



## **Teollisuus 4.0 vaikutukset toiminnanohjausjärjestelmissä**

Industry 4.0 in enterprise resource planning systems

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2023

Elsi Ikkala

Tarkastaja: Tutkijatohtori Lasse Metso

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Elsi Ikkala

### **Teollisuus 4.0 vaikutukset toiminnanohjausjärjestelmissä**

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2023

32 sivua, 6 kuvaa ja 3 taulukkoa

Tarkastaja: Tutkijatohtori Lasse Metso

Avainsanat: toiminnanohjausjärjestelmä, teollisuus 4.0, tekoäly, esineiden internetti, pilvi-  
teknologia

Tässä kirjallisuuskatsauksena tehdyssä työssä selvitetään toiminnanohjausjärjestelmissä käytetyimmät teollisuus 4.0:n teknologiat, ja niiden vaikutukset. Työssä käsitellään myös toiminnanohjausjärjestelmien tulevaisuuden suuntaa teollisuus 4.0:n näkökulmasta.

Teollisuus 4.0:n ominaisuuksia tarkasteltaessa toiminnanohjausjärjestelmät valikoituivat kohteeksi, sillä ne ovat laajasti käytössä teollisuudessa. Työn tuloksena toiminnanohjausjärjestelmissä tärkeimmiksi teollisuus 4.0:n teknologioiksi tunnistettiin pilviteknologia, esineiden internetti, tekoäly, mobiili toiminnanohjausjärjestelmä, big data ja lohkoketjut.

Näiden teknologioiden käyttö tuo toiminnanohjausjärjestelmille monia haluttuja hyötyjä, kuten massiivisten tietomäärien keräämisen ja analysoinnin toimintojen tueksi, läpinäkyvyyden lisäämisen toimitusketjujen hallinnan parantamiseksi, sekä reaaliaikaisen tiedonkeruun ja siirron. Teknologioiden käytön havaittiin myös alentavan kuluja, muun muassa automatisoinnin ja pilvipohjaisen järjestelmän avulla.

Merkittävin haaste teollisuus 4.0:n teknologioiden implementoinnissa toiminnanohjausjärjestelmiin on tietoturvan säilyttäminen. Tulevaisuudessa toiminnanohjausjärjestelmien toimittajien ennustetaan jatkavan teollisuus 4.0:n ominaisuuksien implementointia. Jo käytettyjä teknologioita hyödynnetään enemmän, ja uusia teknologioita, kuten äänikomentoja otetaan käyttöön.

## Sisällysluettelo

### Tiivistelmä

1	Johdanto.....	3
1.1	Tutkimuksen tavoite.....	4
1.2	Tutkimuksen rajaus ja metodit.....	4
1.3	Työn Rakenne .....	5
2	Teollisuus 4.0 .....	7
2.1	Suunnitteluperiaatteet.....	8
2.2	Elementit .....	9
2.2.1	Teknologiat .....	10
2.3	Teollisuus 4.0 hyödyt ja haasteet teollisuudessa.....	12
3	Teollisuus 4.0 vaikutukset toiminnanohjausjärjestelmissä.....	14
3.1	Toiminnanohjausjärjestelmät .....	14
3.2	Teollisuus 4.0:n käytetyimmät teknologiat toiminnanohjausjärjestelmissä.....	16
3.3	Toiminnanohjausjärjestelmien tulevaisuus .....	23
4	Johtopäätökset .....	25
	Lähteet .....	27

# 1 Johdanto

Tämä kandidaatintyö käsittelee teollisuus 4.0:n vaikutuksia toiminnanohjausjärjestelmissä teollisissa yrityksissä. Organisaatiot kohtaavat nykyään monimutkaisemman ja kilpailullisemman ympäristön kuin koskaan aikaisemmin. Liiketoiminnan menestyminen ei enää perustu pelkästään toimintojen keskittämiseen, vaan suurien datamäärien hallintaan (Bandara ym. 2023). Teollisuus 4.0 edustaa neljättä teollista vallankumousta, joka perustuu tieto- ja kommunikaatioteknologian kehitykseen. Tämä vallankumous mahdollistaa teollisten prosessien automatisoinnin, tiedon keräämisen ja analysoinnin, sekä tehokkaamman kommunikoinnin eri osapuolten välillä (Jazdi 2014).

Teollisuus 4.0:n teknologiat kuten esineiden internetti ja big data ovat tärkeässä roolissa niin nykypäivän kuin tulevaisuuden teollisuudessa (Basl 2016), sillä nämä uudet teknologiat mahdollistavat toiminnanohjausjärjestelmiä vastaamaan nykypäivän kilpailukykyiseen ja dynaamiseen liiketoimintaympäristöön (Ghadge ym. 2020). Teollisuus 4.0:n vaikutukset toiminnanohjausjärjestelmiin ovat vielä kohtuullisen uusia ja vähän tutkittuja, sillä teollisuus 4.0 on sanottu alkaneen 2011 luvulla (Pramanik ym. 2020).

Toiminnanohjausjärjestelmät ovat keskeisiä teollisuusyritysten liiketoiminnan hallinnassa ja prosessien ohjauksessa, sillä ne tarjoavat kokonaisvaltaisen näkymän yrityksen eri toimintoihin, auttavat tehostamaan prosesseja, tarjoavat reaaliaikaista tietoa, vähentävät kustannuksia ja edistävät varastohallintaa (Su ja Yang 2010). Basl (2018) vertaili eri teollisuuden järjestelmien teollisuus 4.0:n ominaisuuksien käyttöönottoa. Tutkimuksen perusteella toiminnanohjausjärjestelmät ovat kirkkaasti muita järjestelmiä edellä kehityksessä. Tämän takia tarkasteltaessa teollisuus 4.0:n vaikutuksia teollisuudessa, toiminnanohjausjärjestelmät ovat yksi tärkeimmistä tarkastelun kohteista.

## 1.1 Tutkimuksen tavoite

Työn tavoitteena on luoda yleiskäsitys teollisuus 4.0:n teknologioiden vaikutuksista toiminnanohjausjärjestelmissä. Työssä halutaan selvittää mitkä teollisuus 4.0:n teknologiat ovat eniten käytettyjä toiminnanohjausjärjestelmissä, jotta saadaan parempi kuva teollisuus 4.0:n vaikutuksista toiminnanohjausjärjestelmiin. Eniten käytettyjen teknologioiden perusteella selvitetään miten eri teknologiat parantavat toiminnanohjausjärjestelmien toimivuutta, ja mitä uutta ne tarjoavat teollisuuden yrityksille. Kiinnostavia tekijöitä ovat myös uusien teknologioiden tuomat haasteet ja teknologioiden implementoinnin nykytila. Myös tulevaisuuden toiminnanohjausjärjestelmien trendejä tullaan tarkastelemaan tutkijoiden mielipiteiden ja nykytrendien pohjalta. Tutkimuskysymykset työssä ovat seuraavanlaiset:

*Mitkä ovat toiminnanohjausjärjestelmissä käytetyimmät teollisuus 4.0:n teknologiat?*

*Miten teollisuus 4.0:n käytetyimmät teknologiat vaikuttavat toiminnanohjausjärjestelmiin?*

*Miten teollisuus 4.0 tulee muokkaamaan toiminnanohjausjärjestelmiä tulevaisuudessa?*

## 1.2 Tutkimuksen rajaus ja metodit

Työ on rajattu käsittelemään toiminnanohjausjärjestelmien ominaisuuksia teollisuus 4.0:n näkökulmasta. Työssä käsitellään vain teollisen ympäristön toiminnanohjausjärjestelmiä. Tarkastelusta jätetään kokonaan pois muiden alojen toiminnanohjausjärjestelmät, sillä ne eivät ole tutkimuskysymyksen kannalta merkittäviä. Työstä on rajattu pois toiminnanohjausjärjestelmien valinta ja käyttöönotto. Työssä ei tarkastella yksittäisiä toiminnanohjausjärjestelmiä, vaan paneudutaan yleisiin trendeihin ja tilastoihin. Teollisuus 4.0:n vaikutuksia toiminnanohjausjärjestelmiin käydään läpi tarkastellen teollisuus 4.0:n teknologioiden käyttöä toiminnanohjausjärjestelmissä.

Työhön on valittu toiminnanohjauksen kannalta keskeiset teknologiat. Näin saadaan muodostettua hyvä yleiskuva teollisuus 4.0:n vaikutuksista toiminnanohjausjärjestelmiin. Rajaukset on tehty, jotta työssä on mahdollista paneutua useaan eri teollisuus 4.0:n teknologiaan. Tämän vuoksi teknologioiden tarkastelu on rajoittunut yleiselle tasolle, eikä yksittäisiä teknologioita tutkita syvällisemmin. Työ toteutetaan keräämällä tietoa eri kirjallisuusläh-

