



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Robotiikan vaikutus työllisyyteen

Taloustieteen kandidaatintutkielma

Laatija:

Roosa Airikkala

Ohjaaja:

KTM, FM Wilma Nissilä

12.12.2025

Turku

Opiskelijan lausunto tekoölyn käytöstä tähän tutkielmaan liittyen:

En ole käyttänyt tekoölyä hyödyntäviä työkaluja tätä tutkielmaa kirjoittaessani.

Olen käyttänyt tekoölyä hyödyntäviä työkaluja tätä tutkielmaa kirjoittaessani. Tämä käyttö on dokumentoitu tutkielman liitteessä. Vakuutan, että tekoölyä käytettiin yliopiston ohjeistuksen mukaisella tavalla.

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

Kandidaatintutkielma

Oppiaine: Taloustiede

Tekijä: Roosa Airikkala

Otsikko: Robotiikan vaikutus työllisyyteen

Ohjaaja: KTM, FM Wilma Nissilä

Sivumäärä: 27 sivua (+ liitteet 1 sivu)

Päivämäärä: 12.12.2025

Tiivistelmä

Tutkielmassa tarkastellaan robotiikan vaikutuksia työllisyyteen. Kiinnostuksen kohteena on, miten robotiikan käyttöönotto muuttaa työllisyyttä, erityisesti työvoiman kysyntää sekä työn tehtävärakenteita. Erityistä huomiota kiinnitetään siihen, millä tavoin robotit korvaavat ihmistyötä, millaisiin tehtäviin työvoima siirtyy, sekä miten talouden rakenne vaikuttaa työllisyysvaikutusten suuruuteen.

Aluksi käsitellään robotiikan roolia teollisuudessa ja robottien käyttöönottoon liittyviä syitä. Teoriaosiossa tarkastellaan työtehtävien rakenteellista muutosta, työmarkkinoiden polarisaatiota, yritysten päätöksiä investoida robotiikkaan, sekä miten korvaus-, täydentävyys- ja tuottavuusvaikutukset määrittävät robotiikan aiheuttamia työllisyysvaikutuksia. Lisäksi tarkastellaan työtehtävien jaottelua rutiini- ja ei-rutiinitehtäviin, ja sen merkitystä rakenteellisessa muutoksessa. Lopuksi käsitellään empiiristen tutkimusten kautta robotiikan vaikutuksia työllisyyteen ja työvoimaosuuteen, tehtävien rakenteeseen ja työmarkkinoiden polarisaatioon, sekä arvioidaan mistä erot vaikutuksissa maiden välillä johtuvat.

Tutkimustulokset osoittavat, että robotit vähentävät erityisesti rutiininomaisia töitä keskitason osaamisen ammateissa. Kokonaistyöllisyyteen tulokset ovat vaihtelevia. Esimerkiksi Yhdysvalloissa robotiikka on vähentänyt työllisyyttä, kun taas Saksassa menetettyjä työpaikkoja on kompensoinut työllisyyskasvu muilla kuin teollisilla aloilla. Maiden välisiä eroja työllisyydessä selittää muun muassa toimialarakenne, koulutusjärjestelmät ja maan vienti.

Avainsanat: robotiikka, työllisyys, automaatio, teknologinen kehitys, korvausvaikutus

SISÄLLYS

1	Johdanto	5
2	Teoreettiset mallit robotiikan vaikutuksista työllisyyteen	7
	2.1 Robotiikka teollisuudessa	7
	2.2 Robotiikan vaikutus työllisyyteen	8
	2.2.1 Työtehtävien rakenteellinen muutos	8
	2.2.2 Korvaus- ja täydentävyysvaikutukset	10
	2.2.3 Teoreettiset mallit robotiikan työllisyysvaikutuksista	11
3	Empiiriset tutkimukset	15
	3.1 Vaikutukset työllisyyteen ja työvoimaosuuteen	15
	3.1.1 Yhdysvaltoja koskevat tutkimukset	15
	3.1.2 Eurooppaa koskevat tutkimukset	16
	3.1.3 Aasiaa koskevat tutkimukset	17
	3.2 Tehtävarakenne ja työmarkkinoiden polarisaatio	19
	3.3 Maakohtaiset erot	20
	3.4 Johtopäätökset	22
4	Yhteenveto	24
	Lähteet	25
	Liitteet	28
	Liite 1 Selvitys tekoälyn käytöstä	28

1 Johdanto

Työmarkkinat ovat muuttuneet rakenteellisesti merkittävästi viime vuosikymmeninä teknologisen kehityksen seurauksena. Robotiikka on keskeisessä roolissa erityisesti teollisessa tuotannossa, jossa se tehostaa tuotantoa (Graetz & Michaels 2018). Viime aikoina on kuitenkin näkynyt lisääntymistä robotiikassa myös palvelualoilla (IFR 2024). Robotiikan vaikutukset näkyvät niin tuottavuudessa ja kilpailukyvyssä kuin myös työvoiman kysynnässä ja rakenteessakin. Robotit lisäävät tuotantoa, parantavat työturvallisuutta, vähentävät virheitä ja saattavat olla jopa halvempia kuin ihmistyövoima. (Graetz & Michaels 2018; Gihleb ym. 2020; Jung & Lim 2020.) Yleensä robotiikan käyttöönottoa perusteellaankin sen tarjoamalla hyödyillä. Samalla robotiikan käyttöönotto on lisännyt huolta työn korvautumisesta ja työmarkkinoiden polarisaatiosta, kun osa ihmisten töistä siirtyy koneiden tekemäksi (Pew Research Center 2018).

Väestön ikääntyminen kiristää työvoiman tarjontaa ja voi aiheuttaa työvoimapulaa. Tämä nostaa yritysten silmissä robotiikan käyttöönoton houkuttelevuutta, koska sen avulla voidaan pitää tuotantoa yllä niukallakin työvoimalla. (OECD 2019, 25.) Myös kilpailu edellyttää yrityksiltä jatkuvaa tuottavuuden parantamista. Yritykset, jotka robotiikan avulla kykenevät parantamaan tuotantoaan ja alentamaan tuotannon kustannuksia, ovat siis hyvässä kilpailuasemassa niihin yrityksiin nähden, jotka käyttävät vain ihmistyövoimaa. (Autor ym. 2020.) Yrityksille on myös nykyään kannattavampaa investoida roboteihin, koska niiden hinnoissa on ollut pitkään laskeva trendi. Teollisuusrobottien keskihinta laski vuosina 1990–2005 jopa 80 %. Halventuneet hinnat ovatkin yksi merkittävimmistä syistä robotiikan nopealle käyttöönotolle eri maissa. (Graetz & Michaels 2018, 18.) Yrityksille on siis enenevässä määrin houkuttelevaa investoida robotiikkaan ihmistyövoiman kustannuksella.

Robotiikan vaikutukset työllisyyteen eivät kuitenkaan ole selviä. Robotiikan käyttöönotto syrjäyttää ihmisiä joistain työtehtävistä, mutta samalla luo uusia tehtäviä toisaalla (Acemoglu & Restrepo 2019). Esimerkiksi työt robottien valvonnassa ja muissa ylläpidon tehtävissä luultavasti kasvavat (Arntz ym. 2016, 23). Robotiikka siis muuttaa talouden työvoimarakennetta. Yhteiskunnallisesti on tärkeää tutkia, miten tämä rakenne käytännössä muuttuu, sillä robotiikan aiheuttama muutos vaikuttaa siihen millaisia taitoja työelämässä tarvitaan, miten tulot jakautuvat väestöryhmien välillä ja millaisia politiikkatoimia tarvitaan, jotta teknologinen kehitys tukisi työllisyyttä. (OECD 2019, 70–71, 239.) Rutiinipainotteisissa ja vähemmän osaamista vaativissa tehtävissä työvoiman kysyntä voi heikentyä, kun taas enemmän osaamista vaativat työtehtävät saattavat yleistyä (Goos ym. 2014).

Tämä muuttaa osaamistarpeita työelämässä, mikä nostaa esiin kysymyksen siitä, tarvitaanko esimerkiksi uudenlaista kouluttautumista.

Tutkimuskirjallisuus aiheesta osoittaa, että robotiikan vaikutukset työllisyyteen vaihtelevat maittain ja toimialoittain. Teoreettiset mallit korostavat, että robotit voivat korvata ihmisille kuuluneita työtehtäviä, mutta myös luoda uusia tehtäviä, joissa ihmisillä on suhteellinen etu. Mallien mukaan työllisyysvaikutusten suunta riippuu siitä, ovatko talouden korvaus- vai täydentävyysvaikutukset vahvempia. (Acemoglu & Restrepo 2018.) Empiiriset tutkimukset tukevat näkemystä robotiikan kaksijakoisista vaikutuksista. Esimerkiksi Yhdysvalloissa robotisaatio on vähentänyt kokonaistyöllisyyttä, kun taas Saksassa robotiikan täydentävyysvaikutukset ovat kompensoineet korvausvaikutusta teollisuudessa ja lisänneet työllisyyttä teollisuuden ulkopuolella (Acemoglu & Restrepo 2020; Dauth ym. 2021). Tutkimukset osoittavat myös, että robotisaatio muuttaa työn rakennetta selkeämmin kuin työllisyyden tasoa. Tämä näkyy rutiinitehtävien vähenemisenä ja työmarkkinoiden polarisaationa. (Autor ym. 2003.)

Työpaikkojen katoaminen ja uusien syntyminen voi myös aiheuttaa työvoiman jakautumista epätasaisesti myös alueellisesti. Alueilla, jossa on suuri teollisuussektori, työvoiman määrä saattaa vähentyä runsaammin kuin alueilla, joissa on enemmän vaikeasti korvattavia töitä. Esimerkiksi vahvasti teollisuuteen painottuneet kaupungit voivat kärsiä robotiikan vaikutuksista alueen työllisyyteen. Tämä voi johtaa alueelliseen eriarvoisuuteen, kun teollisuuteen painottuvat kaupungit ovat alttiimpia työpaikkojen menetykselle, kun taas palveluvaltaiset kaupungit saattavat hyötyä robotiikan luomista uusista työpaikoista. (Acemoglu & Restrepo 2020.) Ymmärtämällä miten robotiikka muuttaa työllisyyttä ja työntekijöiden osaamistarpeita, on yhteiskunnan helpompi sopeutua uudenlaiseen työelämään ja sen tuomiin haasteisiin.

