy: Utilizing LCA with Intelligent Products. *Sustainability (Switzerland)* 14 (22). DOI: 10.3390/su142214847

Voulgaridis, K., Lagkas, T., Angelopoulos, C.M., Nikolettseas, S.E. (2022). IoT and digital circular economy: Principles, applications, and challenges. *Computer Networks* 219. DOI: 10.1016/j.comnet.2022.109456

Ympäristöministeriö. Mitä on kestävä kehitys? Saatavissa (Viitattu 20.8.2023): <https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys>

## LIITE A: AVAINARTIKKELIT

Hakulause	Tietokanta	Kirjoittaja	Julkaisu-vuosi	Artikkelin nimi	Julkaisupaikka	Anti ja suhde työhön
"digitalization" AND "enabl*" AND "circular economy"	Scopus	Antikainen, M. Uusitalo, T., Kivikytö-Reponen, P.	2018	Digitalisation as an Enabler of Circular Economy	Procedia CIRP 73	Digitalisaation haasteet teollisuudessa.
"circular economy" AND "business model" AND "product design" AND "strategy"	Scopus	Bocken, N.M.P., de Pauw, I., Bakker, C., van der Grinten, B.	2016	Product design and business model strategies for a circular economy	Journal of Industrial and Production Engineering	Tuote- ja strategiasuunnittelu kiertotalouden näkökulmasta
"Industry 5.0" AND "circular economy"	Scopus	Dwivedi, A., Agrawal, D., Jha, A., Mathiyazhagan, K.	2023	Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development	Computers and Industrial Engineering	Digitaaliset teknologiat kiertotalouden näkökulmasta
"Industry 4.0" AND "industry 5.0" AND "from"	Scopus	Erro-Gacés, A, Aramendia-Muneta, A.	2023	The role of human resource management practices on the results of digitalisation. From Industry 4.0 to Industry 5.0	Journal of Organizational Change Management	Vertailua Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n välillä
-	Scopus	Fisher, O.J., Watson, N.J., Escrig, J.E., Witt, R., Porcu, L., Bacon, D., Ringley, M., Gomes, R.L.	2020	Considerations, challenges and opportunities when developing data-driven models for process manufacturing systems	Computers and Chemical Engineering	Datapainotteisen prosessien valvonnan ja kehittämisen Teollisuus 4.0 -näkökulma
"Industry 5.0" AND "circular economy"	Scopus	Fraga-Lamas, P., Lopes, S.I., Fernández-Caramés, T.M.	2021	Green iot and edge AI as key technological enablers for a sustainable digital transition towards a smart circular economy: An industry 5.0 use case	Sensors	Digitalisaation haasteet kiertotalouden näkökulmasta
"Industry 5.0" AND "resilien**"	Scopus	Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tirkolaee, E. B., Asadi, S., Amran, A.	2023	Industry 5.0 implications for inclusive sustainable manufacturing: An evidence-knowledge-based strategic roadmap	Journal of Cleaner Production	Resilienssi ja kestävyys Teollisuus 5.0:ssa
"Industry 5.0" AND "human-centric" AND "sustainab*" AND "resilient"	Scopus	Ivanov, D.	2023	The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives	International Journal of Production Research	Teollisuus 5.0:n kolmijako ja sen syvempi tarkastelu
-	Scopus	Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B.	2022	Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the "Supply Chain-as-a-Service"	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	Teollisuus 4.0 -teknologioiden kokonaisuuden luomat käyttömahdollisuudet
"Industry 5.0" AND "resilien**"	Scopus	Kaasinen, E., Anttila, A., Heikkilä, P., Laarni, J., Koskinen, H., Väätänen, A.	2022	Smooth and Resilient Human–Machine Teamwork as an Industry 5.0 Design Challenge	Sustainability	Resilientti ihmisen ja koneen yhteistyö Teollisuus 5.0 -viitekehyksessä
"Industry 4.0" AND "circular economy" AND "sustainable"	Scopus	Karmaker, C.L., Aziz, R.A., Ahmed, T., Misbauddin, S.M., Moktadir, M.A.	2023	Impact of industry 4.0 technologies on sustainable supply chain performance: The mediating role of green supply chain management practices and circular economy	Journal of Cleaner Production	Teollisuus 4.0 ja kestävyys