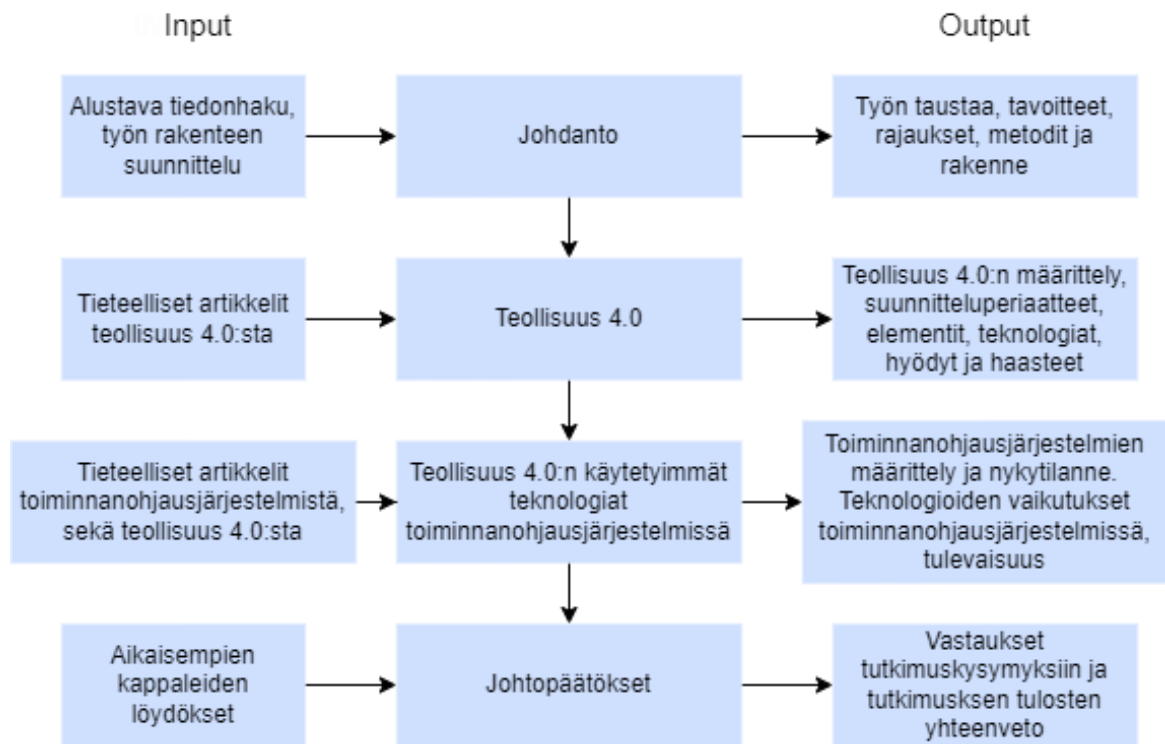
teistä ja tutkimuksista, painottuen uudempiin julkaisuihin. Kuvassa 1 on esitetty työn avainsanat, rajaukset tiivistetysti, sekä lähteiden hakuun käytetyt tietokannat.

Avainsanat	Rajaukset	Tietokannat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teollisuus 4.0</li> <li>• Toiminnanohjausjärjestelmä</li> <li>• Tekoäly</li> <li>• Esineiden internetti</li> <li>• Pilviteknologia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toiminnanohjausjärjestelmät teollisessa ympäristössä</li> <li>• Teollisuus 4.0:n käytetyimmät teknologiat</li> <li>• Toiminnanohjausjärjestelmät yleisesti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scopus</li> <li>• Google Scholar</li> </ul>

**Kuva 1.** Tutkimuksen avainsanat, rajaukset ja tietokannat

### 1.3 Työn Rakenne

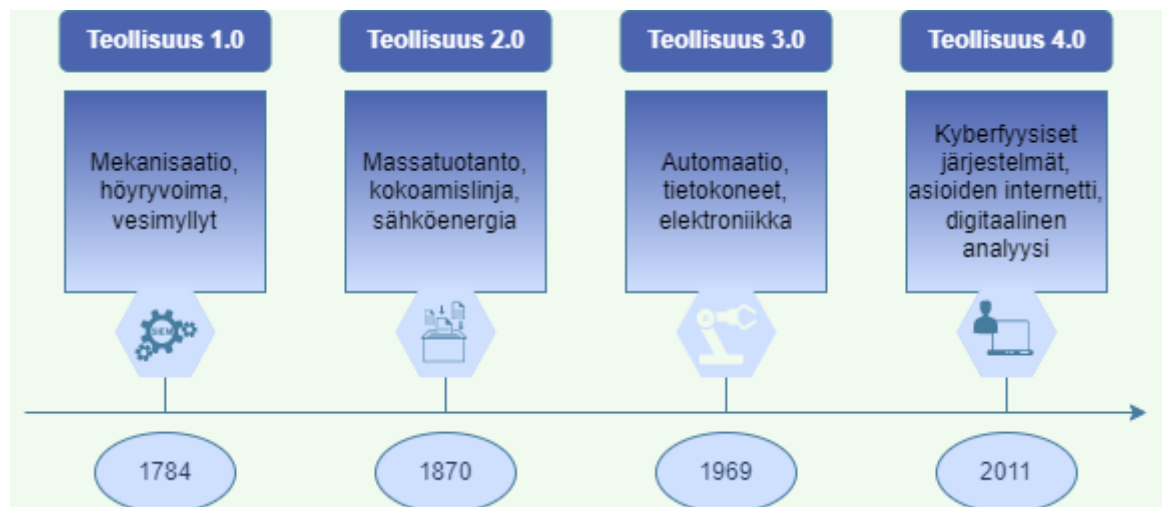
Työ alkaa johdannolla, jossa käsitellään työn taustaa, tavoitteita, rajouksia, metodeja ja rakennetta. Toisessa luvussa määritellään teollisuus 4.0 käsitteenä, ja käydään läpi sen tärkeimpiä ominaisuuksia ja teknologioita. Kolmannessa luvussa käsitellään ensimmäiseksi toiminnanohjausjärjestelmiä. Käsitteiden määrittelyn jälkeen keskitytään varsinaiseen aiheeseen, eli siihen mitkä teollisuus 4.0:n teknologiat vaikuttavat eniten toiminnanohjausjärjestelmissä. Teknologioiden tunnistuksen jälkeen käydään läpi niiden vaikutukset toiminnanohjausjärjestelmissä. Viimeisessä luvussa esitetään työn tulokset ja tehdään yhteenveto työn tuloksista. Kuvassa 2. esitetään työn rakenne, jokaiseen lukuun käytetyt aineistot sekä lukujen sisältö.



**Kuva 2.** Työn rakenne

## 2 Teollisuus 4.0

Viimeisten vuosikymmenien aikana tietotekniikka on kokenut valtavia harppauksia, jotka vaikuttavat ihmisten jokapäiväiseen elämään. Yksi merkittävimpiä tietotekniikan muutoksia on siirtyminen älylaitteisiin, jotka ovat yhteydessä toisiinsa internetin kautta. Teollisuudessa tämä muutos mahdollistaa verkoston, jossa laitteet voivat kommunikoida suoraan keskenään. Tämän verkoston implementointia tuotantotaloudessa kutsutaan teollisuus 4.0:ksi (Tjahjono ym. 2017). Teollisuuden aikakaudet ovat historian saatossa muuttuneet mullistavien kehitysten kautta. Nimi teollisuus 4.0 tuleeekin siitä, että tietotekniikan kehitys teollisuudessa on tuonut teollisuuden sen neljännelle aikakaudelle. Kuvaaja 3 havainnollistaa teollisuuden kehittymisen kohti teollisuus 4.0. (Dalenogare ym. 2018)



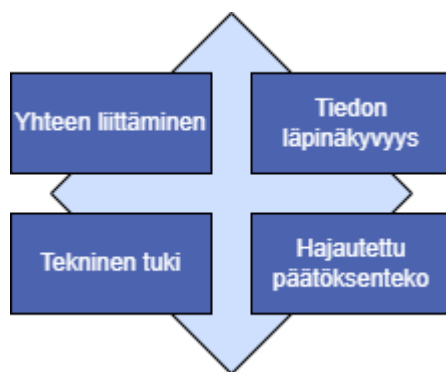
**Kuva 3.** Teollisuuden aikakaudet, mukailten Pramanik ym. (2020) ja Lavingia ja Tanwar (2020)

Teollisuus 4.0:n tuomat periaatteet ja teknologiat vaikuttavat moniin eri puoliin yhteiskunnassa. Käyttäjille teollisuus 4.0 näkyy niin arjessa kuin työelämässä. Älylaitteiden lisääntyminen ja niiden keskinäinen kommunikointi, sekä terveyspalvelut verkossa ovat muutamia esimerkkejä teollisuus 4.0:n vaikutuksista (Ghadge ym. 2020). Teollisuus 4.0:n vaikutukset näkyvät myös teollisessa tuotannossa ja hallinnassa, sekä logistiikassa (Strange ja

Zucchella 2017). Muun muassa esineiden internetin avulla voidaan tallentaa tietoa reaaliajassa, mikä mahdollistaa teollisessa tuotannossa tietojen tarkkuuden parantumisen analytiikan ja ennusteiden kautta (Vimukthi ym. 2022).

## 2.1 Suunnitteluperiaatteet

Hermann ym. (2016) tunnistivat teollisuus 4.0:n suunnitteluperiaatteet kvantitatiivisen tekstianalyysin ja laadullisen kirjallisuustutkimuksen perusteella vuonna 2016. Suunnitteluperiaatteet, jotka ovat esitettyinä kuvassa 4, kertovat ytimekkäästi teollisuus 4.0:n tarkoituksen.



**Kuva 4.** Teollisuus 4.0 suunnitteluperiaatteet, mukailten Hermann ym. (2016)

Perustava elementti teollisuus 4.0:ssa on useiden laitteiden ja ihmisten yhteen liittäminen. Erilaiset laitteet, kyberfyysiset systeemit, sensorit ja ihmiset yhdistetään tekniikoiden, kuten asioiden internetin kautta (Kumar ja Nayyar 2020). Näin objektit ja ihmiset pystyvät kommunikoimaan keskenään reaaliajassa, sekä keräämään dataa, joka myöhemmin voidaan analysoida päätöksentekoa ohjaavaksi tiedoksi. (Hermann ym. 2016)

Tiedon läpinäkyvyys on tärkeää tehokkaan päätöksenteon mahdollistamiseksi ja eri teknologioiden yhdistäminen luo suuren määrän saatavilla olevaa dataa, joka voi parantaa toiminnallisuutta ja edes ajaa innovaatiota. Tämä voidaan saavuttaa linkittämällä sensoridata digitaalisiin mallinnuksiin, jotka luovat virtuaalisen kopion fyysisestä maailmasta ja tarjoavat kontekstiin perustuvaa tietoa päätöksenteon tueksi. Tiedon läpinäkyvyyden luomiseksi on tärkeää analysoida raakadatan tulkinan avulla luotua tietoa ja jakaa tulokset kaikkien osallistujien käyttöön reaaliajassa. (Hermann ym. 2016)