2 Teoreettiset mallit robotiikan vaikutuksista työllisyyteen

2.1 Robotiikka teollisuudessa

Teollisuudessa teknologinen kehitys on lisännyt automaation ja robotiikan käyttöönottoa merkittävästi. Erityisesti teollisuus on ollut alttiina suurelle muutokselle robotiikan myötä, koska robottien tyypillisiä käyttökohteita on kokoonpano, käsittely ja hitsaus, joita on juuri teollisuudessa paljon. (Graetz & Michaels 2018, 12.) Teollisuusrobotilla tarkoitetaan automaattisesti toimivaa, ja uudelleenohjelmoitavaa monikäyttöistä laitetta, joka pystyy liikkumaan useilla akseleilla ja jota käytetään erilaisissa teollisuuden prosesseissa. Robotilla ei tarkoiteta ohjelmistoja, kauko-ohjattavia drooneja, äänivastustajia, itseohjautuvia autoja eikä kodinkoneita tai muita vastaavia. (ISO 8373:2021.) Maailmanlaajuisesti teollisuusrobottien määrä oli vuonna 2023 4,282 miljoonaa yksikköä, mikä merkitsi 10 % kasvua vuodesta edeltävästä vuodesta. Kasvu on ollut merkittävää, ja sen on arvioitu kasvavan vuosien 2025–2027 välillä 4 % vuodessa. (IFR 2024.)

Robotisaation nopea leviäminen on keskittynyt erityisesti Aasiaan ja Australiaan, jossa asennettiin 72 % kaikista vuoden 2023 aikana asennetuista teollisuusroboteista. Erityisesti Kiina on ollut suuri teollisuusrobottien käyttöönottaja. Jopa 51 % kaikista vuonna 2023 asennetuista teollisuusroboteista asennettiin Kiinassa. (IFR 2024.) Robottitiheys miljoonaa työtuntia kohden oli keskiarvolta vuosien 1993–2007 välillä suurinta Saksassa, Tanskassa ja Italiassa. Samalla aikavälillä kasvu robottien määrässä suhteessa työtunteihin on ollut erityisen voimakasta autoteollisuudessa, sekä kemian- ja metalliteollisuudessa. (Graetz & Michaels 2018, 18–19.) Erityisesti teollisuudessa robotiikan käyttöönotto on ollut suurta, koska teollisuuden työtehtävät ovat yleensä rutiininomaisia, jolloin niitä on helppo automatisoida (Soto 2020, 10).

Robottien käyttöönottoa ohjaavat taloudelliset ja tuotannolliset tekijät. Suuri syy robottien nopealle käyttöönotolle vuosina 1990–2005 oli niiden hinnan suuri, jopa 80 % pudotus (Graetz & Michaels 2018, 18). Näin suuri hinnanpudotus selkeästi helpottaa robottien käyttöönottoa eri toimialoilla. Yrityksillä on taloudellinen intressi lisätä robottien määrää myös tuottavuuden lisäämiseksi, sillä ne pystyvät suorittamaan joitain tehtäviä tehokkaammin ja johdonmukaisemmin kuin ihmiset (IFR 2017, 3). Sen lisäksi robotit vastaavat laatuvaatimuksiin paremmin, jolloin tuotteiden laatu paranee (Groover 2016, 26). Robottien käyttöönotto myös parantaa työturvallisuutta. Gihlebin ym. (2020) tutkimuksessa todettiin, että robotiikan käyttöönotto vähensi työperäisiä vaivoja 16 % teollisuudessa. Robotit pystyvät toimimaan vaarallisissa oloissa, kuten kemiallisten aineiden läheisyydessä, raskaissa nostoissa ja töissä, joissa tapaturmat ovat yleisiä. Robotiikan avulla voidaan siis siirtää

haitallisia työtehtäviä koneille, jolloin työntekijät altistuvat vähemmän terveystarpeille. Samalla vapautunut työvoima voidaan ohjata toisiin tehtäviin, joissa tarvitaan luovuutta, ongelmanratkaisukykyä ja sosiaalisia taitoja.

Robotit korvaavat erityisesti rutiinitehtäviä, koska ne ovat helpommin kuvattavissa samankaltaisina toistuvissa kaavoissa (Autor ym. 2003, 1283). Tämä tekee teollisuudesta erittäin alttiin automatisoinnille, koska suuri osa teollisuuden töistä, kuten esimerkiksi tuotantolinjojen tehtävät, ovat enustettavia ja rutiininomaisia (Acemoglu & Autor 2011, 1076). Kehitys esimerkiksi koneoppimisessa ja mobiilirobotiikassa on lisännyt työvoiman korvattavuutta myös inhimillisissä ei-rutiinitehtävissä. Koneoppimisen myötä robotit pystyvät esimerkiksi tulkitsemaan dataa ja tekemään päätöksiä, jotka ovat aiemmin vaatineet ihmisen harkintaa. Ne voivat tehdä myös paljon muita kognitiivisia tehtäviä, kuten oikeudellista kirjoittamista ja ajamista. (Arntz ym. 2016, 9.) Robotteja on alettu käyttää myös esimerkiksi kaupoissa kassoilla. Tämä on hyvä esimerkki siitä, miten robotiikan kehitys on siirtymässä kohti tilannetta, jossa entistäkin monimutkaisempia tilanteita voidaan automatisoida. (OECD 2019, 40.) Tämä kehitys haastaa perinteisiä näkemyksiä siitä, että vain rutiinityöt ovat korvattavissa.

2.2 Robotiikan vaikutus työllisyyteen

2.2.1 Työtehtävien rakenteellinen muutos

Työtehtävät voidaan jaotella joko rutiini- tai ei-rutiinitehtäviin. Rutiinitehtäviä ovat samankaltaisina toistuvat tehtävät esimerkiksi kokoonpano ja laskutoimitukset. Ei-rutiinitehtäviä taas ovat sellaiset, jotka vaativat ongelmanratkaisua, luovuutta ja monimutkaista vuorovaikutusta. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi myynti ja johtaminen. (Autor ym. 2003, 1286.) Tämä jaottelu on keskeinen osa tutkittaessa työtehtävien rakenteellista muutosta, koska se auttaa ymmärtämään miksi jotkin ammatit ovat alttiimpia automaatiolle kuin toiset.

Työtehtävän korvattavuus robotilla määrittyy siitä, miten paljon osaamista ja rutiinia tehtävään sisältyy. Rutiinitehtäviä on helpompi koneellistaa, koska ne toistuvat samankaltaisina ja ovat helposti ohjelmoitavissa algoritmeiksi, joita koneet voivat itsenäisesti suorittaa. (Fernández-Macías & Hurley 2016, 564.) Koneet voivat nostaa tuotannon tehokkuutta, jos ne asetetaan tehtäviin, joissa ne ovat tehokkaampia kuin ihmiset (IFR 2017, 3). Ne myös vähentävät virheitä ja etenevät tuotantoprosessissa jatkuvasti, kun taas ihmiset tarvitsevat taukoja työn välissä. Robotit voivat suorittaa esimerkiksi kokoonpanoa ilman ihmisen jatkuvaa apua, siirtää ihmisen valvovaan rooliin, parantaa työturvallisuutta ja voivat myös tehdä tuotannosta halvempaa. (Groover 2016, 26.) Ei-rutiinitehtäviä

on vaikeampi koneellistaa, koska ne vaativat kognitiivista prosessointikykyä ja inhimillisyyttä. Niissä tehtävät eivät ole ennalta arvattavissa, jonka vuoksi niitä ei voi kuvata koodina, jonka kone voisi suorittaa. (Autor ym. 2003, 1283.) Esimerkiksi koulutuksen, terveydenhuollon ja johtamisen parissa olevat tehtävät ovat vaikeasti automatisoitavissa, koska niissä tarvitaan runsaasti sosiaalisia kykyjä, empatiaa, luovuutta ja ongelmanratkaisukykyä (Autor 2015, 12). Tekoälyn kehitys on kuitenkin hämärtänyt rajaa siitä, minkä tyyppisiä tehtäviä pystytään automatisoimaan. Esimerkiksi ei-rutiinitehtäväksi luokiteltavissa oleva asiakaspalvelu on nykyään useissa yrityksissä ainakin osittain automatisoitu. (Huang & Rust 2018.)

Työmarkkinoiden polarisaatiota voidaan selittää tällä jaottelulla. Polarisaatiolla tarkoitetaan sitä, että hyväpalkkaisten ja korkeampaa osaamista vaativien, sekä vähemmän osaamista vaativien töiden kysyntä kasvaa. Sen sijaan keskitason (engl. middling) töissä kysyntä laskee. Korkeampaa osaamista vaativissa töissä ei yleensä esiinny rutiininomaista tai manuaalista työtä. Vähemmän osaamista vaativissa töissä ei ole rutiininomaista työtä, mutta on manuaalista. Keskitason työt taas ovat pääosin rutiininomaisia, jonka vuoksi niiden kysyntä laskee. (Goos & Manning 2003, 2.) Toimialat, kuten valmistava teollisuus ja toimistotyö, ovat alttiimpia työpaikkojen vähenemiselle, koska niissä on enemmän rutiinitehtäviä ja ne ovat keskitason töitä (Goos ym. 2014, 12). Näiltä aloilta työntekijät siirtyvät aloille, joissa on enemmän ei-rutiinitöitä. Tällaisia töitä ovat esimerkiksi terveydenhuolto sekä koulutus, joissa teknologialla on enemmän työtä tukeva rooli kuin korvaava (Goos & Manning 2003, 12).