Hakulause	Tietokanta	Kirjoittaja	Julkaisu-vuosi	Artikkelin nimi	Julkaisupaikka	Anti ja suhde työhön
"Industry 5.0" AND "circular economy"	Scopus	Khan, A.A., Abonyi, J.	2022	Information sharing in supply chains – Interoperability in an era of circular economy	Cleaner Logistics and Supply Chain	Teollisuus 5.0 ja sen sovel-lusten yhteys kiertotalou-teen
"Industry 5.0" AND "Internet of Things" AND "sustainability"	Scopus	Li, S., Zheng, P., Liu, S., Wang, Z., Wang, X.V., Zheng, L., Wang, L.	2023	Proactive human–robot collaboration: Mutual-cognitive, pre-dictable, and self-organising perspectives	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	Syventävää tietoa Teolli-suus 5.0:sta
"Industry 4.0" AND "circular economy" AND "resilience"	Scopus	Lopes de Sousa Jabbour, A.B., Latan, H., Chiappetta Jabbour, C.J., Seles, B.M.R.P	2023	Does applying a circular business model lead to organiza-tional resilience? Mediating effects of industry 4.0 and cus-tomers integration	Technological Forecasting and Social Change	Teollisuus 4.0:n ja kiertota-louden yhteys resilienssiin
"Industry 5.0" AND "circular economy"	Scopus	Möller, D.P.F., Vakilzadian, H., Haas, R.E.	2022	From Industry 4.0 towards Industry 5.0	IEEE International Confer-ence on Electro Infor-mation Technology	Vertailua Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n välillä
"Industry 5.0" AND "Internet of Things" AND "sustainability"	Scopus	Raja Santhi, A., Muthuswamy, P.	2023	Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies	International Journal on Interactive Design and Manufacturing	Vertailua Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n välillä
"Industry 5.0" AND "sustaina-bility" AND "challenges"	Scopus	Rajesh, R.	2023	Industry 5.0: analyzing the challenges in implementation using grey influence analysis	Journal of Enterprise In-formation Management	Teollisuus 5.0:n käyttöön-oton haasteet
"Industry 5.0" AND "human-centric" AND "sustainab*" AND "resilient"	Scopus	Suciu, M. C., Plese, D. A., Petre, A., Simion, A., Mituca, M. O., Dumitrescu, D, Bocaneala, A. M., Moroianu, R. M., Nasulea, D. F.	2023	Core Competence—As a Key Factor for a Sustainable, Inno-vative and Resilient Development Model Based on Industry 5.0	Sustainability	Kestävyys ja ihmiskeskei-syys Teollisuus 5.0:ssa
"Industry 5.0" AND "human-centric" AND "sustainab*" AND "resilient"	Scopus	Tóth, A., Nagy, L., Kennedy, R., Bohuš, B., Abonyi, J., Ruppert, T.	2023	Manufacturing in the Age of Human-Centric and Sustainable Industry 5.0: Application to Holonic, Flexible, Reconfigurable and Smart Manufacturing Systems	Sustainability	Ihmiskeskeisyys Teollisuus 5.0:ssa
"Industry 5.0" AND "circular economy" AND "human cen-tric"	Scopus	Turner, C., Oyekan, J.	2023	Manufacturing in the Age of Human-Centric and Sustainable Industry 5.0: Application to Holonic, Flexible, Reconfigurable and Smart Manufacturing Systems	Sustainability	Ihmiskeskeisyys ja kestä-vyys Teollisuus 5.0:ssa
"Industry 5.0" AND "circular economy" AND "resilience"	Scopus	Turner, C., Oyekan, J., Garn, W., Duggan, C., Abdou, K.	2022	Industry 5.0 and the Circular Economy: Utilizing LCA with In-telligent Products	Sustainability	Eiinkaarianalyysi ja ihmis-keskeisyys Teollisuus 5.0:ssa
"Industry 5.0" AND "circular economy"	Scopus	Voulgaridis, K., Lagkas, T., An-gelopoulos, C.M., Nikolettseas, S.E.	2022	IoT and digital circular economy: Principles, applications, and challenges	Computer Networks	Yleiskatsaus Teollisuus 4.0:n ja 5.0:n mahdollisuuksiin kiertotalousnäkökulman taustalla

## LIITE B: LÄHDEARTIKKELIEN JUFO-LUOKITUKSET

Artikkelin julkaisufoorumi	Julkaisufoorumin luokitus	Työssä hyödynnettyjen artikkelien lukumäärä julkaisufoorumin suhteen
Cleaner Logistics and Supply Chain	0	1
Computer Networks	2	1
Computers and Chemical Engineering	2	1
Computers and Industrial Engineering	1	1
Ecological Economics	2	1
IEEE International Conference on Electro Information Technology	-	1
IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation	0	1
IEEE Transactions on Consumer Electronics	1	1
International Journal of Language & Communication Disorders	3	1
International Journal of Production Research	2	1
International Journal on Interactive Design and Manufacturing	1	1
Journal of Cleaner Production	2	3
Journal of Enterprise Information Management	1	2
Journal of Industrial and Production Engineering	1	1
Journal of Organizational Change Management	1	1
MethodsX	0	1
Procedia CIRP	1	1
Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	3	1
Sensors	1	1
Sustainability	0	4
Technological Forecasting and Social Change	3	1
Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	2	1

Julkaisufoorumi-luokat:

- = ei JUFO-luokitusta

0 = ei täytä tason 1 kriteereitä

1 = perustaso

2 = johtava taso

3 = korkein taso