Teollisuus 4.0 älykkäissä tehtaissa ihmisen päärooli siirtyy koneen käyttäjästä strategiseksi päätöksentekijäksi ja joustavaksi ongelmanratkaisijaksi. Tuotannon kasvavan monimutkaisuuden vuoksi, jossa kyberfyysiset järjestelmät muodostavat monimutkaisia verkostoja ja tekevät hajautettuja päätöksiä, ihmisiä on tuettava avustusjärjestelmillä. Näiden järjestelmien on aggregoitava ja visualisoitava tieto selkeästi, jotta ihmiset voivat tehdä perusteltuja päätöksiä ja ratkaista kiireellisiä ongelmia lyhyellä varoitusaajalla. (Hermann ym. 2016)

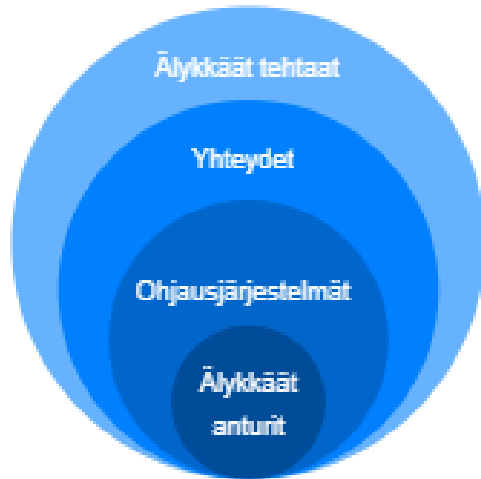
Hajautetussa päätöksenteossa päätöksen tekoa ei ole keskitetty yhdelle henkilölle tai ryhmälle, vaan päätöksentekijöitä on hajautettu useisiin eri yksiköihin tai tasoille. Tämä mahdollistaa päätöksenteon perustuen laajempaan tietoon, joka on kerätty eri lähteistä. Näin päätöksiä voidaan tehdä lähempänä niitä tilanteita, joissa ne on tehtävä. Hajautetut päätökset perustuvat esineiden ja ihmisten väliseen yhteyteen, sekä tiedon avoimuuteen tuotantolaitoksen sisä- ja ulkopuolelta. Yhdistelmä yhteydessä olevia ja hajautettuja päätöksentekijöitä mahdollistaa paikallisen ja globaalin tiedon samanaikaisen hyödyntämisen parempaan päätöksentekoon ja kokonaistuottavuuden kasvattamiseen. Vain poikkeustapauksissa, häiriötilanteissa tai ristiriitatilanteissa tehtävät siirtyvät korkeammalle tasolle (Kumar ja Nayyar 2020). (Hermann ym. 2016)

## 2.2 Elementit

Kumar ja Nayaar (2020) ovat jakaneet teollisuus 4.0:n neljään fyysiseen elementtiin, jotka muodostavat teollisuus 4.0:n perustan. Nämä elementit ovat esitettynä kuvassa 5. Älykkäät anturit ovat esitettynä ensimmäisenä kehityskerroksena teollisuus 4.0:ssa. Ne pystyvät keräämään dataa fyysisestä ympäristöstään, esimerkiksi lämpötilasta ja ilmankosteudesta, reaaliajassa. Ohjausjärjestelmät toimivat tuotantoprosessin aivoina, valvoen tehtaiden toimintaa. Älykkäät anturit kommunikoivat ohjausjärjestelmien kanssa, mahdollistaen joustavan ja optimaalisen tuotantoprosessin (Pramanik ym. 2020). Ohjausjärjestelmien avulla voidaan esimerkiksi valvoa reaaliajassa tuotantolaitoksen energiankulutusta.

Erilaisia teknologioita, kuten internetiä, reitittämiä ja palvelimia käyttämällä luodaan tuotantolaitoksiin yhteyksiä. Näitä yhteyksiä käyttämällä eri laitteet ja järjestelmät pystyvät kommunikoimaan keskenään ja jakamaan kerättyä dataa. Kommunikoinnin avulla pystytään merkittävästi parantamaan varaston kiertonopeutta ja vähentämään koneiden käyttämättömänä oloaika (Pramanik ym. 2020). Älykkäät tehtaet ovat teollisuus 4.0:n sydän. Ne

mahdollistavat joustavan tuotannon, itseoptimoinnin ja oppimisen reaaliaikaisista olosuhteista. Nämä toiminnot ovat mahdollisia uusien teknologioiden ansiosta. Näitä teknologioita käsitellään seuraavassa luvussa. (Kumar ja Nayyar 2020)



**Kuva 5.** Fyysiset elementit, mukailen Kumar ja Nayyar (2020)

### 2.2.1 Teknologiat

Tutkijat Kumar ja Nayyar (2020), Sharma ja Jain (2020), Vaidya ym. (2018), Ghadge ym. (2020) ovat tunnistaneet teollisuus 4.0:lle yhdeksän perusteknologiaa. Tunnistetuissa perusteknologioissa on kuitenkin eroavaisuuksia. Teknologiat on esitetty alla olevassa taulukossa siten, että ensimmäisessä osassa on teknologiat, jotka on mainittu kaikissa lähteissä tai lähes kaikissa lähteissä perusteknologioiksi. Toisessa osassa on teknologiat, jotka ovat muutoin havaittu tärkeiksi tämän työn kannalta.

**Taulukko 1.** Teollisuus 4.0 tärkeimmät teknologiat

Teknologia	Määritelmä
Big Data Analytiikka	Mahdollistaa organisaatioita parantamaan prosessien suorituskykyä, lisäämään joustavuutta ja parantaa tuotteiden mukauttamista keräämällä hyödyllistä tietoa suuresta data määrästä. (Ghadge ym. 2020)
Robottiikka	Robottiikan avulla voidaan valvoa koneiden olosuhteita, suorittaa vertailevaa analyysia ja diagnosoida sekä ennustaa vikoja. (Kumar ja Nayyar 2020)

Lisäävä valmistus	Uusien teknologioiden, kuten 3D tulostamisen avulla mahdollistetaan suuren mittakaavan yksilöityjen tuotteiden massatuotanto. (Sharma ja Jain 2020) (Kumar ja Nayyar 2020)
Teollinen esineiden internetti	Keskittetty ohjausjärjestelmä, joka kommunikoi ja vuoro vaikuttaa eri laitteiden ja järjestelmien kanssa. Mahdollistaa reaaliaikaisen jäljitettävyyden ja seurannan hajautetulla analytiikalla ja päätöksenteolla. (Ghadge ym. 2020)
Pilviteknologia	Tietojenkäsittelymalli, joka mahdollistaa monipuolisten internetpalveluiden tarjoamisen kustannustehokkaasti käyttäjälle (Kumar ja Nayyar 2020). Perustuu dynaamiseen muistinvaraukseen ja resurssien jakamiseen (Sharma ja Jain 2020).
Lisätty todellisuus	Mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon tarjoamisen käyttäjille erilaisten palveluiden, kuten varaosien valinnan ja mobiililaitteiden korjausohjeiden kautta. Se mahdollistaa virtuaalisten mallien luomisen monimutkaisten projektien yhteydessä, jotka ovat helposti jaettavissa ja ymmärrettävissä. (Sharma ja Jain 2020)
Tietoturva	Tietotekniikan haara, joka tarjoaa tietokonejärjestelmille suojausta laitteiston, ohjelmiston tai tiedon varkaudelta, sekä vahingoilta ja palvelujen häiriöiltä. (Kumar ja Nayyar 2020)
Horisontaalinen ja vertikaalinen integraatio	Tuotantojärjestelmien ja -prosessien yhdistäminen yrityksen sisällä, sekä yhteyksien luominen eri yritystasojen, kuten toimittajien ja asiakkaiden välillä. Integraatiot mahdollistavat tehokkaan kommunikoinnin ja joustavan valmistusprosessin. (Kumar ja Nayyar 2020)
Tekoäly	Tieteenala, joka käsittelee mukautuvaa ja kollektiivista älykkyyttä hyödyntämällä tehokkaita työkaluja ja teknologioita, kuten kone- ja syväoppimista, jotta voidaan kerätä arvokasta reaaliaikaista tietoa tarvittaessa. (Sharma ja Jain 2020)
Business intelligence	Teknologioiden kokonaisuus, joka kerää, analysoi, tallentaa ja esittää liiketoiminnan dataa eri lähteistä, jotta siitä voidaan muodostaa merkityksellistä ja arvokasta informaatiota päätöksenteon tueksi. (Ghadge ym. 2020)
Digitaalinen kaksonen	Fyysisten kohteiden käyttöä simuloiva digitaalinen malli, joka koostuu kolmesta osasta: reaali maailman kohteista, virtuaalisista malleista ja niitä yhdistävästä tiedosta. Digitaaliset kaksoisolentomallit auttavat ymmärtämään todellisuutta erilaisissa ympäristöissä ja testitilanteissa.