Tämä muutos voi näkyä myös alueellisesti teollisuuskaupunkien elinkeinorakenteen muutoksina. Robottiikka vähentää työpaikkoja erityisesti teollisuuskaupungeista (Acemoglu & Restrepo 2020). Tällöin työntekijät siirtyvät muihin tehtäviin ja ammatteihin, kuten palvelualalle (Dauth ym. 2021). Tämä siirtymä lisää työn kysyntää työvoimajakauman ääripäissä, mikä lisää polarisaatiota (Autor & Dorn 2013). Pitkällä aikavälillä tämä kehitys voi johtaa pysyvään rakennemuutokseen, jossa keskitason työpaikat vähenevät ja työmarkkinat jakautuvat korkeapalkkaisiin erikoisosaajiin ja matalapalkkaisiin palvelutöihin.

Työmarkkinoiden rakenteellinen muutos luo yhteiskunnallisesti muita muutospaineita. Kun rutiininomaiset työt vähenevät, tarvitaan enemmän korkeampaa osaamista ja koulutusta omaavia työntekijöitä, jotka osaavat käyttää teknologiaa hyödykseen. Pelkkä uusien työpaikkojen syntyminen ei riitä, jos työntekijöillä ei ole riittävää osaamista niihin. (Autor 2015, 4.) Tämä tarkoittaa sitä, että koulutusjärjestelmän on sopeuduttava tukemaan työntekijöiden siirtymistä uusiin tehtäviin.

2.2.2 Korvaus- ja täydentävyysvaikutukset

Robottiikka vaikuttaa työllisyyteen pääasiassa korvaus- ja täydentävyysvaikutuksen kautta. Korvausvaikutuksella (engl. substitution effect) tarkoitetaan sitä, että robotit syrjäyttävät ihmistyötä, eli ne alkavat suorittamaan aiemmin ihmisten tekemiä töitä. Täydentävyysvaikutuksella (engl. complementary effect) tarkoitetaan sitä, että teknologia synnyttää uusia tehtäviä ja töitä ihmisille ja näin lisää työn tuottavuutta. Tuottavuusvaikutuksella taas tarkoitetaan sitä, että robotiikan käyttöönotto mahdollistaa tehtävien paremman allokation ja näin kasvattaa tuottavuutta. Toisin sanoen robotit siirtyvät tekemään tehtäviä, joissa ovat ihmisiä tuottavampia ja näin lisäävät tuottavuutta. (Acemoglu & Restrepo 2019, 1, 4.)

Korvausvaikutus on yleinen rutiinimaisissa tehtävissä, jotka voidaan ohjelmoida samankaltaisina toistettaviksi prosesseiksi. Robottiikka mahdollistaa tällaisten tehtävien siirtämisen koneille, mikä vähentää työvoiman tarvetta niissä. (Autor ym. 2003, 1283.) Käytännössä tämä näkyy siinä, että robotit korvaavat ihmisiä erityisesti toimialoilla, joilla on paljon rutiininomaisia töitä (Autor ym. 2003). Tällaisia tehtäviä, kuten lajittelua ja kokoonpanoa, on erityisesti teollisuudessa, jossa robotien käyttöönotto on ollut suurinta (Autor ym. 2003, 1286; IFR 2024). Korvausvaikutus vähentää työpaikkoja töissä, joita robotit korvaavat. Esimerkiksi Acemoglu ja Restrepo (2020) havaitsivat Yhdysvalloissa, että yksi lisärobotti tuhatta työntekijää kohden vähensi työllisyyden suhdetta väestöön 0,2 prosenttiyksikköä. Robottien käyttöönotto kuitenkin saattaa alentaa tuotannon hintoja, kun kallista ihmistyötä korvataan halvemmilla roboteilla. Tämä lisää tuotannon kysyntää, jolloin työvoiman tarve muissa, ei-automatisoiduissa töissä lisääntyy. (Bessen 2019, 2.)

Täydentävyysvaikutus toimii korvausvaikutukselle vastakkaisella tavalla lisäten työvoiman tarvetta (Autor ym. 2003, 1283). Täydentävyysvaikutuksessa robotiikka ei siis korvaa ihmistyötä, vaan tukee ja tehostaa sitä kasvattamalla tuottavuutta, tuloja ja työvoiman kysyntää (Autor 2015, 5). Robotit esimerkiksi voivat hoitaa toistuvia ja mekaanisia työvaiheita samalla, kun ihminen voi keskittyä suorittamaan vaativampia ja kognitiivista päättelykykyä tai ongelmanratkaisua vaativia tehtäviä (Villani ym. 2018, 2–3). Tällainen työnjako mahdollistaa sen, että ihmisten erityisosaaminen ja teknologia täydentävät toisiaan.

Korvausvaikutuksella on tuottavuusvaikutukselle vastakkaiset vaikutukset työn kysyntään. Todellinen vaikutus riippuu siitä kumpi vaikuttaa voimakkaammin. (Acemoglu & Restrepo 2019, 4.) Jos korvausvaikutus on tuottavuusvaikutusta suurempi, robotiikka vähentää työn kysyntää ja voi vähentää työllisyyttä. Jos vastakkaisesti tuottavuusvaikutus on korvausvaikutusta suurempi, robotiikka

voi lisätä kokonaistyöllisyyttä. Näiden vaikutusten tasapaino määrittää onko robotiikan käyttöönotto työllisyydelle haitaksi vai hyödyksi. (Acemoglu & Restrepo 2018.)

2.2.3 Teoreettiset mallit robotiikan työllisyysvaikutuksista

Graetz ja Michaels (2018) esittelevät teoreettisen mallin, joka kuvaa yritysten päätöstä ottaa käyttöön robotiikkaa tuotannossa. Mallin avulla voidaan selittää millä ehdoilla yritykset investoivat robotiikkaan ja miten robottien hintojen lasku vaikuttaa työn tuottavuuteen, työllisyyteen, tuotantoon ja tuotteiden hintoihin. Mallissa oletetaan, että yritykset toimivat monopolistisessa kilpailussa. Yritykset voivat myös valita käyttävänsä joko pelkästään ihmistyövoimaa tai sitten työvoimaa, jossa on sekä robotteja että ihmisiä. Robottien käyttöönotto edellyttää kuitenkin yrityksiltä kiinteää kustannusta φ . Kiinteä kustannus varmistaa sen, että robotteja otetaan käyttöön vain yrityksissä, joissa se on taloudellisesti kannattavaa.

Graetzin ja Michaelsin (2018) mallissa tuotanto koostuu toimialakohtaisista tehtävistä, joista ihmiset voivat suorittaa kaikkia tehtäviä ja robotit vain osaa. Robottien osuutta toimialalla i kuvataan parametrilla $\alpha(i)$, joka mittaa sitä, kuinka paljon toimialan tehtävistä on korvattavissa roboteilla. Eri toimialat eroavat toisistaan paljon tämän suhteen. Tehtävissä, joita robotit voivat suorittaa, ihmisten ja robottien oletetaan olevan keskenään täydellisiä substituutteja. Muita tehtäviä voivat suorittaa ainoastaan ihmiset. Robottien vuokrahinta ρ kuvaa robottien käyttöönoton kustannusta suhteessa työvoiman palkkaan w . Mallissa oletetaan, että $\rho < w$, jolloin robottien hinta on alempi kuin työvoiman kustannus. Yrityksen on siis kannattavaa käyttää robotteja kaikissa korvattavissa olevissa tehtävissä, sillä ne tuottavat saman lopputuloksen halvemmalla.

Jos yritys ottaa robotteja käyttöön, tuotantofunktio voidaan kirjoittaa muotoon

$$Y^N(i, j) = (\alpha(i)^{\frac{1}{\sigma}} R(i, j)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1 - \alpha(i))^{\frac{1}{\sigma}} L(i, j)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}})^{\frac{\sigma}{\sigma-1}},$$

missä i kuvaa toimialoja ja j toimialojen yrityksiä, σ on tehtävien välinen substituutiojousto, $R(i, j)$ on robottien määrä ja $L(i, j)$ on työvoiman määrä. Eli tuotannon määrä on riippuvainen robottiosuudesta $\alpha(i)$ ja -määrästä $R(i, j)$, työvoiman määrästä $L(i, j)$, sekä substituutiojoustosta σ . Tehtävien substituutiojoustolla tarkoitetaan sitä, miten paljon tuotannossa käytetään robotiikkaa suhteessa ihmistyöhön. Jos yritys ei ota robotteja käyttöön, tuotantofunktio on muotoa

$$Y^R(i, j) = L(i, j),$$

eli kaikki työ tehdään ihmisillä.

Pelkkää ihmistyövoimaa käyttävien yritysten rajakustannus on vakio ja yhtä suuri kuin työvoiman palkka w , joka on mallissa asetettu yhteen ($w = 1$). Rajakustannus voidaan siis esittää muodossa

$$\chi^N(i) = 1$$

Robotteja käyttävien yritysten rajakustannus voidaan ilmaista muodossa

$$\chi^R(i) = (\alpha(i)\rho^{1-\sigma} + 1 - \alpha(i))^{\frac{1}{1-\sigma}},$$

eli se riippuu robottien vuokrahinnoista ρ ja robotisoitavien tehtävien osuudesta $\alpha(i)$.