	(Pramanik ym. 2020)
Lohkoketjut	Lohkoketju on hajautettu tietokantajärjestelmä, joka toimii avoimena kokoelmana tapahtumien tallentamiseen ja hallintaan. Jokainen tapahtuma tallennetaan lohkona, joka sisältää aikaleiman ja linkin edelliseen tapahtumaan. Lohkoketju varmistaa tapahtumien eheyden, mutta analyysiin tarvitaan suuria tietomääriä, joita voidaan käyttää mallien kouluttamiseen kuluttajien kulutustottumusten tunnistamiseksi ja riskialttiiden tapahtumien varoittamiseksi. (Pandey ja Sharma 2020)

### 2.3 Teollisuus 4.0 hyödyt ja haasteet teollisuudessa

Teollisuus 4.0:n avulla voidaan parantaa ja nopeuttaa tiedonkulkua eri osastojen välillä, sillä uudet teknologiat mahdollistavat reaaliaikaisen tiedonkeräämisen, -analysoinnin ja -siirtämisen (Pramanik ym. 2020). Teollisuus 4.0:n teknologioiden avulla tuotantoteknologiaa voidaan ohjelmoida joustavasti vastaamaan erilaisiin tarpeisiin ja tilanteisiin. Tämä mahdollistaa yksilöllistetyt mukautukset tuotantoon, resurssien ja kapasiteetin dynaamisen jakamisen, sekä tuotannon monimutkaisuuden vähentämisen. Näiden etujen avulla voidaan saavuttaa nopeampia, edullisempia, helpompia, sekä monipuolisempia tuotantoprosesseja. (Mohamed 2018)

Teknologioita hyödyntämällä pystytään myös vähentämään tuotannon ja logistiikan kustannuksia arvioidusti 10–30 %, ja laadunhallinnan kustannuksia 10–20 % (Kumar ja Nayyar 2020). Myös kompleksisuudesta syntyvät kustannukset pienenevät, kun tiedonkulku helpottuu. Kustannuksia vähentää myös uusien teknologioiden mahdollistama joustava ja räätälöitävä massatuotanto, sekä ennakoivan huollon parantuminen (Pramanik ym. 2020). Hyvien asiakassuhteiden ylläpitäminen helpottuu, kun reaaliaikaisen ja läpinäkyvän tiedon avulla muutoksista ja aikatauluista pystytään koordinoimaan asiakkaita ja muita osapuolia nopeasti (Kumar ja Nayyar 2020).

Monien hyötyjen lisäksi teollisuus 4.0 tuo mukanaan myös haasteita. Älykkäistä antureista, tuote, logistiikka- ja laitostiedoista kerätyn datan määrä kasvaa jatkuvasti. Tämän datan analysointi, tallentaminen ja käsittely vaativat toimenpiteitä, kuten uusia algoritmeja ja vanhojen ohjelmistojen uusimista, jota dataa saadaan hyödynnettyä (Khan ja Turowski

2016). Yhdistettäessä dataa eri tietolähteistä, tietokantoihin muodostuu suuri määrä toistuvia tietoja, mikä aiheuttaa ongelmia tietokannan hallintaan ja tietojen analysointiin (Kumar ja Gupta 2020). Datan hallinnan vaikeuksia voidaan ratkaista muilla teollisuus 4.0:n ominaisuuksilla, kuten tekoälyllä. Teollisuus 4.0:n teknologioiden käyttöönotossa haasteena on myös vanhemman ikäryhmän henkilöstön kohdalla uusien laitteiden ja teknologioiden oppimisen vaikeus. Myös henkilöstön suuri vaihtuvuus hidastaa uusien teknologioiden implementointi prosessia. (Khan ja Turowski 2016)

Teollisuus 4.0 vaatii tuotannolta joustavuutta, jotta tuotteita voidaan räätälöidä helposti. Järjestelmiä päivitetään osasto kerrallaan ilman yhtenäisiä standardeja, mikä tekee järjestelmästä monimutkaisen ja kalliin. Tuotantolaitosten kaikkien moduulien standardointi ja synkronointi on tarpeen, jotta joustavuus saavutetaan tehokkaasti. Yksi isoimmista haasteista teollisuus 4.0:ssa on tietoturvallisuus. Pilvipohjaiset laitteet ovat hyvin alttiita hakkeroinnille. Kaikkia laitteita, olivatpa ne älypuhelimia, tietokoneita tai teollisuuskoneita, on päivitettävä säännöllisin väliajoin uhkien minimoimiseksi (Khan ja Turowski 2016). Yksinkertainenkin virus voi tunkeutua mistä tahansa älylaitteesta tuotantoympäristöön ja vaikuttaa tuotteeseen, sekä tuotantolaitoksen järjestelmiin, pahimmillaan sekoittaen koko tuotannon. (Kumar ja Gupta 2020)

### 3 Teollisuus 4.0 vaikutukset toiminnanohjausjärjestelmissä

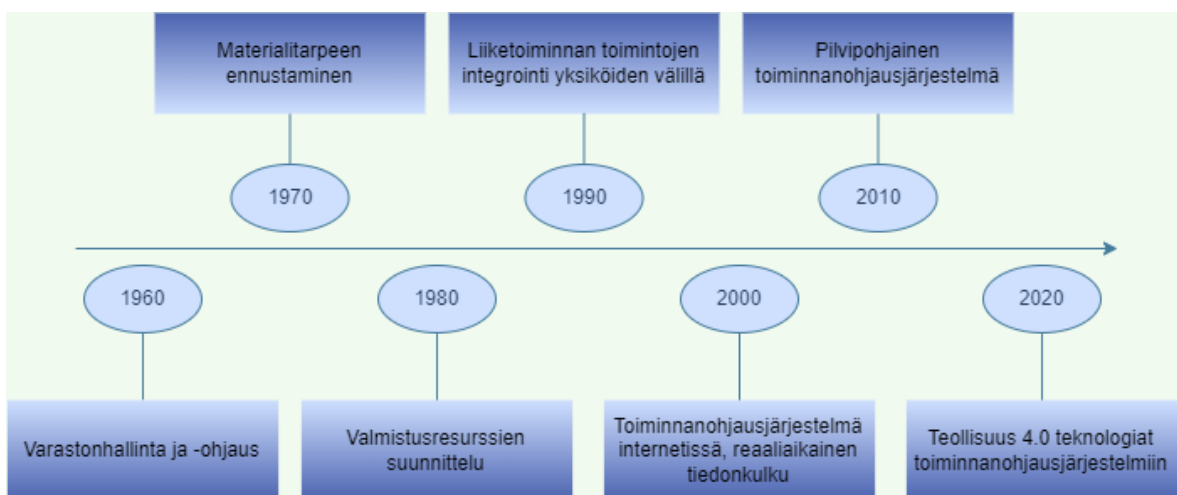
Kuten edellisessä osassa käsiteltiin, teollisuus 4.0 käyttää useita kehittyneitä työkaluja ja teknologioita, joiden avulla perinteisiä teollisuusprosesseja voidaan määritellä uudelleen. Toimitusketjut ovat ottamassa ison harppauksen kohti digitaalista, automatisoitua ja joustavaa toimintaa. Tämän päivän digitaaliset toiminnanohjausjärjestelmät käyttävätkin monia eri teknologioita kehittääkseen tehokkaita, läpinäkyviä, sopeutuvia ja kestäviä järjestelmiä. (Ghadge ym. 2020).

#### 3.1 Toiminnanohjausjärjestelmät

Jo vuosikymmenien ajan yritykset ovat turvautuneet toiminnanohjausjärjestelmiin organisaation toimintojen hallinnassa. Toiminnanohjausjärjestelmät ovat tietojärjestelmiä, jotka yhdistävät organisaation eri toimintoja ja prosesseja. Niiden tarkoituksena on luoda arvoa ja vähentää kustannuksia tarjoamalla oikeaa tietoa työntekijöille oikeaan aikaan. Vuonna 2022 95 % yrityksistä, jotka ovat ottaneet käyttöönsä toiminnanohjausjärjestelmän, sanoivat sen parantaneen yrityksen prosessien toimivuutta (Biel 2022). Toiminnanohjausjärjestelmät perustuvat jaettuun tietokantaan, joka mahdollistaa organisaation prosessien hallinnan tukemalla useita toimintoja ja integroimalla useita sovelluksia (Habadi ym. 2017). Tavoitteena on mahdollistaa parhaiden päätösten tekeminen organisaation pääoman hallitsemiseksi rakentavalla ja tehokkaalla tavalla. (Owusu ym. 2022)

Toiminnanohjausjärjestelmien kehityksen katsotaan alkaneen 1960-luvulla. Tällöin tuotantosteemeissä keskityttiin varastonhallintaan ja siihen, miten suuria tarvikemääriä voitaisiin hallita mahdollisimman tehokkaasti. Tässä ajassa ensimmäiset sovellukset automatisoivat manuaalisia tehtäviä, kuten kirjanpitoa, laskutusta, varastonhallintaa ja uudelleentilaamista (Vučković ym. 2018). 1970-luvulla järjestelmät kehittyivät standardoiduksi materiaaltarve-ennusteeksi (engl. material requirements planning, MRP), joka käytti ohjelmistoja valmistusprosessien aikataulutukseen ja raaka-ainehankintoihin liittyviin toimintoihin. 1980-luvulla kehittynyt valmistuksen resurssien suunnittelu (MRP II) käytti ohjelmistoja valmistusprosessien koordinointiin tuote- ja osasuunnittelussa, osien hankinnassa ja varaston hallinnassa, sekä tuotteen jakelussa. (Lalic ym. 2020)

1990-luvulla järjestelmät kehittyivät toiminnanohjausjärjestelmiksi. Järjestelmillä pystyttiin parantamaan sisäisten liiketoimintaprosessien suorituskykyä integroimalla liiketoimintoja, kuten suunnittelu, ostot ja jakelu, eri toiminnallisten osastojen yli (Lalic ym. 2020). 2000-luvulla toiminnanohjausjärjestelmät kehittyivät käytettäväksi internetissä. Internetin avulla toiminnanohjausjärjestelmät tarjoavat reaaliaikaista tietoa yrityksen sisällä, ja parantavat kommunikaatiota yrityksen ulkopuolelle, kuten toimittajille. 2010-luvulta lähtien toiminnanohjausjärjestelmiä on kehitetty analysoimaan olemassa olevien ja potentiaalisten asiakkaiden ostotottumuksista kerättävää dataa pilvipalveluiden avulla. Nämä laajennetut markkina-analyysit mahdollistavat tuotannon sujuvan räätälöinnin asiakkaiden tarpeeseen. (Vučković ym. 2018)



**Kuva 6.** Toiminnanohjausjärjestelmien kehitys, mukailen Vučković ym. (2018) ja Lalic ym. (2020)

Toiminnanohjausjärjestelmien uusin aalto on teollisuus 4.0:n ominaisuuksien implementointi. Suurin osa toiminnanohjausjärjestelmien toimittajista ovat jo ottaneet joitain teollisuus 4.0:n ominaisuuksia käyttöön 2010-luvulla (Basl 2018). Teollisuus 4.0:n ominaisuuksien implementointi on kuitenkin vielä vaiheessa, minkä takia kuvassa 6 tämä aikakausi on sijoitettu 2020-luvulle. Teollisuus 4.0:n vaikutuksia toiminnanohjausjärjestelmiin käsitellään tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Toiminnanohjausjärjestelmät ovat hyödyllisiä liiketoiminnan tehostamisessa, mutta ne tuovat mukanaan omat haasteensa. Vuosien aikana kerätyn datan perusteella jopa puolet toiminnanohjausjärjestelmien toteutuksista epäonnistuu ensimmäisellä yrityksellä, ja toteutuskustannukset voivat nousta jopa nelinkertaisiksi alkuperäiseen budjettiin verrattuna (Biel 2022). Epäonnistumiseen johtavia tekijöitä ovat muun muassa liian raskas mukauttamistyö, heikko liiketoimintaprosessien uudelleenjärjestely, alhainen konsulttien laatu ja ylimmän johdon tuen puuttuminen (Bender ym. 2021). Budjetin ylityksiä aiheuttaa myös käytettävyyden parantamiseksi tehtävät muokkaukset (Biel 2022).