Graetzin ja Michaelsin (2018) mallin mukaan yritys ottaa robotit käyttöön vain, jos niiden tuoma kustannusetu kattaa kiinteän kustannuksen φ , joka tulee robottien käyttöönotosta. Tämä johtaa siihen, että robotteja otetaan käyttöön vain toimialoilla, joissa korvattavien tehtävien osuus $\alpha(i)$ ylittää kriittisen arvon, jonka jälkeen robotiikka alkaa tuottamaan enemmän kuin sen käyttöönotto maksaa. Robotin käyttöönoton kiinteiden kustannusten tai vuokrahinnan lasku johtaa tämän kriittisen arvon laskuun. Tällöin yhä useampi toimiala siirtyy käyttämään robotiikkaa. Robotiikan käyttöönoton lisäykseen eivät vaikuta kiinteät kustannukset vaan vuokrahinta. Kun vuokrahinta laskee, se lisää robottien optimaalista suhdetta työvoimaan. Tämä kasvu on suurempi aloilla, joilla on korkeampi korvattavien tehtävien osuus. Mallissa tuotoksen määrä riippuu robotiikan ja työvoiman suhteesta, mikä pienenee vuokrahintojen noustessa. Tällöin vuokrahintojen lasku kasvattaa tuotantoa robotteja käyttävillä toimialoilla. Samalla se myös vähentää robotteja käyttävien toimialojen hintoja verrattuna pelkkää ihmistyövoimaa käyttävien toimialojen hintoihin.

Työllisyyden osalta Graetzin ja Michaelsin (2018) malli on vähemmän yksiselitteinen. Lasku robottien vuokrahinnoissa ρ saa yritykset lisäämään robottien käyttöönottoa ja samalla vähentää tuotosten hintaa. Kuluttajat kuluttavat suhteellisesti enemmän tuotosta halvemmilta robottia käyttäviltä toimialoilta, jolloin niiden kysyntä kasvaa ja näin ollen myös työvoiman kokonaiskysyntä kasvaa. Mallissa työllisyyden muutoksen suunta riippuu siitä, onko tehtävien substitutiojousto σ suurempi kuin kuluttajien kysyntäjousto ε toimialojen välillä. Kuluttajien kysyntäjousto toimialojen välillä tarkoittaa sitä, millainen kuluttajien kysyntä on robotiikkaa käyttävien ja robotiikkaa käyttämättömien toimialojen välillä. Jos $\varepsilon > \sigma$, kuluttajat lisäävät kysyntäänsä robotisoitujen toimialojen tuoksille ja tuotannon kasvu lisää työllisyyttä. Jos taas $\varepsilon < \sigma$ eli tehtävien välinen substitutio on voimakkaampaa kuin kysynnän kasvu, robotit korvaavat ihmisiä nopeammin kuin tuotannon kasvaminen lisää työn kysyntää. Tällöin työllisyys robotisoiduilla toimialoilla laskee. Mallin mukaan robotisaation vaikutukset työllisyyteen riippuvat talouden joustoista ja kuluttajakäyttäytymisestä.

Robottien hinnanlasku saa Graetzin ja Michaelsin (2018) mallin mukaan aikaan kaksi vastakkaista vaikutusta. Yritykset korvaavat työvoimaa roboteilla aina kun se on teknisesti mahdollista ja kannattavaa, mikä pienentää työvoiman tarvetta niissä tehtävissä, joita robotit voivat suorittaa. Toisaalta robotteja käyttävien toimialojen tuotantokustannukset alenevat, mikä alentaa myös tuotteiden hintoja. Tämä lisää tuotteiden kysyntää suhteessa robotteja käyttämättömiin toimialoihin. Jos hinnanlasku saa kuluttajat kasvattamaan kysyntää robotisoitujen toimialojen tuotteissa nopeammin kuin yritykset lisäävät robottien käyttöä, työn kysyntä kasvaa. Jos taas yritysten robottien käyttöön-otto on nopeampaa, korvausvaikutus dominoi ja työllisyys vähenee. Mallissa ei siis ole yksiselitteistä ennustetta työllisyyden suunnasta, vaan vaikutus riippuu näiden kahden mekanismin voimakkuuksista. Lisäksi malli ennustaa, että robotteja otetaan erityisesti käyttöön toimialoilla, joissa on suuri osuus töitä, joita robotit voivat suorittaa. Näillä aloilla robotteja otetaan käyttöön nopeammin, mikä kasvattaa niiden toimialojen robottitiheyttä voimakkaammin kuin toimialoilla, joissa korvattavien tehtävien osuus on pieni. Tämä selittää osaltaan miksi robotisaatio kasvaa nopeasti teollisuudenaloilla, joissa automatisoitavien tehtävien osuus on suuri.

Acemoglu ja Restrepo (2018) kehittävät myös teoreettisen mallin kuvaamaan miten robotiikka korvaa ihmistyötä ja miten se vaikuttaa työllisyyteen ja palkkoihin. Mallissa tuotanto jaetaan tehtävien jatkumoon, jossa ihmiset voivat suorittaa kaikkia tehtäviä ja koneet vain osaa niistä. Yritykset voivat joko päättää automatisoivansa tehtäviä tai luovansa kokonaan uusia tehtäviä. Automaatio siirtää ihmisille aiemmin kuuluneita tehtäviä koneille. Tämä korvausvaikutus suoraan vähentää työn kysyntää, koska ihmiset poistuvat näistä tehtävistä kokonaan. Mallissa kuitenkin oletetaan, että teknologinen kehitys ja innovaatiot voivat luoda kokonaan uusia tehtäviä, joissa ihmisillä on suhteellinen etu, eivätkä koneet pysty suorittamaan niitä. Tämä vuorostaan lisää työn kysyntää ja toimii robotiikan ihmistyötä täydentävänä vaikutuksena.

Acemoglun ja Restrepon (2018) mallissa tasapaino määräytyy sen mukaan kuinka paljon robotiikka korvaa ihmistyötä ja kuinka paljon se taas luo uusia tehtäviä. Tämä suhde määräytyy saatavilla olevasta teknologiasta ja yritysten päätöksistä ottaa robotiikkaa käyttöön. Yritysten päätöksiin vaikuttaa se, kuinka halpaa robotiikka on suhteessa työvoimaan. Jos robotiikka on selkeästi halvempaa suhteessa työvoimaan, automaatio etenee nopeasti ja voi tehdä työvoimasta tarpeetonta. Jos taas pitkällä aikavälillä robotiikan käyttöönoton hinta suhteessa työvoimaan ei ole merkittävästi halvempaa, talous voi saavuttaa tasapainotilan, jossa automaatio ja uusien tehtävien synty etenevät samaan tahtiin. Tällöin teknologinen kehitys ei ainoastaan syrjäytä työvoimaa, vaan osa innovaatioista täydentää sitä. Työllisyyden kehityksen suunta riippuu siitä, kumpaan suuntaan innovaatiot

painottuvat. Mallissa oletetaan työn tarjonta joustavaksi, jolloin robotiikka vähentää työllisyyttä. Jos taas robotiikka tuottaa paljon tehtäviä, joissa ihmisillä on suhteellinen etu, työn kysyntä kasvaa.

Graetzin ja Michaelsin (2018) malli eroaa Acemoglun ja Restrepon (2018) mallista siinä miten robotiikka muuttaa työn rakennetta. Graetzin ja Michaelsin (2018) mallissa teknologinen kehitys ei muuta työn ja koneiden välistä tehtäväjako, vaan robotiikka ainoastaan muokkaa sitä missä suhteessa robotteja ja ihmisiä on työmarkkinoilla. Tämä voidaan ajatella lyhyen aikavälin vaikutuksena markkinoilla, kun uusia tehtäviä ei ole vielä ehtinyt syntyä. Acemoglun ja Restrepon (2018) mallin tärkeimpänä lisänä on se, että teknologia myös lisää tehtäviä työmarkkinoille, joten se on relevantimpi pitkän aikavälin vaikutusten tulkintaan.

3 Empiiriset tutkimukset

3.1 Vaikutukset työllisyyteen ja työvoimaosuuteen

3.1.1 Yhdysvaltoja koskevat tutkimukset

Acemoglu ja Restrepo (2020) tutkivat teollisuusrobotiikan vaikutuksia Yhdysvaltojen työmarkkinoiden palkkoihin ja työllisyyteen käyttämällä alueellista aineistoa Yhdysvalloista. He käyttivät teollisuusrobottien käyttöönottoa koskevaa aineistoa 19 toimialalta. Aineistolla he analysoivat eri alueilla (engl. commuting zones) kehitystä työllisyydessä sen perusteella miten paljon alueilla oli otettu robotteja käyttöön. Näin pystyttiin havaitsemaan muutoksia alueiden työllisyydessä ja palkkoissa. Heidän tulostensa mukaan jokainen lisärobotti tuhatta työntekijää kohden vähensi työllisyyden osuutta väestössä 0,39 prosenttiyksikköä ja palkkoja 0,77 %. Kuitenkin robottien käyttöönotosta on myös hyötyä alueiden välisten kauppayhteyksien (engl. trade linkage) vuoksi, joten todelliset vaikutukset ovat pienemmät. Työllisyyden osuus väestössä väheni 0,2 prosenttiyksikköä ja palkat 0,42 %. Robottien käyttöönotto johti siis työllisyyden ja palkkojen vähenemiseen. Robotiikan työllisyysvaikutukset näkyivät eniten valmistusteollisuudessa ja erityisesti toimialoilla, joilla robottien käyttöönotto oli suurinta. Näitä olivat esimerkiksi auto-, muovi- ja kemianteollisuus, elektroniikkateollisuus sekä elintarvike- ja juomateollisuus. Tämä viittaa myös siihen, että robotiikka korvaa työvoimaa erityisesti rutiininomaisissa töissä, joita valmistusteollisuudessa on paljon. Se tukee myös teoriaa työmarkkinoiden polarisaatiosta, jossa keskitason osaamisen tehtävät vähenevät.

Myös uudempi empiirinen tutkimus Yhdysvalloista tukee näitä havaintoja. Javedin (2023) tutkimuksessa tarkastellaan teollisuusrobottien käyttöönoton vaikutuksia syntyperäisten yhdysvaltalaisien ja maahanmuuttajien työllisyyteen. Hänen tuloksensa ovat saman suuntaisia kuin Acemoglun ja Restrepon (2020) tutkimuksessa. Robotit vähensivät syntyperäisten työllisyyden osuutta väestössä 0,38 prosenttiyksikköä ja maahanmuuttajien 0,67 prosenttiyksikköä. Robotit siis vähensivät työllisyyttä kummassakin ryhmässä, mutta huomattavasti enemmän maahanmuuttajien keskuudessa. Maahanmuuttajat olivat erikoistuneet syntyperäisiä yhdysvaltalaisia enemmän tehtäviin, joita on helpompi automatisoida ja siksi erot ovat suuria. Myös tämä tukee näkemystä siitä, että rutiininomaiset tehtävät korvautuvat muita helpommin.

Robotiikan työllisyysvaikutuksia voidaan tarkastella myös työvoimaan osallistumisen kautta. Di Giacomo ja Lerch (2025) tutkivat työntekijöiden sopeutumista Yhdysvalloissa sen jälkeen, kun heidät oli korvattu roboteilla. Heidän tuloksensa mukaan yksi lisärobotti vähentää noin neljä työntekijää työmarkkinoilta. Vaikutus on pienempi kuin Acemoglun ja Restrepon (2020) tutkimuksessa,

mutta edelleen huomattavasti negatiivinen. Tutkimuksessa (Di Giacomo & Lerch 2025) havaittiin, että työmarkkinoilta poistuneista 7,5 % siirtyi korkeakouluopintoihin, 10,4 % työkyvyttömyysetuuksille ja 39,1 % varhaiseläkkeelle. Robotiikan vaikutukset heikentävät siis työn tarjontaa laajasti, sillä osa työntekijöistä poistuu työmarkkinoilta pysyvästi eikä esimerkiksi siirry enää toisiin tehtäviin.

Chungin ja Leen (2022) tutkimuksessa tarkastellaan teollisuusrobottien vaikutusta Yhdysvaltojen työmarkkinoihin vuosina 2005–2016. Erona aiemmin mainituista tutkimuksista he havaitsivat, että robotiikan vaikutukset työllisyyteen eivät ole aina negatiivisia. Tarkastelun alkuvuosina robottialtiuden kasvu oli yhteydessä selvästi negatiivisiin työllisyysvaikutuksiin, mikä on yhdenmukaista aiempien tutkimusten kanssa. Kuitenkin myöhemmissä jaksoissa työllisyysvaikutukset muuttuivat vähitellen positiivisiksi. Tämä on seurausta täydentävyysvaikutuksesta. Erityisesti autoteollisuudessa robotiikka kasvatti työn tuottavuutta ja loi uusia työtehtäviä. Robotiikan aiheuttama tuottavuuskasvu sai aikaan positiivisia työllisyysvaikutuksia valmistavan teollisuuden ulkopuolella esimerkiksi kasvavan kysynnän kautta.

3.1.2 Eurooppaa koskevat tutkimukset

Euroopassa Dauth ym. (2021) tutkivat teollisuusrobotiikan vaikutuksia Saksan työmarkkinoihin. Heidän tuloksensa osoittivat, että robottien käyttöönotto oli yhteydessä korvausvaikutukseen valmistusteollisuudessa, mutta se kompensoitui täydentävyysvaikutuksella uusilla töillä palveluammateissa. Robotiikka siis vähensi työvoiman kysyntää teollisuudessa, mutta kasvatti sitä ei-teollisilla aloilla. Saksan työllisyydessä ei havaittu negatiivisia vaikutuksia, mikä viittaa siihen, että robotiikasta syntyneet uudet työt täydensivät kokonaisuudessaan teollisuudessa menetetyt työt. Tämä viittaa siihen, että Saksan työmarkkinoilla tuottavuus- ja täydentävyysvaikutukset olivat suurempia tai yhtä suuria kuin korvausvaikutus.

Graetz ja Michaels (2018) käyttivät paneeliaineistoa 17 maasta, joista 14 oli Euroopan maita, vuosilta 1993–2007 tutkiessaan robottien käyttöönottoa. Heidän tuloksensa osoittavat, että robottien lisääntynyt käyttö kasvatti työn tuottavuutta 0,36 prosenttiyksikköä. Vaikutukset työllisyyteen olivat tutkimuksessa samankaltaisia kuin Dauthin ym. (2021) tutkimuksessa. Robotit eivät merkittävästi vähentäneet kokonaistyöllisyyttä, mutta ne vähensivät vähemmän osaamista vaativien työntekijöiden työvoimaosuutta. Tämä vahvistaa teoriaa polarisaatiosta, jossa keskitason työt teollisuudessa vähenevät. Korvausvaikutuksen voidaan myös ajatella olevan yhtä suuri kuin tuottavuus- ja täydentävyysvaikutusten, koska muutoksia kokonaistyöllisyydessä ei havaittu. Robotiikka ei siis vähentänyt työpaikkoja, mutta muutti työn rakennetta siten, että osa työpaikoista hävisi ja uusia syntyi.

Kaikki eurooppalaiset tutkimukset eivät havaitse neutraaleja vaikutuksia kokonaistyöllisyyteen. Chiacchio ym. (2018) tutkivat robottien käyttöönoton vaikutuksia kuudessa EU-maassa, jotka kattavat 85,5 % koko EU:n teollisuusrobottimarkkinoista. He havaitsivat, että yhden robotin käyttöönotto tuhatta työntekijää kohden vähensi työllisyyttä 0,16–0,20 prosenttiyksikköä. Vaikutus on selvästi pienempi kuin Yhdysvalloissa, mutta osoittaa, että robotiikka voi joissain Euroopan maissa aiheuttaa negatiivisia työllisyysvaikutuksia. Chiacchio ym. (2018) tulkitsevat negatiivisen vaikutuksen johtuvan dominoivasta korvausvaikutuksesta. Korvausvaikutus oli suurta erityisesti keskitasoisien koulutuksen saaneilla ja nuorilla työntekijöillä. Tutkimuksessa ei havaittu vaikutuksia palkkoihin, mikä viittaa siihen, että robotiikan vaikutukset kohdistuivat ensisijaisesti työllisyyteen.

Koch ym. (2019) tarkastelevat teollisuusrobottien käyttöönoton vaikutuksia työllisyyteen yritystasolla Espanjassa vuosina 1990–2016. Heidän tutkimuksensa osoitti, että robotteja käyttöönottaneet yritykset kasvattivat työvoiman määrää keskimäärin 10 prosenttia. Työllisyyden kasvu ei rajoittunut vain korkeamman osaamistason työntekijöihin. Myös matalamman osaamistason työntekijöiden ja tuotantotyöntekijöiden työllisyys kasvoi yrityksissä, jotka ottivat robotteja käyttöön. Tämä on poikkeuksellista siksi, että useimmissa tutkimuksissa robotiikka on yhdistetty työllisyyden vähenemiseen rutiininomaisissa tehtävissä, etenkin teollisuudessa. Koch ym. (2019) kuitenkin osoittavat, että joissain yrityksissä robottien käyttöönoton aiheuttamat täydentävyys- ja tuottavuusvaikutukset ovat riittävän suuria luodakseen työtehtäviä myös niille ryhmille, joiden tehtävät ovat alttiimpia automatisoinnille.

Acemoglu ym. (2020) käyttivät yritystason aineistoa tutkiakseen robotiikan käyttöönoton vaikutuksia Ranskassa vuosina 2010–2015. He havaitsivat, että robottien käyttöönotto yritystasolla oli yhteydessä työvoimaosuuden laskuun, sekä tuotantotyöntekijöiden suhteellisen osuuden pienentymiseen. Kokonaistyöllisyys kuitenkin kasvoi nopeammin yrityksissä, jotka ottivat robotteja käyttöön kuin niissä, jotka eivät ottaneet. Nopeampi työllisyyden kasvu voi selittyä sillä, että tuotanto ja työvoima siirtyy niille yrityksille, jotka robotteja käyttöönottamalla alentavat tuotantokustannuksiaan. Yritykset, joiden kilpailijat ottivat robotteja käyttöön, kokivat laskun työllisyydessä. Kun yhdistettiin robotteja käyttävien- ja muiden yritysten vaikutukset, kokonaisvaikutus työllisyyteen oli negatiivinen. 20 prosenttiyksikön kasvu robottien käyttöönotossa laski toimialan työllisyyttä 3,2 prosenttia.

3.1.3 Aasiaa koskevat tutkimukset

Japanissa Adachi ym. (2022) tarkastelevat robotiikan käyttöönottoa vuosina 1978–2017, ja sen vaikutusta työllisyyteen. He havaitsivat, että toimialan työllisyys kasvaa 0,43 prosenttia, kun robottien

hinnat laskevat yhden prosentin. Hintojen lasku mahdollistaa tuotantokustannusten laskun, tuotannon lisäämisen ja useampien työntekijöiden palkkauksen. Tämän aiheuttama positiivinen täydentävyysvaikutus dominoi korvausvaikutusta, jonka vuoksi työllisyys kasvaa. Myös aiempi Japania koskeva tutkimus on saanut saman suuntaisia tuloksia. Dekle (2020) tutki robottien käyttöönoton vaikutusta työn kysyntään vuosina 1979–2012 käyttäen toimialakohtaista aineistoa Japanista. Tutkimuksessa havaittiin, että robottien käyttöönotto Japanissa lisäsi työvoiman kysyntää keskimääräisellä toimialalla. Työvoiman kysynnän kasvu selittyi robotiikan aiheuttamasta tuottavuuskasvusta. Tulokset viittaavat siihen, että Japanin työmarkkinoilla täydentävyys- ja tuottavuusvaikutukset ovat korvausvaikutusta suurempia, jonka vuoksi ne pystyvät kompensoimaan joidenkin työtehtävien korvautumisen.