Yrityksillä voi olla vaikeuksia saavuttaa järjestelmän käyttöönoton hyötyjä, jos yrityksillä ei ole riittävää osaamista hyötyjen määrittelyssä, tai menestyksen ja epäonnistumisen seurannassa. Tämän takia avainkäyttäjillä on tärkeä rooli tietämyksen hallinnassa hyötyjen saavuttamiseksi käyttövaiheessa (Bender ym. 2021). Käyttäjien mukaan isoimpia haasteita toiminnanohjausjärjestelmissä ovat tiedon tarkkuus, käyttäjäkokemus ja analytiikka. Ongelmat aiheutuvat usein huonosta projektinhallinnasta, kyvyttömyydestä hallita toteutuskustannuksia ja -kestoja, sisäisestä vastustuksesta uusille järjestelmille, ohjelmistojen integrointiongelmista, sekä huonosta tiedon laadusta. Uusien teknologioiden avulla pyritään ratkaisemaan ainakin osa näistä ongelmista, ja parantamaan toiminnanohjausjärjestelmien laatua ja ominaisuuksia. (Biel 2022)

### 3.2 Teollisuus 4.0:n käytetyimmät teknologiat toiminnanohjausjärjestelmissä

Tässä luvussa käsitellään teollisuus 4.0:n eri teknologioiden tuomia hyötyjä, haasteita ja nykytilaa toiminnanohjausjärjestelmissä. Artikkeleita yksittäisistä teollisuus 4.0:n ominaisuuksista ja niiden vaikutuksesta toiminnanohjausjärjestelmiin on tehty kattavasti suhteessa aiheen uutuuteen. Tutkimuksia teollisuus 4.0:n teknologioiden implementoinnin tasosta toiminnanohjausjärjestelmissä on kuitenkin tehty vain muutamia.

Basl ja Novakova (2019), sekä Basl (2018) ovat yksiä aiheita jo tutkineita. Molemmat tutkimukset tarkastelevat toiminnanohjausjärjestelmien teollisuus 4.0:n ominaisuuksien implementointia. Tutkimukset ovat suoritettu Tšekin tasavallassa. Baslin (2018) mukaan Tšekin tasavalta on hyvä kohdema tutkimukselle, sillä siellä on korkein teollisuustuotannon osuus taloudesta Euroopan unionissa. Tšekin tasavallassa toiminnanohjausjärjestel-

mien käyttöönotto on myös korkea, lähes 60 % keskisuurista yrityksistä ja yli 80 % suurista yrityksistä käyttää toiminnanohjausjärjestelmiä (Basl 2018). Varsinkin isoimmat toiminnanohjausjärjestelmien toimittajat tarjoavat saman järjestelmän globaalisti, joten tutkimusten tuloksia voidaan jollain tasolla soveltaa myös maailmanlaajuisesti.

Baslin vuonna 2018 tekemään tutkimukseen oli pyydetty 75 Tšekin tasavallassa toimivaa toiminnanohjausjärjestelmien toimittajaa, joista 15 osallistui tutkimukseen, eli vastausprosentti oli 20 %. Baslin ja Novakovan vuonna 2019 tekemään tutkimukseen osallistui 26 toiminnanohjausjärjestelmien toimittajaa 86:sta, eli vastausprosentti oli 30,2 %. Osallistuneiden toiminnanohjausjärjestelmien määrien ero selittää tutkimuksien tuloksissa ilmenevät erot.

**Taulukko 2.** Toiminnanohjausjärjestelmissä käytetyimmät teollisuus 4.0 teknologiat vuonna 2019 (Basl ja Novakova 2019)

	Käytössä	Käyttöön seuraavan 2 vuoden aikana	Käyttöön seuraavan 5 vuoden aikana	Ei suunnitelmia käytöstä
Pilviteknologia	65,4 %	7,68 %	11,52 %	15,4 %
Esineiden internetti	26,9 %	23,1 %	15,4 %	34,6 %
Tekoäly	23,1 %	23,1 %	19,2 %	34,6 %

Baslin ja Novakovan (2019) taulukossa 2 esitetyn tutkimuksen mukaan käytetyimmät teollisuus 4.0:n trendit toiminnanohjausjärjestelmissä ovat pilviteknologia, esineiden internetti sekä tekoäly. Muita toiminnanohjausjärjestelmissä näkyviä trendejä ovat digitaaliset kaksoiset, lohkoketjuteknologia, big datan analysointi, ja mobiili toiminnanohjausjärjestelmä.

Tutkimuksen mukaan 65,4 % toiminnanohjausjärjestelmistä ovat pilvipohjaisia. Suurin osa pilvipohjaisista toiminnanohjausjärjestelmistä tarjoavat täyden toiminnallisuuden pilviratkaisuna, noin 6 % tarjoaa hybridi ratkaisua, ja noin 20 % tarjoaa molemmat vaihtoehdot. Noin puolet toiminnanohjausjärjestelmien tarjoajista, joilla ei ole vielä pilvipohjaista tarjontaa suunnittelevat tarjoavansa pilvipohjaisia ratkaisuja viimeistään vuoteen 2024 mennessä. Esineiden internettiä hyödynsi huomattavasti pienempi osa toiminnanohjausjärjes-

telmistä, vain 26,9 %. Kuitenkin 38,5 % vastanneista on tuomassa esineiden internetin toiminnanohjausjärjestelmiinsä. Tekoälyä hyödyntää vain 23,1 % vastanneista, mutta esineiden internetin tavoin suuri osa (42,3 %) suunnittelee sen hyödyntämistä tulevaisuudessa.

**Talukko 3.** Toiminnanohjausjärjestelmissä käytetyimmät teollisuus 4.0 teknologiat vuonna 2018 (Basl 2018)

	Käytössä	Käyttöön seuraavan 2 vuoden aikana	Käyttöön seuraavan 5 vuoden aikana	Ei suunnitelmia käytöstä
Mobiili toiminnanohjausjärjestelmä	73 %	0 %	20 %	7 %
Pilviteknologia	73 %	0 %	0 %	27 %
Big data	60 %	7 %	20 %	13 %
Esineiden internetti	47 %	13 %	33 %	7 %

Baslin vuonna 2018 taulukossa 3 esitetyn tutkimuksen mukaan mobiilit toiminnanohjausjärjestelmät ja pilviteknologia olivat eniten käytetty teollisuus 4.0:n ominaisuus toiminnanohjausjärjestelmissä, 73 % vastanneista toiminnanohjausjärjestelmien toimittajista käyttävät näitä teknologioita järjestelmissään. Big data ja esineiden internetti ovat myös laajasti käytössä. Muita tutkimuksessa nousseita käytössä olevia teknologioita ovat digitaalinen tuotanto, lisäävä valmistus ja tietoturva.

Tutkimuksissa esitettyjä teknologioiden käyttöprosentteja voidaan pitää korkeintaan suuntaa antavina. Tutkimuksista ei myöskään ilmene teknologioiden todellinen käyttöaste, sillä teknologioita on tarkasteltu toiminnanohjausjärjestelmä kohtaisesti käyttömäärien sijaan. Molempia tutkimuksia voidaan kuitenkin pitää kohtuullisen luotettavina käytetyimpien teknologioiden tunnistamiseen alhaisesta vastausprosentista huolimatta, sillä isoimmat toiminnanohjausjärjestelmien toimittajat, kuten SAP ja Microsoft, osallistuivat tutkimuksiin. Tulosten luotettavuutta tukee myös se, että niissä nousi esiin useita samoja teknologioita.

kahden tutkimusten lisäksi toiminnanohjausjärjestelmien kannalta tärkeimpien teollisuus 4.0:n teknologioiden tunnistamiseen on hyödynnetty myös aihetta tutkivia artikkeleita.

Tutkijoiden Al-Amin ym. (2022), Lalic ym. (2020), Biel (2022) ja Vimukthi (2022) artikkeleissa on tunnistettu tärkeimmiksi teknologioiksi esineiden internetti, mobiili toiminnanohjausjärjestelmä, tekoäly, lohkoketjut ja big data. Muita mainittuja teknologioita olivat business intelligence ja kyberfyysiset järjestelmät. Tarkasteltujen tutkimusten ja kirjallisuuskatsausten perusteella tällä hetkellä eniten toiminnanohjausjärjestelmissä vaikuttavat teollisuus 4.0:n teknologiat ovat *pilviteknologia*, *esineiden internetti*, *tekoäly*, *mobiili toiminnanohjausjärjestelmä*, *big data* ja *lohkoketjut*. Vaikka nämä teknologiat on eritelty tässä työssä selkeyden vuoksi, todellisuudessa niitä hyödynnetään rinnakkain parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Seuraavaksi teknologiat ja niiden vaikutukset toiminnanohjausjärjestelmissä esitettynä tarkemmin.

### **Pilviteknologia**

Pilviteknologia mahdollistaa toiminnanohjausjärjestelmien käytön internetin välityksellä. Toiminnanohjausjärjestelmien toimittajat ja kehittäjät kääntyivät pilvipohjaisten toiminnanohjausjärjestelmien puoleen, koska perinteiset toiminnanohjausjärjestelmät olivat liian kalliita useimmille pienille ja keskisuurille yrityksille. Pilvipohjaisia toiminnanohjausjärjestelmiä alkoi tulla markkinoille 2010-luvun alussa. Vuonna 2022 yli puolet toiminnanohjausjärjestelmiä käyttävistä yrityksistä käyttävät pilvipohjaista versiota (Biel 2022). Pilvipohjaisen toiminnanohjausjärjestelmän tarkoituksena on käyttää paremmin käytettävissä olevia resursseja ja mahdollistaa suurien tietomäärien käsittelyn minimaalisin kustannuksin. Kaikki tiedot, muisti, prosessointi, ylläpito ja turvallisuusjärjestelmät pysyvät isännän pilviserverissä. Pilvipohjaisen toiminnanohjausjärjestelmän komponentit, kuten laitteisto, ohjelmisto ja verkkoyhteys, tarjotaan palveluna asiakasyritykselle. Tämä tarkoittaa, että pilvipohjaisen toiminnanohjausjärjestelmän avulla yritykset voivat käyttää järjestelmiä edullisesti, skaalata niitä tarvittaessa ja hyödyntää niitä pilviteknologian tarjoamien etujen, kuten nopeampi tiedonsiirto ja parempi kyky käsitellä suuria tietomääriä -avulla. (Al-Amin ym. 2022)

Sonnyn ja Moutazin (2018) mukaan pilvipohjaiset toiminnanohjausjärjestelmät voivat olla jopa 15 % halvempia ja niiden toteutus 50–70 % nopeampaa, verrattuna normaaleihin toiminnanohjausjärjestelmiin. Vaikka pilvipohjaiset toiminnanohjausjärjestelmät ovat nopeita käynnistää, vaativat ne silti huomattavasti aikaa organisaation sopeuttamiseen ja kouluttamiseen (Sørheller ym. 2018). Sørheller ym. tekemän tutkimuksen mukaan tietoturva on yksi isoimmista huolenaiheista pilvipohjaisissa toiminnanohjausjärjestelmissä. Lisäksi jär-

jestelmän ylläpitoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta sen toimivuus säilyy pitkän aikaa (Sonny ja Moutaz 2018). Kaiken kaikkiaan pilvipohjaiset toiminnanohjausjärjestelmät tarjoavat monia etuja perinteisiin järjestelmiin verrattuna, mutta niiden käyttöönotto vaatii huolellista suunnittelua ja valmistelua. Jos käyttöönotto ja ylläpito hoidetaan hyvin, nämä järjestelmät voivat tarjota pitkän käyttöiän ja parantaa yrityksen liiketoiminnan tehokkuutta ja tuottavuutta.

### **Esineiden internetti**

Esineiden internetin hyödyntämisen teollisuudessa mahdollistaa sensorit, joita asennetaan fyysisiin tuotteisiin, koneisiin ja laitteisiin. Sensorit pystyvät tallentamaan ja käsittelemään tietoa, sekä välittämään sen eteenpäin järjestelmissä (Strange ja Zucchella 2017). Suurin kilpailuetu saavutetaan, kun kerättyä reaaliaikaista dataa hyödynnetään päätöksenteossa (Bughin ym. 2015). Esineiden internettiä käytetään toiminnanohjausjärjestelmissä varastotason seuraamiseen, ennakoivaan kunnossapitoon, paikannukseen ja toimitusten seurantaan, sekä tuotannon suunnitteluun (Basl ja Novakova 2019).

Bughin ym. (2015) ovat ennustaneet, että esineiden internetin hyödyntäminen ennakoivassa kunnossapidossa voi vähentää laitteistojen huoltokustannuksia jopa 40 % ja suunnitelmattomia käyttökatkoksia puoleen. Bughin ym. mukaan varastonhallinnassa esineiden internettiä voidaan hyödyntää muun muassa älykkäillä kameroilla, jotka mittaavat tuotteiden määrän ja tilaavat automaattisesti lisää tuotteita tarpeen vaatiessa. Muita esineiden internetin tuomia hyötyjä ovat kilpailukyvyyn säilyttäminen, reaaliaikaisen datan avulla tapahtuva asiakaspalvelun parantaminen, manuaalisten tehtävien automatisointi, tarkempi ennustaminen ja toiminnan tehostaminen. Esineiden internetin avulla voidaan myös parantaa kommunikaatiota toimittajien ja asiakkaiden kanssa, mikä vähentää virheitä ja hukkaa ja tekee toimitukset justa tehokkaamman ja ketterämmän. (Thilakarathne ym. 2022)

Esineiden internetin käytön haasteena on tietoturvariskit. Hyödyntäessään esineiden internettiä, yritysten on asennettava jopa miljoonia sensoreita laitteisiin ja tuotteisiin. Jokainen sensori toimii potentiaalisena hyökkäyspisteenä, mikä riskeeraa koko järjestelmän toimivuuden. Yritysten on arvioitava kaikki riskit integroidusti ja luotava laaja puolustusjärjestelmä, johon hakkerien on vaikea tunkeutua. (Bughin ym. 2015)

## **Tekoäly**

Koneohjattu tekoäly kykenee suorittamaan ihmisten älykkyyteen yleisesti liittyviä tehtäviä ja käyttämään ihmisen kaltaisia älyllisiä prosesseja, kuten ymmärtämistä, merkityksen löytämistä, yleistämistä ja aikaisemmista kokemuksista oppimista (Yathiraju 2022). Tekoälyn käyttäminen toiminnanohjausjärjestelmissä perustuu järjestelmän kapasiteettiin käyttää useita älykkäitä toimintoteknologioita. Tekoälyn toiminnallisuuksia ovat muun muassa toistuvien toimintojen automatisointi, syväoppiminen, sekä virheiden tunnistaminen tuotannossa (Moll ja Yigitbasioglu 2019). Tekoälyä käyttävät toiminnanohjausjärjestelmät hyödyntävät teknologiaa ennakoivaan varastonhallintaan ja kunnossapitoon, tietojen analysointiin ja käsittelyyn, päätöksenteon tukemiseen, keskusteleviin järjestelmiin, sekä digitaalisiin avustajiin (Basl ja Novakova 2019). Tekoälyn käyttö toiminnanohjausjärjestelmissä lisää yritysten taloudellista tuottavuutta, yksinkertaistaa ja sujuvoittaa työntekijöiden tehtäviä, helpottaa uusien teknologioiden käyttöönottoa ja tehostaa vuorovaikutusta (Yathiraju 2022). Vuonna 2022 vain 10 % yrityksistä on käytössä toiminnanohjausjärjestelmä, joka hyödyntää tekoälyä. Samalla 80 % järjestelmien kehittäjistä ennustavat tekoälyn korvaavan huomattavan määrän toiminnanohjausjärjestelmien prosesseista lähitulevaisuudessa (Biel 2022).

## **Lohkoketjut**

Lohkoketjuja voidaan käyttää parantamaan toiminnanohjausjärjestelmiä, erityisesti toimitusketjun hallintaa, pitämällä tuotantotiedot ja -historia jaettuna kaikkien osapuolten kesken. Asiakkaat, toimittajat ja jälleenmyyjät voivat seurata tuotteiden koko elinkaarta, mikä lisää yrityksen luotettavuutta ja läpinäkyvyyttä. Lohkoketjut mahdollistavat myös automatisoidut sopimukset ja varmistavat tietojen turvallisuuden salauksen avulla. Lohkoketjujen avulla voidaan parantaa teollisuuden toiminnanohjausjärjestelmiä, kuten logistiikkaa ja varastonhallintaa, sekä pienentää kustannuksia. Lohkoketjut ovat disruptiivinen teknologia, joka on yleistymässä eri toimialoilla, ja sen käytön mahdollisuuksia tutkitaan jatkuvasti. (Riaz ym. 2023)

Garfinkelin (2018) mukaan haasteena lohkoketjujen käytössä yrityksen toiminnanohjausjärjestelmissä tai muissa liiketoimintaprosesseissa, ovat nykyisten lohkoketjuteknologioiden epäkypsyys. Lohkoketjut eivät ole vielä osoittautuneet luotettavaksi suurten ja tärkeiden toimintojen toteuttamisessa. Lisäksi monet nykyiset lohkoketjuihin pohjautuvat ratkai-

sut eivät toteuta kaikkia lohkoketjun ominaisuuksia, kuten erittäin hajautettua tietokantaa, mikä rajoittaa niiden potentiaalia. Tämän takia organisaatioiden, jotka valitsevat nämä ratkaisut, tulisi olla tietoisia rajoituksista ja valmistautua ajan mittaan siirtymään täydellisiin lohkoketjuratkaisuihin. Näistä haasteista huolimatta lohkoketjuilla on merkittävä mahdollisuus mullistaa teollisuutta mahdollistamalla luottamuksen, tarjoamalla läpinäkyvyyttä ja vähentämällä kitkaa liiketoimintaympäristöissä.

### **Big data analytiikka**

Big datan yleisin käyttökohde on ollut kuluttajien ostokäyttäytymisen ennustaminen, jolloin organisaatiot pystyvät paremmin optimoimaan liiketoimintaprosessejaan ja kohdentamaan mainontaa. Ostokäyttäytymisen ennustamiseen dataa kerätään muun muassa sosiaalisesta mediasta, verkkohauista ja älykelloista (Bandara ym. 2023). Samoja teknologioita on nyt alettu käyttämään myös toiminnanohjausjärjestelmistä kerätyn strukturoidun datan ymmärtämiseen (Shi ja Wang 2018; Kenge ja Khan 2020). Big datan keräämisen ja analysoimisen tarkoituksena on parantaa toiminnanohjausjärjestelmien tehokkuutta (Jayawickrama ym. 2016). Big data teknologiat eivät muuta toiminnanohjausjärjestelmien menetelmiä tai toiminnallisuutta, vaan ne parantavat myyntiennusteita, aikataulutusta ja toimitusketjun hallintaa (Bandara ym. 2023).