Zhang ym. (2022) tutkivat robotisaation vaikutuksia Kiinan työmarkkinoihin mikrotason aineistolla. He havaitsivat, että robottien käyttöönotto lisäsi työllisyyttä yritystasolla 31,65 % verrattuna yrityksiin, jotka eivät ottaneet robotteja käyttöön. Tutkimuksessa havaittiin myös, että yhden prosentin lisäys teollisuusrobottien käytössä lisäsi yrityksen sisäistä työllisyyttä 18,11 %. Robotiikan käyttöönotto lisää siis työllisyyttä merkittävästi yritystasolla. Tutkimuksessa havaittiin useita syitä työllisyyden merkittävään kasvuun. Robottien käyttöönotto lisäsi yritysten tuotantoa alentuneiden tuotantokustannuksien ja tuottavuuden kasvun seurauksena, mikä lisäsi työn kysyntää. Teollisuusrobotteja käyttävät yritykset myös päivittävät teknologista osaamistaan ja pyrkivät täyttämään korkeampia teknisiä vaatimuksia. Teknologian parantaminen ja tuotteiden kehittäminen lisää erityisesti korkeamman osaamistason työvoiman kysyntää valmistusteollisuudessa. Tutkimus osoittaa, että Kiinassa robotiikan täydentävyysvaikutus on niin vahva, että se ylittää selkeästi korvausvaikutuksen negatiiviset vaikutukset, jolloin robotisaation vaikutus työllisyyteen on positiivinen.

Kim (2024) tutki robotisaation vaikutuksia työvoiman kysyntään Etelä-Koreassa käyttäen aineistona avoimia työpaikkoja. Tulosten mukaan robotisaatio ei vähentänyt kokonaistyöllisyyttä Etelä-Korean kaupungeissa. Tutkimuksessa kuitenkin havaittiin negatiivisia vaikutuksia valmistusteollisuudessa sekä rutiinitöissä. Yhden robotin käyttöönotto tuhatta työntekijää kohden oli yhteydessä 2,9 prosenttiyksikön laskuun avoimien työpaikkojen kasvussa valmistavassa teollisuudessa ja 2,8 prosenttiyksikön laskuun rutiinitehtävissä. Robotisaation ja työn kysynnän välillä ei havaittu yhteyttä palvelualoilla tai ei-rutiinitöissä. Tutkimuksen perusteella robotisaation vaikutukset ovat Etelä-Koreassa toimialasidonnaisia. Korvausvaikutus on vahvaa rutiinitöissä, mutta vaikutukset eivät leviä muille toimialoille. Koska Etelä-Korean kokonaistyöllisyydessä ei havaittu muutoksia, kompensoi muiden alojen täydentävyysvaikutus teollisuuden korvausvaikutuksen aiheuttamia muutoksia työllisyydessä.

3.2 Tehtävä rakenne ja työmarkkinoiden polarisaatio

Robottiikan vaikutukset työmarkkinoilla eivät rajoitu vain työn kysynnän muutokseen, vaan sen vaikutukset heijastuvat myös tehtävien rakenteeseen ja työvoiman polarisaatioon. Empiiriset tutkimukset ovat osoittaneet pääasiassa samankaltaisia tuloksia kaikkialla.

Goos ja Manning (2003) tutkivat työmarkkinoiden polarisaatiota Iso-Britanniassa. Heidän tutkimustuloksensa osoittavat, että työvoimaosuuden kasvu oli suurinta hyväpalkkaisilla, erikoistuneemmilla aloilla, kuten rahoitusalailla. Kasvu oli nopeaa myös hoitoavustajilla, hoitajilla ja koulutusavustajilla, eli matalapalkkaisissa töissä. Työvoimaosuus taas väheni eniten keskitason töissä, teollisuudessa. Nämä tulokset tukevat näkemystä siitä, että polarisaatio kasvattaa työllisyyttä jakauman ääripäissä. Goos ym. (2014) laajensivat tutkimusta 16 Euroopan maahan vuosina 1993–2010. Myös tässä tuloksena oli työvoimaosuuden kasvu korkeaa osaamista ja vähäistä osaamista vaativissa töissä ja lasku keskitason töissä.

Autor ym. (2003) analysoivat Yhdysvaltojen työntekijä- ja työtehtäväaineistoja vuosilta 1960–1998. He havaitsivat, että 1970-luvulta lähtien manuaalisten- ja rutiinitöiden työpanos Yhdysvalloissa väheni ja ei-rutiinitöiden kasvoi. Nämä muutokset olivat keskittyneitä erityisesti aloille, joilla tapahtui nopeaa teknologista kehitystä. Myös toimialojen sisällä työntekijät siirtyivät rutiininomaisista tehtävistä ei-rutiinisiin tehtäviin, jos alalla nopea tietokoneistuminen oli yleistä.

Autor ja Salomons (2018) tutkivat automaation vaikutuksia työn kysyntään eri toimialoilla käyttäen aineistoja 28 toimialalta 18 OECD-maasta. He havaitsivat vaikutusten olevan negatiivisia etenkin teollisuudessa ja positiivisia esimerkiksi terveysalalla ja yritystoiminnassa. Tämä tukee edelleen näkemystä rutiinitehtävien vähenemisestä ja ei-rutiinitehtävien lisääntymisestä. Acemoglu ja Restrepo (2020) tutkivat myös robotiikan vaikutuksia työmarkkinoihin, mutta Yhdysvalloissa. Heidän tutkimustuloksensa kohtasivat osittain aiempien tutkimustulosten kanssa. Myös he havaitsivat kielteisiä työllistämisaikutuksia manuaalisissa rutiinitöissä, erityisesti teollisuudessa ja erittäin robotisoiduilla toimialoilla. Ainoat alat, joilla havaittiin positiivista vaikutusta työllisyyteen, olivat maatalous ja koulutus sekä terveydenhuolto ja julkinen sektori. He eivät havainneet positiivisia työllisyysvaikutuksia muilta ammanteilta, joten täydentävyysvaikutus ei ollut kasvattanut työllisyyttä ei-automatoiduissa töissä, toisin kuin muissa tutkimuksissa.

Empiiriset tutkimukset eivät kuitenkaan ole yksimielisiä automaatiosta työmarkkinoiden polarisaation selittäjänä. Fernández-Macías ja Hurley (2016) tarkastelivat aihetta saksalaisella aineistolla. Heidän mukaansa polarisaatio ei johdu yksinään teknologisesta kehityksestä, vaan myös muista

talouden rakenteellisista muutoksista. He havaitsivat, että työntekijöillä, joiden tehtävät automaatoitiin, oli tyypillistä siirtyä muihin tehtäviin. Tämä pehmentää automaation vaikutusta kokonaistyöllisyyteen täydentävyysvaikutuksen kautta, mutta ei kumoa sitä, että rutiinitehtävät vähenevät.

Spitz-Oener (2006) tutki miten osaamisvaatimukset ovat muuttuneet ammateissa Saksassa. Hän havaitsi, että nykyään ammatit ovat siirtyneet manuaalisista rutiinitehtävistä kohti analyyttisempia ja interaktiivisempia työtehtäviä. Muutos johtui ennen kaikkea siitä, että tietokoneistaminen vähensi rutiiniomaisten töiden tarvetta ja samalla täydensi ihmisten työtä analyyttisissä tehtävissä. Tämä tukee näkemystä siitä, että polarisaatio näkyy sekä ammattirakenteen että työtehtävien sisällön muutoksena.

Empiiriset tutkimukset osoittavat siis, että teknologinen kehitys ja robotiikka muokkaa työmarkkinoita ennen kaikkea työtehtävien sisällön kautta. Rutiinitehtävien osuus vähenee, kun samalla ei-rutiiniset, analyyttiset ja vuorovaikutukselliset työtehtävät tulevat tärkeämmiksi. Työmarkkinoiden polarisaatio ei siten johdu pelkästään työn kysynnän muutoksista, vaan siitä miten teknologia muuttaa työn rakennetta ja vaatimuksia eri toimialoilla.

3.3 Maakohtaiset erot

Empiirisistä tutkimuksista huomattiin, että maiden välillä on eroja siinä, miten robotiikan käyttöönotto vaikuttaa työllisyyteen. Lähes kaikissa tutkimuksissa yhteinen piirre oli työllisyyden rakennemuutokset. Työllisyys kasvaa matalan- ja korkean osaamistason tehtävissä, kun taas keskitason osaamisen tehtävissä se vähenee (Goos ym. 2014). Eroja maiden välillä löytyi kuitenkin kokonaistyöllisyyden muutoksista. Erot voivat johtua monista asioista, kuten maan toimialarakenteesta, työmarkkinajärjestelmästä tai koulutuksen tasosta (Arntz ym. 2016, 8).

Yhdysvalloissa robotiikalla oli negatiivinen vaikutus työllisyyteen (Acemoglu & Restrepo 2020). Erityisesti keskitason rutiinitehtävissä työskentelevät ovat kärsineet, koska automaatio on korvannut heidän työnsä ja uudet työt ovat keskittyneet korkean osaamisen ammatteihin. Lisäksi Yhdysvaltojen robottiheys on ollut alhainen, esimerkiksi verrattuna Eurooppaan (Graetz & Michaels 2018, 18). Robotiikka on kuitenkin keskittynyt siellä vahvasti tietyille teollisuuden aloille. Esimerkiksi vuonna 2023 Yhdysvalloissa käyttöönotetuista roboteista 33 % oli autoteollisuudessa. (IFR 2024.) Tämän vuoksi robotiikan vaikutukset näkyvät voimakkaasti tietyillä alueilla, joissa tämän kaltaista teollisuutta on paljon (Acemoglu & Restrepo 2020, 25). Yhdysvaltojen liberaalimmat työmarkkinat mahdollistavat työntekijöiden helpomman irtisanomisen. Tämä on yksi mahdollinen selitys siihen, miksi Yhdysvalloissa työllisyys laskee robotiikan käyttöönoton myötä. (Chiacchio ym. 2018.)