Big datan käytöllä toiminnanohjausjärjestelmissä on omat haasteensa. Liiketoimintojen kasvava monimutkaisuus vaikeuttaa toiminnanohjausjärjestelmien reagointia suureen tietomäärään. Huonosti hallinnoitu tieto lisää datan käsittelyn monimutkaisuutta, mikä heikentää toiminnanohjausjärjestelmien toimivuutta (Bandara ym. 2023).

### **Mobiilit toiminnanohjausjärjestelmät**

Mobiilin toiminnanohjausjärjestelmän kehittäminen on noussut nopeasti esiin kannettavien laitteiden ja langattoman internetin kehityksen myötä, joka mahdollistaa toiminnanohjausjärjestelmien käytön älypuhelimilla ja tablettitietokoneilla. Mobiilit toiminnanohjausjärjestelmät ovat lupaavia tulevaisuuden näkökulmasta, koska mobiililaitteiden käyttö on tullut väistämättömäksi osaksi 2000-lukua (Omar ja Gomez 2016). Mobiilin toiminnanohjausjärjestelmän idea esiintyi ensimmäisen kerran tutkimusartikkelissa jo vuonna 1998, mutta idean kehittyminen on kiihtynyt vasta 2010-luvulla. Pilvipohjainen toiminnanohjausjärjestelmä katsotaan mobiilin toiminnanohjausjärjestelmän edeltäjäksi, sillä sen tietokanta säilytetään pilvipalveluissa (Căilean ja Sharifi 2013). (Al-Amin ym. 2022)

Mobiilit toiminnanohjausjärjestelmät mahdollistavat yrityksille laadukkaamman palvelun, syvemmät liikesuhteet, tarkemman tiedonkeruun, sekä kaikista mullistavimpana datan käytön kaikista paikoista milloin tahansa. Esimerkiksi myyntiosaston työntekijä voi tarkistaa varastotason tai jopa tehdä myynnin kotona tai tien päällä matkustaessaan, sekä ilmoittaa asiakkaille nopealla aikataululla mahdollisista viivästyksistä. Mobiileilla toiminnanohjausjärjestelmillä pystytään siis lisäämään työntekijöiden tuottavuutta ja parantamaan asiakassuhteita. Mobiilien toiminnanohjausjärjestelmien haasteena on käyttöliittymien käytettävyyden takaaminen, sillä monimutkainen, jäykkä ja ylikuormitettu suunnittelu estää käyttäjiä käyttämästä laitetta tehokkaasti (Al-Amin ym. 2022). (Quirk 2018)

### 3.3 Toiminnanohjausjärjestelmien tulevaisuus

Tietojärjestelmien alan asiantuntijat ennustavat toiminnanohjausjärjestelmien jatkavan kasvuaan tulevaisuudessa. Markets and Markets (2019) tutkimuksen mukaan pilvipohjaisten toiminnanohjausjärjestelmien uskotaan kasvavan nopeammin kuin perinteisten järjestelmien. Pilvipohjaiset järjestelmät tarjoavat monia etuja, kuten nopeamman käyttöönoton, skaalautuvuuden, turvallisuuden, paremman mobiilikäytettävyyden ja mahdollisuuden käyttää uusimpia teknologioita. Al-Amin ym. (2022) ennustaa, että tulevaisuudessa kaikki toiminnanohjausjärjestelmät siirtyvät täysin pilvipohjaisiksi. Leen ym. (2017) tekemän tutkimuksen mukaan ainoa heikkous pilvipohjaisessa toiminnanohjausjärjestelmässä verrattuna normaaliin toiminnanohjausjärjestelmään on tietoturva. Tietoturva riskin välttämiseen on toiminnanohjausjärjestelmien keskityttävä järjestelmien parantamiseen.

Toiminnanohjausjärjestelmien odotetaan jatkavan muidenkin teollisuus 4.0:n ominaisuuksien implementointia tulevaisuudessa. Jo käytössä olevia teknologioita kehitetään jatkuvasti, ja uusia teknologioita otetaan käyttöön. Baslin (2018), sekä Baslin ja Novakovan (2019) tekemissä tutkimuksissa kävi ilmi, että tulevaisuudessa toiminnanohjausjärjestelmät suuntautuvat yhä enemmän tekoälyyn, esineiden internetiin, pilvipohjaisuuteen, big datan hyödyntämiseen ja mobiileihin järjestelmiin.

Tulevaisuudessa toiminnanohjausjärjestelmät pystyvät analysoimaan myös järjestelemättöä dataa kehittyvien big data teknologioiden avulla. Big dataa tullaan käyttämään myös ennustavien analyysien tueksi (Kenge ja Khan 2020). Baslin ja Novakovan (2019) tekemän tutkimuksen mukaan tulevaisuudessa odotetaan, että toiminnanohjausjärjestelmillä voi

kommunikoida äänikomentojen avulla. Tämä nopeuttaisi prosesseja, sillä henkilö voi sanoa jopa 150 sanaa minuutissa, mutta kirjoittaa vain 40. Lisäksi äänivuorovaikutus on luonnollisempi, tehokkaampi ja kätevämpi ihmiselle. Siksi Basl ja Novakova (2019) ovat maininneet, ettei olisi mitään syytä olla kommunikoimatta toiminnanohjausjärjestelmien kanssa tällä tavalla.

## 4 Johtopäätökset

Tämän työn tavoitteena oli löytää tärkeimmät toiminnanohjausjärjestelmissä käytetyt teollisuus 4.0:n teknologiat, sekä näiden teknologioiden hyödyt, haasteet ja implementoinnin nykytila toiminnanohjausjärjestelmissä. Myös toiminnanohjausjärjestelmien tulevaisuuden suuntaa tarkasteltiin teollisuus 4.0 näkökulmasta. Työ alkaa aiheen pohjustuksella, käsittelemällä teoriaa teollisuus 4.0:sta ja toiminnanohjausjärjestelmistä. Tämän jälkeen käsitellään tutkimuskysymyksiä.

*Mitkä ovat toiminnanohjausjärjestelmissä käytetyimmät teollisuus 4.0:n teknologiat?*

Tätä tutkimuskysymystä varten käsiteltiin kahta Tšekin tasavallassa tehtyä tutkimusta, sekä useita artikkeleita. Aiheen käsittelyä vaikeutti se, että tutkimuksia aiheesta on tehty rajallisesti. Tutkimusten ja artikkeleiden pohjalta seuraavat teknologiat tunnistettiin käytetyimmiksi: pilviteknologia, esineiden internetti, tekoäly, mobiili toiminnanohjausjärjestelmä, big data ja lohkoketjut. Nämä teknologiat on mainittu lähes kaikissa aihetta käsittelevissä lähteissä, joita tähän työhön on käytetty.

*Miten teollisuus 4.0:n käytetyimmät teknologiat vaikuttavat toiminnanohjausjärjestelmiin?*

Teknologioiden vaikutuksista toiminnanohjausjärjestelmissä käsiteltiin teknologioiden tuomaa lisäarvoa, haittoja, sekä teknologioiden käyttökohteita. Pilvipohjaiset toiminnanohjausjärjestelmät laskevat huomattavasti toiminnanohjausjärjestelmän hintaa. Ne käyttävät pilviserveriä, jossa kaikki toiminnot sijaitsevat. Vaikka pilvipohjaiset järjestelmät ovat nopeita käynnistää, niiden käyttöönotto vaatii aikaa organisaation sopeuttamiseen ja kouluttamiseen. Esineiden internetin avulla voidaan optimoida tuotannon prosesseja, kuten ennakoivaa kunnossapitoa ja varastonhallintaa. Tämä tapahtuu älykkäillä sensoreilla, jotka keräävät reaaliaikaista tietoa ja välittävät sen eteenpäin järjestelmässä. Esineiden internet ja pilviteknologia tuovat mukanaan tietoturvariskin, jonka välttämiseksi on yrityksillä oltava laaja puolustusjärjestelmä.

Tekoäly tehostaa toiminnanohjausjärjestelmien toimintaa automatisoimalla toistuvia tehtäviä, tunnistamalla virheitä ja tukemalla päätöksentekoa. Tekoäly lisää yritysten taloudellista tuottavuutta, yksinkertaistaa työntekijöiden tehtäviä ja helpottaa uusien teknologioiden käyttöönottoa. Tekoälyn käyttö toiminnanohjausjärjestelmissä ennustetaan kasvavan tule-

vaisuudessa merkittävästi. Lohkoketjut ovat hajautettuja tietokantoja, jotka käyttävät saausalgoritmeja varmistaakseen transaktioiden validoinnin ja tallentamisen, sekä omaisuuden seurannan. Niitä voidaan käyttää parantamaan toiminnanohjausjärjestelmiä, erityisesti toimitusketjun hallintaa, mikä lisää yrityksen luotettavuutta ja läpinäkyvyyttä. Lohkoketjut mahdollistavat myös automatisoidut sopimukset ja varmistavat tietojen turvallisuuden saalauksen avulla. Haasteena lohkoketjujen käytössä on nykyisten teknologioiden epäkypsyys.

Toiminnanohjausjärjestelmistä kerättyä big dataa analysoidaan toiminnanohjausjärjestelmien tehokkuuden parantamiseksi. Big data teknologiat parantavat myyntiennusteita, aikataulutusta ja toimitusketjun hallintaa. Kasvava liiketoimintojen monimutkaisuus ja huonosti hallinnoitu tieto tuovat big datan käytölle omat haasteensa. Mobiilit toiminnanohjausjärjestelmät mahdollistavat toiminnanohjausjärjestelmien käytön älypuhelimilla ja tableteilla. Tämä tarjoaa yrityksille paremman palvelun tason, syvemmat liikesuhteet ja tarkemman tiedonkeruun, sekä mahdollisuuden käyttää dataa mistä ja milloin tahansa. Pilvipohjainen toiminnanohjausjärjestelmä toimii mobiilin toiminnanohjausjärjestelmän edeltäjänä.