Saksassa huomattiin samanlaiset rakennemuutokset kuin Yhdysvalloissa, mutta vaikutusta kokonaistyöllisyyteen ei ollut. Robottiikka vähensi työpaikkoja teollisuudessa, mutta saamaan aikaan työllisyys kasvoi palvelualoilla ja kompensoi menetykset. (Dauth ym. 2021.) Robottitiheys Saksassa on korkea, ja robotteja on otettu käyttöön useilla eri teollisuuden aloilla (Graetz & Michaels 2018, 18). Tämä tasoittaa robotiikan vaikutuksia toimialojen välillä, kun vaikutukset eivät näy vain yhdellä toimialalla kerrallaan.

Myös muissa Euroopan maissa on havaittu eroja robotiikan vaikutuksissa. Chiacchio ym. (2018) tutkivat kuutta EU-maata, jotka muodostavat suurimman osan koko EU:n teollisuusrobottimarkkinoista. He havaitsivat, että jokainen lisärobotti tuhatta työntekijää kohden vähensi työllisyyttä 0,16–0,20 prosenttiyksikköä. Tulos on saman suuntainen kuin Yhdysvalloissa, mutta robotiikan vaikutus työllisyyteen on pienempi. Ero johtuu mahdollisesti siitä, että eurooppalaisilla työmarkkinoilla työntekijöitä ei ole yhtä helppoa irtisanoa. Tällöin on todennäköisempää, että eurooppalaiset työnantajat uudelleensijoittavat työntekijänsä toisiin tehtäviin, kun robotit korvaavat heidän alkuperäisen työnsä.

Pohjoismaista Norjassa robotiikka on vähentänyt työllisyyttä. Myös muissa Pohjoismaissa työllisyys valmistusteollisuudessa on vähentynyt, mutta vaikutukset kokonaistyöllisyyteen ovat olleet maltillisia. Syynä tähän on ollut se, että muissa maissa työllisyyden kasvu valmistusteollisuuden ulkopuolisilla toimialoilla kompensoi valmistusteollisuudessa menetettyjä työpaikkoja. Vaikka Pohjoismailla on yleisesti keskenään samankaltaiset työmarkkinat, erot maiden välillä voivat johtua erilaisista tavoista investoida uusia työpaikkoja luoviin teknologioihin. (Chen & Frey 2024.) Pajarinen ja Rouvinen (2015) arvioivat, että kolmasosa Suomen ja Norjan työpaikoista on erityisen alttiina koneistamiselle seuraavan kahden vuosikymmenen aikana, mutta todellinen vaikutus työllisyyteen on luultavasti pienempi. Vaikutuksen suunta riippuu siitä, kuinka nopeasti työmarkkinoilla kyetään sopeutumaan työpaikkojen menetykseen uusien työpaikkojen luomisen kautta. Suomessa on yleisesti ollut erittäin dynaamiset työmarkkinat, eli uusien työpaikkojen syntymisaste on ollut korkea, vaikka työpaikkoja onkin menetetty. Suomessa, kuten myös muissa maissa, keskipalkkaisten työpaikat ovat kuitenkin vähentyneet. Verrattuna muihin maihin, Suomessa vientialojen heikentynyt kannattavuus todennäköisesti rajoittaa yritysten halukkuutta luoda uusia työpaikkoja. (Kauhanen ym. 2015, 11, 22, 93–94.) Maissa, joissa vientialat ovat kilpailukykyisiä, yritykset ovat halukkaampia investoimaan tuotantoon ja työvoiman palkkaamiseen. Heikomman vientikysynnän maissa taas ei olla niin halukkaita investoimaan, mikä rajoittaa työpaikkojen syntyä ja voi voimistaa robotiikan kielteisiä vaikutuksia.

Maiden välillä eroja työllisyydessä syntyy erityisesti talouksien toimialarakenteiden kautta. Koska teollisuudessa on paljon helposti korvautuvia rutiinitehtäviä, on oletettavaa, että myös teollisuusvaltaisissa maissa työllisyys laskee (OECD 2019, 46–47). Esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Saksassa robotiikka on keskittynyt erityisesti auto-, kone- ja metalliteollisuuteen, jossa työllisyyden vaikutukset näkyvät voimakkaimmin (IFR 2024). Palveluvaltaisemmissa maissa, joissa suuri osa työpaikoista on vaikeasti automatisoitavissa, robotiikka saattaa jopa kasvattaa työllisyyttä. OECD:n raportin (2019, 14–15) mukaan työllisyys on viimeisen kahden vuosikymmenen aikana vähentynyt teollisuudessa 20 % ja palvelualoilla kasvanut 27 %.

Lisäksi maiden koulutustaso vaikuttaa siihen, kuinka suuri osa maan työpaikoista on automatisoitavissa. Korkeampi koulutustaso on yleisesti yhteydessä vaikeammin automatisoitaviin töihin. Tämän vuoksi maissa, jossa koulutustaso on alhaisempi, on työntekijöillä suurempi riski, että työ automatisoidaan. (Arntz ym 2016, 17.) Myös koulutusjärjestelmät vaikuttavat työvoiman kykyyn siirtyä uusiin tehtäviin. Robotisaatio aiheuttaa työmarkkinoilla suuren rakennemuutoksen. Tämän vuoksi ihmisten täytyy siirtyä työpaikoilta toisille, jolloin maat, joissa on jatkuvaa oppimista ja ammatinvaihtoa tukeva koulutusjärjestelmä, pystyvät sopeutumaan rakennemuutokseen helpommin (OECD 2019, 14–15, 20).

3.4 Johtopäätökset

Teknologinen kehitys ja robotiikan laajentuminen muovaa työmarkkinoita ennen kaikkea muuttamalla työn rakennetta. Empiiriset tutkimukset johdonmukaisesti osoittavat, että rutiininomaiset keskitason osaamisen tehtävät vähenevät ja työvoimaa siirtyy tehtäviin, joita robotit eivät osaa suorittaa (Autor ym. 2003; Goos & Manning 2003). Tämä kehitys on havaittavissa kaikissa tarkastelluissa maissa, vaikka vaikutukset kokonaistyöllisyyteen vaihtelevat maiden välillä. Robotiikan vaikutukset eivät siis kosketa ainoastaan työllisyyden määrää, vaan se vaikuttaa laajemmin työmarkkinoiden rakenteiden muutoksiin.

Teoreettiset mallit ovat sopusoinnussa näiden havaintojen kanssa. Graetzin ja Michaelsin (2018) mallissa robotiikka vaikuttaa siihen, miten ihmistyö ja robotiikka jakautuvat tuotannossa. Mallissa ennustetaan, että robotiikka vähentää työvoiman tarvetta tietyissä tehtävissä, mutta alentuneet kustannukset voivat lisätä tuotantoa ja kasvattaa muiden toimialojen kysyntää. Tämä kehitys näkyi myös empiirisissä tutkimuksissa. Esimerkiksi Saksassa robotiikka korvasi teollisuuden työpaikkoja, mutta tuottavuuskasvu lisäsi työpaikkoja muilla aloilla, jolloin vaikutus työllisyyteen pysyi neutraalina (Dauth ym. 2021). Graetzin ja Michaelsin (2018) malli ei kuitenkaan huomioi empiirisille tutkimuksille yleistä havaintoa siitä, että robotiikka on luonut myös kokonaan uusia työtehtäviä.

Acemoglun ja Restrepon (2018) malli korostaa sitä, että robotiikka voi myös luoda uusia työtehtäviä. Empiirinen tutkimus osoittaa, että robotiikan syrjäyttävä- ja uusia tehtäviä luova täydentävä vaikutus toimivat eri tavoilla eri talouksissa. Maissa, joissa uusia tehtäviä syntyy nopeasti, robotiikan kielteiset vaikutukset työllisyyteen jäävät vähäisiksi (Dauth 2021; Koch ym. 2019; Zhang ym. 2022). Sen sijaan talouksissa, joissa korvausvaikutukset dominoivat, työllisyys laskee erityisesti rutiinitehtävissä (Chiacchio ym. 2018).

Teoreettisten mallien ja empiiristen tulosten perustella voidaan päätellä, että robotiikan vaikutus työllisyyteen ei ole yksiselitteinen. Vaikutuksen suunta riippuu talouden kyvystä hyödyntää robotiikan tuottavuus- ja täydentävyytsvaikutuksia ja luoda uusia tehtäviä ihmisille. Talouksissa, joissa on paljon uusia työtehtäviä, ja joissa niihin on helppo siirtyä, robotiikka ei välttämättä heikennä työllisyyttä. Sen sijaan talouksissa, joissa uusia tehtäviä ei synny tai niihin siirtyminen on vaikeaa, robotiikka vähentää työllisyyttä syrjäyttämällä ihmisiä työmarkkinoilta.

4 Yhteenveto

Tutkielman tarkoituksena oli tarkastella robotiikan vaikutuksia työllisyyteen, ja arvioida miten robottien käyttöönotto muokkaa työmarkkinoiden rakennetta eri maissa ja toimialoilla. Graetzin ja Michaelsin (2018) sekä Acemoglun ja Restrepon (2018) teoreettiset mallit korostivat robotiikan kaksisuuntaista vaikutusta. Robotiikka toisaalta syrjäyttää ihmisiä työtehtävistä, mutta toisaalta se myös tuottavuuskasvun myötä lisää työn kysyntää tai luo jopa kokonaan uusia työtehtäviä.

Empiirinen tutkimuskirjallisuus osoitti, että robotiikan aiheuttamat vaikutukset vaihtelevat huomattavasti maiden välillä. Yhdysvalloissa robotiikka on ollut yhteydessä työllisyyden vähenemiseen, etenkin rutiininomaisissa töissä (Acemoglu & Restrepo 2020; Javed 2023). Euroopassa vaikutukset ovat olleet useimmin neutraaleja, koska teollisuudessa menetetyt työpaikat ovat korvautuneet muilla toimialoilla lisääntyneen tuottavuuden tai uusien työtehtävien kautta (Dauth ym. 2021; Graetz & Michaels 2018). Toisaalta osassa Euroopan maista on havaittu myös negatiivisia vaikutuksia, mikä korostaa sitä, että robotiikan vaikutukset työllisyyteen eivät ole yksiselitteisiä (Acemoglu 2020; Chiacchio ym. 2018). Aasian maista erityisesti Japanissa ja Kiinassa robotiikan aiheuttamat tuottavuus- ja täydentävyysvaikutukset ovat merkittävästi kasvattaneet työllisyyttä (Adachi ym. 2022; Zhang ym. 2022). Yhteistä eri maiden tutkimuksille on kuitenkin se, että robotiikka muuttaa työn rakennetta, ja ohjaa työvoimaa rutiininomaisista tehtävistä sellaisiin, joita robotit eivät pysty tekemään (Acemoglu & Restrepo 2020; Goos & Manning 2003; Goos ym. 2014).

Robotiikan vaikutukset työllisyyteen eivät ole yksiselitteiset. Tutkielma kuitenkin osoittaa, että työllisyysvaikutusten suunta riippuu talouden kyvystä sopeutua robotiikan aiheuttamaan muutokseen työmarkkinoilla. Keskeistä on, missä määrin robotiikan korvaamat työtehtävät korvautuvat uusilla. Tarkastellut tutkimukset osoittivat, että uusien tehtävien syntyessä nopeasti, robotiikan työllisyyttä heikentävät vaikutukset jäävät maltillisemmiksi.

Lähteet

- Acemoglu, D. – Autor, D. (2011) Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. In *Handbook of labor economics*, eds. David Card – Orley Ashenfelter, Vol. 4, 1043-1171. Elsevier, Amsterdam.
- Acemoglu, D. – LeLarge, C. – Restrepo, P. (2020) Competing with robots: Firm-level evidence from France. *AEA papers and proceedings*, Vol. 110, 383-388.
- Acemoglu, D. – Restrepo P. (2018) The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment. *American economic review*, Vol. 108 (6), 1488-1542.
- Acemoglu, D. – Restrepo, P. (2019) Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 33 (2), 3–30.
- Acemoglu, D. – Restrepo, P. (2020) Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of political economy*, Vol. 128 (6), 2188-2244.
- Acemoglu, D. – Restrepo, P. (2022) Demographics and automation. *The Review of Economic Studies*, Vol. 89 (1), 1-44.
- Adachi, D. – Kawaguchi, D. – Saito, Y. U. (2022) Robots and employment: Evidence from Japan, 1978–2017. *Journal of Labor Economics*, Vol 42 (2), 591-634.
- Arntz, M. – Gregory, T. – Zierahn, U. (2016) The risk of automation for jobs in OECD countries: A comparative analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 189. OECD Publishing, Paris.
- Autor, D. (2015) Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of economic perspectives*, Vol. 29 (3), 3-30.
- Autor, D. H. – Levy, F. – Murnane, R. J. (2003) The Skill Content of Recent Technological Change: An empirical exploration. *The Quarterly journal of economics*, Vol. 118 (4), 1279-1333.
- Autor, D. – Dorn, D. – Katz, L. F. – Patterson, C. – Van Reenen, J. (2020) The fall of the labor share and the rise of superstar firms. *The Quarterly journal of economics*, Vol 135 (2), 645-709.
- Autor, D. – Salomons, A. (2018) Is automation labor-displacing? Productivity growth, employment, and the labor share. *Brooking Papers on Economic Activity*, Spring 2018, 1-63.
- Bessen, J. (2018) AI and Jobs: the role of demand. NBER Working Paper No. 24235. National Bureau of Economic Research. Cambridge, MA.

- Chen, C. – Frey, C. B. (2024) Robots and reshoring: a comparative study of automation, trade, and employment in Europe. *Industrial and Corporate Change*, Vol. 33 (6), 1331-1377.
- Chiacchio, F. – Petropoulos, G. – Pichler, D. (2018) The impact of industrial robots on EU employment and wages: A local labour market approach, Bruegel Working Paper, No. 2018/02. Bruegel, Brussels.
- Chung, J. – Lee, Y. S. (2022) The evolving impact of robots on jobs. *ILR Review*, Vol. 76 (2), 290-319.
- Dauth, W. – Findeisen, S. – Suedekum, J. – Woessner, N. (2021) The Adjustment of Labor Markets to Robots. *Journal of the European Economic Association*, Vol. 19 (6), 3104-3153.
- Dekle, R. (2020) Robots and Industrial Labor: Evidence from Japan. *Journal of the Japanese and International Economies*, Vol. 58, 101108.
- Di Giacomo, G., & Lerch, B. (2025). Robots and Non-participation in the United States: Where Have All the Workers Gone?. *ILR Review*, 00197939251373051.
- Fernández-Macías, E. – Hurley, J. (2017) Routine-biased technical change and job polarization in Europe. *Socio-Economic Review*, Vol. 15 (3), 563-585.
- Gihleb, R. – Giuntella, O. – Stella, L. – Wang, T. (2022) Industrial robots, workers' safety, and health. *Labour Economics*, Vol. 78, 102205.
- Goos, M. – Manning, A. (2007) Lousy and lovely jobs: The rising polarization of work in Britain. *The review of economics and statistics*, Vol. 89 (1), 118-133.
- Goos, M. – Manning, A. – Salomons, A. (2014) Explaining job polarization: Routine-biased technological change and offshoring. *American economic review*, Vol. 104(8), 2509-2526.
- Graetz, G. – Michaels, G. (2018) Robots at work. *Review of economics and statistics*, Vol. 100 (5), 753-768.
- Groover, M.P. (2016). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. 4th ed. Pearson, Harlow.
- Huang, M.-H. – Rust, R. T. (2018). Artificial Intelligence in Service. *Journal of Service Research*, Vol. 21 (2), 155–172.
- International Federation of Robotics (2017) The impact of robots on productivity, employment and jobs. IFR, Frankfurt.
- International Federation of Robotics (2024) World Robotics report 2024. IFR, Frankfurt.
- ISO (2021) ISO 8373:2021 Robotics — Vocabulary. *International Organization for Standardization*.
- Javed, M. (2023) Robots, natives and immigrants in US local labor markets. *Labour Economics*, Vol. 85, 102456.

- Jung, J. H. – Lim, D. G. (2020) Industrial robots, employment growth, and labor cost: A simultaneous equation analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 159, 120202.
- Kauhanen, A. – Maliranta, M. – Rouvinen, P. – Vihriälä, V. (2015) *Työn murros – Riittääkö dynamiikka?* Taloustieto Oy, Helsinki.
- Kim, H. (2024) The Impact of Robots on Labor Demand: Evidence from Job Vacancy Data for South Korea. *Empirical Economics*, Vol 67 (3), 1185-1209.
- Koch, M. – Manuylov, I. – Smolka, M. (2019) Robots and firms. CESifo Working Papers No. 7608/2019. CESifo, Munich.
- OECD (2019) The future of work: OECD Employment Outlook. OECD Publishing, Paris.
- Pajarinen, M. – Rouvinen, P. – Ekeland, A. (2015) Computerization threatens one-third of Finnish and Norwegian employment. *Etla Brief*, Vol. 34 (22), 1-8.
- Pew Research Center (2018). In Advanced and Emerging Economies Alike, Worries About Job Automation.
- Soto, D. A. (2020) Technology and the future of work in emerging economies: What is different. OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 236. OECD Publishing, Paris.
- Spitz-Oener, A. (2006) Technical Change, Job Tasks and Rising Educational Demands: Looking Outside the Wage Structure. *Journal of Labor Economics*, Vol. 24 (2), 235-270.
- Villani, V. – Pini, F. – Leali, F. – Secchi, C. (2018). Survey on Human-Robot Collaboration in Industrial Settings: Safety, Intuitive Interfaces and Applications. *Mechatronics*, Vol. 55, 248-266.
- Zhang, L. – Gan, T. – Fan, J. (2022) Do industrial robots affect the labour market? Evidence from China. *Economics of Transition and Institutional Change*, Vol 31 (3), 787-817.

Liitteet

Liite 1 Selvitys tekoälyn käytöstä

Olen hyödyntänyt tekoälyä tämän kandidaatintutkielman kirjoittamisessa. Käytetyt työkalut, käyttötarkoitus ja varmistustoimet on kuvattu alla.

Työkalu: ChatGPT (GPT-5 versio)

- Käyttövaihe: Lauseiden rakennus
- Käyttötarkoitus: Käytin ChatGPT:tä avuksi englanninkielisten sanojen kääntämisessä lauseen keskellä. Annoin tekoälylle yksittäisiä lauseita, joiden keskellä oli englanninkielisiä sanoja, mitä en osannut kääntää lauseeseen sopivaksi.
- Varmistus: Tarkastin tekoälyn antamat käännökset sanakirjasta. En käyttänyt tekoälyn antamia lauseita suoraan tutkielmassani, vaan otin siitä hieman ideaa lauseiden muokkaamiseksi paremmaksi ja järkevämmän kuuloiseksi.

Työkalu: ChatGPT (GPT-5.1 versio)

- Käyttövaihe: Lähteiden etsiminen
- Käyttötarkoitus: Käytin ChatGPT:tä avuksi keskeisten lähteiden etsimisessä.
- Esimerkkikehote: Anna minulle 20 keskeistä empiiristä lähdetä aiheesta robotiikan vaikutus työllisyyteen.
- Varmistus: Tekoäly antoi minulle useita lähteitä vaihtoehdoiksi. Tarkastin lähteiden sopivuuden ja luotettavuuden ennen niiden käyttöä.

Työkalu: ChatGPT (GPT-5.1 versio)

- Käyttövaihe: Lauseiden hiominen
- Käyttötarkoitus: Käytin ChatGPT:tä avuksi lauseiden hiomisessa. Annoin tekoälylle yksittäisiä lauseita, joiden rakenteesta tai kieliopista olin epävarma ja kysyin, onko niissä kieliopillisesti muokattavaa.
- Varmistus: Tarkistin tekoälyn ehdottamat muutokset itse ennen niiden käyttämistä tutkielmassani.