#### *Miten teollisuus 4.0 tulee muokkaamaan toiminnanohjausjärjestelmiä tulevaisuudessa?*

Tulevaisuuden toiminnanohjausjärjestelmien ennustamisen tulokset olivat suppeat, mutta pääpointti on selkeä. Teollisuus 4.0 ominaisuuksien implementoinnin odotetaan jatkavan kasvua tulevaisuudessakin. Tämä sisältää muun muassa tekoälyn, esineiden internetin, pilvipohjaisuuden, big datan hyödyntämisen ja mobiilijärjestelmien lisääntymisen ja kehittämisen. Lisäksi odotetaan, että uusia teknologiota otetaan käyttöön. Esimerkiksi äänikomentojen avulla kommunikointi tulee yleistymään toiminnanohjausjärjestelmissä, mikä nopeuttaisi prosesseja ja tekisi niistä tehokkaampia ja kätevämpiä käyttäjilleen.

Työn tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina tunnistettujen teknologioiden ja niiden vaikutusten osalta. Aihetta on tutkittu vähän, ja järjestelmät kehittyvät jatkuvasti, joten käytetyimmät teknologiat voivat muuttua tämän työn tuloksista nopeallakin aikataululla. Jatkotutkimuksia aiheesta tarvitaan luotettavan tiedon saamiseksi. Tutkimuksissa olisi hyvä tarkastella toiminnanohjausjärjestelmien käyttämiä teollisuus 4.0:n teknologioita todellisen käyttöprosentin pohjalta. Jatkotutkimuksien kannalta mielenkiintoisia kohteita ovat myös teknologioiden lomittain käyttö ja yhteisvaikutukset.

## Lähteet

Al-Amin M., Hossain M.T., Islam M.J. ja Biwas S., (2022) History, Features, Challenges and Critical Success Factors of ERP in the ERA of Industry 4.0. *European Scientific Journal (Kocani)* 12.

Bandara F., Jayawickrama U., Subasinghage M., Olan F., Alamoudi H. ja Alharthi M., (2023) Enhancing ERP Responsiveness Through Big Data Technologies: An Empirical Investigation. *Information Systems Frontiers* 1: 1-25.

Basl J., (2018) Penetration of Industry 4.0 Principles into ERP Vendors' Products and Services – A Central European Study. *Lecture Notes in Business Information Processing* 310: 81-90.

Basl J., (2016) *Enterprise Information Systems and Technologies in Czech Companies from the Perspective of Trends in Industry 4.0*.

Basl J. ja Novakova M., (2019) *Analysis of Selected ERP 4.0 Features and Proposal of an ERP 4.0 Maturity Model*. Teoksessa: Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems. Toim. Doucek P., Basl J., Tjoa M., Raffai M., Pavlicek A. ja Detter K. Sveitsi: Springer International Publishing AG, 3-11.

Bender B., Bertheau C. ja Gronau N., (2021) *Future ERP Systems: A Research Agenda*. : SCITEPRESS - Science and Technology Publications.

Biel J., (2022) *60 Critical ERP Statistics: 2022 Market Trends, Data and Analysis*. Saatavilla: <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/erp/erp-statistics.shtml>.

Bughin J., Chui M. ja Manyika J., (2015) An executive's guide to the Internet of Things.

Căilean D. ja Sharifi K., (2013) Mobile ERP: A Literature Review on the Concept of Mobile ERP Systems. Master's Thesis in Informatics, Jönköping International Business School.

Dalenogare L.S., Benitez G.B., Ayala N.F. ja Frank A.G., (2018) The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics* 204: 383-394.

Garfinkel J., (2018) *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2019*. Saatavilla: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-10-15-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2019>.

Ghadge A., Er Kara M., Moradlou H. ja Goswami M., (2020) The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management* 31(4): 669-686.

Habadi A., Samih Y., Almehdar K. ja Aljedani E., (2017) An Introduction to ERP Systems: Architecture, Implementation and Impacts. *International Journal of Computer Applications* 167(9): 1-4.

Hermann M., Pentek T. ja Otto B., (2016) *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*. : IEEE 3928-3937.

Jayawickrama U., Liu S. ja Hudson Smith M., (2016) Empirical evidence of an integrative knowledge competence framework for ERP systems implementation in UK industries. *Computers in Industry* 82: 205-223.

Jazdi N., (2014) *Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0*.

Kenge R. ja Khan Z., (2020) A Research Study on the ERP System Implementation and Current Trends in ERP. *Shanlax International Journal of Management* 8(2): 34-39.

Khan A. ja Turowski K., (2016) *A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems*. : SCITEPRESS - Science and Technology Publications.

Kumar A. ja Nayyar A., (2020) *si3 -Industry: A Sustainable, Intelligent, Innovative, Internet-of-Things Industry*. Teoksessa: *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development*. Toim. Nayaar A. ja Kumar A. Cham, Sveitsi: Springer International Publishing, 1-21.

Kumar A. ja Gupta D., (2020) *Challenges Within the Industry 4.0 Setup*. Teoksessa: A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development. Toim. Nayaar A. ja Kumar A. Cham, Sveitsi: Springer International Publishing, 187-205.

Lalic B., Majstorovic V., Marjanovic U., von Cieminski G. ja Romero D., (2020) *ERP in Industry 4.0 Context*. Teoksessa: Advances in Production Management Systems. the Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems. Toim. Lalic B., Majstorovic V., Marjanovic U., von Cieminski G. ja Romero D. Sveitsi: Springer International Publishing AG, 287-294.

Lavingia K. ja Tanwar S., (2020) *Augmented Reality and Industry 4.0*. Teoksessa: A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development. Toim. Nayar A. ja Kumar A. Cham, Sveitsi: Springer International Publishing, 143-155.

Lee M.J., Wong W.Y. ja Hoo M.H., (2017) *Next Era of Enterprise Resource Planning System Review on Traditional on-Premise ERP Versus Cloud-Based ERP: Factors Influence Decision on Migration to Cloud-Based ERP for Malaysian SMEs/SMIs*. : IEEE 48-53.

MarketsandMarkets, (2019) *Cloud ERP Market by Component (Software and Services), Business Function (Accounting and Finance, Sales and Marketing, and Inventory and Order Management), Industry Vertical, Organization Size, and Region - Global Forecast to 2024*. Saatavilla: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/cloud-erp-market-190169866.html>.

Mohamed M., (2018) *Challenges and Benefits of Industry 4.0: An Overview*.

Moll J. ja Yigitbasioglu O., (2019) The role of internet-related technologies in shaping the work of accountants: New directions for accounting research. *The British Accounting Review* 51(6): 100833.

Omar K. ja Gomez J.M., (2016) *A Selection Model of ERP System in Mobile ERP Design Science Research: Case Study: Mobile ERP Usability*. : IEEE 1-8.

Owusu E., Akrong G. ja Shao Y., (2022) Overcoming the Challenges of Enterprise Resource Planning (ERP): A Systematic Review Approach. *International Journal of Enterprise Information Systems* 18(1): 1-41.

- Pandey H. ja Sharma A., (2020) *Big Data and Analytics in Industry 4.0*. Teoksessa: A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development. Toim. Nayaar A. ja Kumar A. Cham, Sveitsi: Springer, 57-72.
- Pramanik P.k.D., Mukherjee B., Pal S., Upadhyaya B.K. ja Dutta S., (2020) *Ubiquitous Manufacturing in the Age of Industry 4.0: A State-of-the-Art Primer*. Teoksessa: A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development. Toim. Nayaar A. ja Kumar A. Cham, Sveitsi: Springer International Publishing, 73-112.
- Quirk E., (2018) *The Latest Trends in Enterprise Resource Planning*. Saatavilla: <https://solutionsreview.com/enterprise-resource-planning/erp-trends-2018/>.
- Riaz R., Abrar S. ja Gul J., (2023) *Securing Supply-Chain Network with Blockchain*. Teoksessa: Advances in Information and Communication. Toim. Arai Koher. Saga, Japani, 243-258.
- Sharma A. ja Jain D.K., (2020) *Development of Industry 4.0*. Teoksessa: A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development. Toim. Nayaar A. ja Kumar A. Sveitsi: Springer, 23-38.
- Shi Z. ja Wang G., (2018) Integration of big-data ERP and business analytics (BA). *Journal of High Technology Management Research* 29(2): 141-150.
- Sonny D. ja Moutaz H., (2018) *Do Cloud ERP Systems Retire? an ERP Lifecycle Perspective*.
- Sørheller V.U., Høvik E.J., Hustad E. ja Vassilakopoulou P., (2018) Implementing cloud ERP solutions: a review of sociotechnical concerns. *Procedia Computer Science* 138: 470-477.
- Strange R. ja Zucchella A., (2017) Industry 4.0, global value chains and international business. *Multinational Business Review*.
- Su Y. ja Yang C., (2010) Why are enterprise resource planning systems indispensable to supply chain management? *European Journal of Operational Research* 203(1): 81-94.
- Thilakarathne K., Rathnasekara T., Wickramaarachchi R. ja Withanaarachchi A., (2022) *Examine the Impact of IoT for Supply Chain-Based Operations in ERP Systems: Systematic Literature Review*. : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE).

Tjahjono B., Esplugues C., Ares E. ja Pelaez G., (2017) What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? *Procedia Manufacturing* 13: 1175-1182.

Vimukthi L., Gamage M., Wickramaarachchi R. ja Withanaarachchi A., (2022) *Review of the State-of-the-Art of ERP 4.0 Systems.* : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE).

Vučković T., Berić D., Sekulić D., Lolić T. ja Stefanović D., (2018) *Evolution of ERP Systems in SMEs -Past Research, Present Findings and Future Directions Evolution of ERP Systems in SMEs - Past Research, Present Findings and Future Directions.*

Yathiraju N., (2022) Investigating the use of an Artificial Intelligence Model in an ERP Cloud-Based System. *International Journal of Electrical, Electronics and Computers* 7(2): 1-26.